

**Proyectar una fachada trasventilada de piedra natural**  
Materializar una idea a través del diseño constructivo

Rocío Gallego Blázquez

Para optar al grado de  
Doctora por la Universidad de Valladolid  
Dirigida por:  
María Soledad Camino Olea  
José Manuel Martínez Rodríguez  
2022



Universidad de Valladolid







Universidad de Valladolid



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**TESIS DOCTORAL:**

**PROYECTAR UNA FACHADA  
TRASVENTILADA DE PIEDRA NATURAL.  
Materializar una idea a través del  
diseño constructivo**

Presentada por Rocío Gallego Blázquez  
para optar al grado de  
Doctora por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

María Soledad Camino Olea  
José Manuel Martínez Rodríguez



## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer a todas las personas que me han ayudado durante el desarrollo de esta tesis.

En primer lugar, a mis directores, a los que tengo mucho que agradecer en lo profesional y en lo personal. A Marisol Camino, que me ha ofrecido su apoyo y ayuda constante, que me ha guiado y transmitido muchos conocimientos. A José Manuel Martínez, Chema, por sus consejos, su sensibilidad y sus buenas ideas. De ellos, me quedo con las conversaciones mantenidas y con el entusiasmo con el que han observado siempre mi trabajo.

A todos los arquitectos que me han cedido información, datos, fotografías y documentación relevantes, especialmente al estudio de arquitectura Francisco Mangado; grupo Arata Isozaki; Arturo Franco Taboada; RVR arquitectos; gmasf arquitectos; y Antonio Amado.

A todas las empresas de soluciones de anclajes que me ofrecido documentación e información sobre sus sistemas, procesos y metodologías. Mario Castro, Jede del departamento técnico de Strow sistemas; Edu Aguiló, director de Sistemas Masa, Gonzalo Chover, ingeniero responsable del departamento técnico de SB fijaciones; y Eduardo Yáñez, Director regional de Halfen.

A Granilouro, empresa dedicada a la extracción y transformación de piedra natural, por enseñarme todas sus instalaciones, procesos productivos y maquinaria.

A Fernando Hernández, archivista del Archivo Histórico de Patentes, por recibirme y poner a mi disposición toda la información solicitada.

A todas las compañías, centros tecnológicos, y organizaciones que han contestado a mis preguntas muy amablemente, especialmente Grapamar, Pinayca, Pinacal, Levantina y Cupaclad.

A todas las personas que me han facilitado el acceso y visita de los edificios.

A lo largo de estos años he tenido la oportunidad de compartir inquietudes con amigos y compañeros, que de una manera u otra me han servido de ayuda, por lo que me gustaría expresarles mi gratitud.

A mi familia, especialmente a mis padres, Ángel y Mayte, en los que siempre he encontrado apoyo y ánimo. A Alberto, cuyo apoyo me ayudó a seguir adelante.



Dedico la tesis a todas las personas que me han acompañado y apoyado en esta aventura. Este trabajo es, en parte, de todos ellos.

A mis abuelos y abuelas, por formar parte de todos mis recuerdos bonitos, por entender todos los momentos en los que no pude estar.

A mi padre y a mi madre, por su apoyo y amor incondicional, por darme siempre los mejores consejos.

A Alberto, por unirse a este apasionante proyecto y hacerlo suyo, por acompañarme en todos los viajes y hacer que nunca me sintiera sola.

## Resumen

---

La piedra natural es un material vinculado al territorio ya que forma parte de la identidad cultural y arquitectónica de numerosos entornos, tanto naturales, como rurales y urbanos. Durante siglos, los sistemas de fachadas con piedra se han adaptado a las nuevas corrientes arquitectónicas y constructivas. La aparición del sistema de fachada trasventilada supuso un destacado avance al introducir numerosas ventajas higrotérmicas, medioambientales y constructivas. Aplicada a este sistema, la piedra natural aporta un buen comportamiento físico y mecánico, además de unas excepcionales cualidades estéticas y de integración con el entorno gracias al uso del color, las texturas o las juntas.

La investigación aborda el estudio de las fachadas trasventiladas de piedra natural desde la perspectiva de la vinculación bidireccional entre el diseño arquitectónico y la técnica constructiva. Se plantea como hipótesis que tienen amplias posibilidades formales y la capacidad de materializar planteamientos arquitectónicos complejos, a través del diseño constructivo. La utilización de sistemas industrializados suele implicar el uso de despieces convencionales y seriales. En contraposición a esta idea, la investigación plantea que el subsistema de anclaje tiene capacidades técnicas y configurativas para adaptarse a la idea de proyecto, permitiendo al arquitecto explorar las posibilidades del material y definir la propuesta en su conjunto.

La tesis se estructura en varios capítulos desarrollados siguiendo la línea metodológica propuesta, basada en el conocimiento previo del material y del sistema. En primer lugar, se estudian los condicionantes formales y constructivos de la piedra, aspectos fundamentales de cara al proyecto por tratarse de un material natural y heterogéneo. En segundo lugar, se analiza el comportamiento del sistema constructivo en general y del subsistema de anclaje en particular. Una vez interiorizados estos conocimientos se plantean estrategias proyectuales para la configuración y definición del proyecto, en función del despiece, de la tipología edificatoria y de la resolución de puntos singulares. Finalmente se sintetiza esta información en forma de propuesta de metodología enfocada al proyectista, basada en los criterios constructivos y formales que intervienen.

La investigación pretende reivindicar el interés arquitectónico de la piedra natural aplicada a la fachada trasventilada y la capacidad de arquitecto para interpretar el sistema. Se trata de una solución adecuada en numerosas localizaciones y tipologías debido a su buen comportamiento constructivo y energético, a sus posibilidades estéticas y a su capacidad de evolucionar desde los puntos de vista tecnológico, estilístico y sostenible.



Natural stone is a material linked to the territory as it forms part of the cultural and architectural identity of many natural, rural and urban environments. Over centuries, stone façade systems have adapted to new architectural and construction trends. The appearance of the ventilated façade system was a remarkable progress, introducing numerous hygrothermal, environmental and constructional advantages. Applied to this system, natural stone provides good physical and mechanical performance, as well as exceptional aesthetic qualities and integration with the environment thanks to the use of colour, textures and joints.

The research approaches the study of ventilated natural stone façades from the perspective of the bidirectional link between architectural design and constructive technique. It is hypothesised that they have numerous formal possibilities and the capacity to materialise complex architectural designs through constructive design. The use of industrialised systems usually implies the use of conventional and serialised components. In contrast to this idea, the research proposes that the anchoring system has technical and configurative capacities to adapt to the project idea, allowing the architect to explore the possibilities of the material and define the project.

The thesis is structured in several chapters developed along the proposed methodological line, based on prior knowledge of the material and the system. Firstly, the formal and constructive conditioning factors of stone are studied. These are fundamental aspects for the project as it is a natural and heterogeneous material. Secondly, the behaviour of the construction system in general and of the anchoring subsystem in particular are analysed. Once this knowledge has been internalised, design strategies are proposed for the configuration and definition of the project, depending on the components, the building typology and the resolution of singular points. Finally, this information is synthesised as a proposal for a methodology focused on the designer, based on the constructive and formal criteria involved.

The research aims to defend the architectural interest of natural stone applied to the ventilated façade and the architect's ability to interpret the system. It is a suitable solution in many locations and typologies due to its good construction and energy performance, its aesthetic possibilities and its ability to evolve from technological, stylistic and sustainable points of view.

# ÍNDICE

RESUMEN / ABSTRACT

## 1. INTRODUCCIÓN

---

	13
1.1. Motivación	15
1.2. Oportunidad del tema elegido	16
1.3. Planteamiento e hipótesis	17
1.4. Objetivos	20
1.5. Estructura	21
1.6. Metodología	24

## 2. ESTUDIAR EL SISTEMA

### Estudio histórico de los antecedentes

---

	33
2.1. Construir con piedra	35
2.2. Revestimientos de piedra natural	37
2.2.1. Origen de los revestimientos de piedra	39
2.2.2. Recuperación del revestimiento delgado de piedra	57
2.3. Evolución de los revestimientos e incorporación de fijaciones metálicas	67
2.4. Antecedentes singulares a las fachadas trasventiladas	75
2.5. Primeros referentes de fachadas trasventilada de piedra	78
2.6. Influencia y evolución de los medios tecnológicos	86
2.6.1. El trabajo de la piedra hasta el siglo XIX	87
2.6.2. El desarrollo industrial del siglo XIX	90
2.6.3. Desarrollo a partir del siglo XX	98
2.6.4. Nuevas tecnologías en el siglo XXI	101
2.6.5. Producción de placas para su aplicación en fachadas trasventiladas	103

## 3. LA PIEDRA NATURAL COMO MATERIAL DE REVESTIMIENTO

---

	109
3.1. La piedra natural como argumento proyectual	111
3.2. Denominación	113
3.3. Clasificación	114
3.3.1. Clasificación científica	114
3.3.2. Clasificación petrográfica	116
3.3.3. Clasificación comercial	117
3.4. Propiedades físicas	118
3.4.1. Aspecto	119
3.4.2. Propiedades mecánicas	124
3.4.3. Propiedades hídricas	126
3.4.4. Propiedades térmicas	127
3.4.5. Características de referencia	129
3.5. Condicionantes de cara al proyecto	130
3.5.1. Condicionantes constructivos	130
3.5.2. Condicionantes histórico-socio-culturales	133

3.5.3. Condicionantes estéticos y sensoriales	141
3.5.4. Condicionantes físicos	158
3.5.5. Condicionantes económicos	163
3.6. Sostenibilidad	165
3.6.1. Características	165
3.6.2. Indicadores de sostenibilidad	166
3.7. Requisitos de control	173
3.7.1. Características geométricas	173
3.7.2. Declaración de prestaciones y marcado CE	174

#### 4. ANALIZAR EL SISTEMA

##### Análisis del comportamiento constructivo

---

	179
4.1. La fachada trasventilada como sistema industrializado	181
4.1.1. Comportamiento del sistema	182
4.1.2. Ventajas del sistema	186
4.2. Componentes: características y especificaciones	187
4.2.1. Soporte	188
4.2.2. Aislamiento térmico	189
4.2.3. Cámara de aire	199
4.2.4. Juntas	202
4.2.5. Subsistema de anclaje	206
4.2.6. Sistemas de fijación para la unión al soporte	210
4.3. Comparativa y análisis de subsistemas de anclaje	216
4.3.1. Anclajes directos	219
4.3.2. Anclajes con subestructura de montantes	224
4.3.3. Anclajes con subestructura de montantes y travesaños	233
4.3.4. Compatibilidad con el soporte	241
4.3.5. Otros condicionantes	243
4.4. Cálculo	244
4.4.1. Acciones	244
4.4.2. Determinación de la presión de viento	245
4.4.3. Determinación de la acción sísmica	248
4.4.4. Cálculo estructural del subsistema de anclaje	250
4.4.5. Transmisión y reparto de cargas en los anclajes	251
4.4.6. Determinación del espesor de la placa	256
4.4.7. Dimensionado de juntas	260
4.5. Puesta en obra	262
4.5.1. Comprobaciones previas	262
4.5.2. Replanteo	263
4.5.3. Colocación del aislamiento	266
4.5.4. Instalación del subsistema de anclaje	267
4.6. Legislación y normativa de aplicación	275
4.6.1. Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) y Código Técnico de la Edificación (CTE)	276
4.6.2. Reglamento europeo de productos de construcción (UE) nº 305/2011	287
4.6.3. Documento de adecuación al uso (DAU)	291
4.6.4. Normas UNE	292
4.6.5. Norma tecnológica de la edificación (NTE)	298
4.6.6. Otras normas de referencia	298

## 5. PROYECTAR LA FACHADA

### Análisis y discusión

---

	301
5.1. Las nuevas posibilidades del despiece	303
5.2. Clasificación de despieces	304
5.3. Análisis de despieces	305
5.3.1. Criterios de análisis	305
5.3.2. Despieces convencionales	310
5.3.3. Despieces simples en un plano	328
5.3.4. Despieces solapados	363
5.3.5. Despieces de gran formato	379
5.3.6. Despieces volumétricos	395
5.3.7. Criterios para la selección del subsistema	405
5.3.8. Estrategias proyectuales de configuración para resolver despieces singulares	407
5.4. Estrategias para resolver determinadas tipologías de proyecto	417
5.4.1. Fachadas ciegas	417
5.4.2. Fachadas a gran escala	425
5.4.3. Fachadas en altura	427
5.4.4. Fachadas con huecos	431
5.4.5. Fachadas inclinadas	446
5.4.6. Fachadas en varios planos	448
5.4.7. Rehabilitación	450
5.5. Resolución de puntos singulares	452
5.5.1. Remate superior	451
5.5.2. Remate inferior	452
5.5.3. Remate lateral / esquina	459
5.5.4. Resolución del hueco	472
5.5.5. Resolución de puntos singulares en el caso de despieces volumétricos	476

## 6. HACIA UNA METODOLOGÍA DE PROYECTO

---

	483
6.1. El proyecto de fachada	485
6.2. Fases y documentación de proyecto	486
6.2.1. Estudios previos	486
6.2.2. Anteproyecto	487
6.2.3. Definición del proyecto	488
6.3. Definición técnica y tecnológica	493
6.4. Propuesta metodológica de proyecto	495
6.5. Terminología general de proyecto	498

## 7. CONCLUSIONES

---

	503
7.1. Conclusiones	505
7.2. Prospección del sistema y futuras líneas de investigación	511

## BIBLIOGRAFÍA

---

	513
Bibliografía	515

**A1. SUBSISTEMAS DE ANCLAJE. Revisión de productos en el mercado actual**

	527
Lista de empresas de referencia	529
Subsistemas de anclaje directo con fijación de mortero	
- Ficha 1.- SISTEMA ECO. STROW SISTEMAS	530
- Ficha 2.- SISTEMA UMA-UHA. HALFEN	532
- Ficha 3.- SISTEMA GR. SISTEMA MASA	535
Subsistemas de anclaje directo con fijación mecánica	
- Ficha 4.- SISTEMA CLASIC. STROW SISTEMAS	537
- Ficha 5.- SISTEMA BODY. HALFEN	540
- Ficha 6.- SISTEMA GR-CLM. SISTEMA MASA	543
Anclaje mediante subestructura de perfilera	
- Ficha 7.- SISTEMA EPSILON O. STROW SISTEMAS (DAU 10/062 A) + SISTEMA LEST	547
- Ficha 8.- SISTEMA REF. PF 1025. GRAPAMAR (DIT 513R/14)	553
- Ficha 9.- SISTEMA B-202D y B-202C. BAFF SYSTEM (ETA 19/0030)	557
- Ficha 10.- SISTEMA UNYCLAD. EUROCLAD (DIT N° 575R/19)	562
- Ficha 11.- SISTEMA PF-ALU-HPL. SISTEMA MASA. (ETA 13/0310)	569
- Ficha 12.- SISTEMA SUK-UKB. HALFEN	575
- Ficha 13.- SISTEMA ACT. FISCHER	577
- Ficha 14.- SISTEMA KEIL ANCHOR. KEIL. GROUP TILE EZE	579

**A2. CASOS DE ESTUDIO**

581

- Caso 1.- Edificio para la Banca de Alzate Brianza. Como, Italia. Adolfo Natalini (1978-1983)
- Caso 2.- Centro Gallego de Arte Contemporáneo. Santiago de Compostela, España. Álvaro Siza (1988-1993)
- Caso 3.- Edificio Domus– Casa del Hombre, A Coruña, España. Arata Isozaki y César Portela (1995)
- Caso 4.- Edificio para institutos de Investigación. Santiago de Compostela, España. Manuel Gallego (1997)
- Caso 5.- Centro de Control de los Túneles de Piedrafita. Lugo, España. Arturo Franco Taboada (2001-2002)
- Caso 6.- Torres en memoria de Hejduk. Santiago de Compostela, A Coruña. España. aSZ arquitectos (Antonio San Martín, Elena Cánovas) (2002-2003)
- Caso 7.- Centro Municipal de Exposiciones y Congresos. Ávila, España. Francisco Mangado. (2005-2009)
- Caso 8.- Centro de interpretación de Arte Rupestre. Campo Lameiro, Pontevedra. RVR arquitectos (2005-2009)
- Caso 9.- Nuevo edificio de las Arcadas. Zamora, España. María Antonia Fernández Nieto y Pilar Peña Tarancón (2011)
- Caso 10.- Museo de Liverpool. Liverpool, Inglaterra. 3XN (2011)
- Caso 11.- Centro de Salud en Monterroso. Lugo, España. Ábalo Alonso arquitectos (2013)
- Caso 12.- Palacio de Congresos y Hotel. Palma de Mallorca, España. Francisco Mangado. (2005-2017)
- Caso 13.- Arco de la Defensa. París, Francia. Otto von Spreckelsen, Paul Andreu (1985-1989). Reconstrucción fachada (2015-2018)



# 1. Introducción





## 1.1. MOTIVACIÓN

El territorio de Castilla y León, mi región de origen, presenta una amplia diversidad geológica base de una rica tradición cultural que gira en torno a la piedra como material característico, tanto de una abundante arquitectura popular y vernácula, como de una imponente arquitectura monumental. La singular capacidad que tiene este material para evocar sensaciones, trabajar como hilo conductor del proyecto y su versatilidad estilística en función del uso y aplicaciones, me ha generado siempre gran interés.

Durante mis años de formación académica he tenido oportunidad de desarrollar diversos trabajos sobre la piedra natural como material de construcción. En el trabajo fin de carrera, que consistía en un proyecto de Centro de estudios de Posgrado y Sede Cultural, propuse un sistema de fachada trasventilada de piedra natural. La investigación que realicé para su definición me hizo plantearme la relación entre el despiece de la fachada y las características del sistema constructivo, así como el valor del diseño constructivo.

Posteriormente cursé el Máster de Investigación en Arquitectura, impartido por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Cursar este máster me permitió familiarizarme con la estructura de una tesis doctoral, las metodologías de investigación y la búsqueda y uso de información. Frente a la diferenciación en las tres líneas de investigación inicialmente previstas, construcción, urbanismo y proyectos, el máster se desarrolló siguiendo una línea común, lo que me hizo plantearme la interdisciplinariedad en los trabajos de investigación frente a los estudios focalizados unidireccionalmente.

En el trabajo fin de máster que presenté, con el tema "*La fachada trasventilada de piedra. Evolución conceptual y constructiva a partir del muro compuesto*"<sup>1</sup>, desarrollé una búsqueda en torno al origen de la fachada trasventilada de piedra, a través del estudio de distintos sistemas constructivos de fachadas y de los medios para su construcción. Esto me permitió profundizar en el estudio de las fachadas de piedra natural y tener una visión del sistema constructivo desde el punto de vista del estudio histórico, abriendo el camino a nuevas líneas de investigación y reflejándose como punto de partida de la presente investigación.

Esta tesis se puede entender como el resultado de una línea de investigación iniciada en el año 2013, que surge de mi interés personal en torno a la utilización de la piedra natural y su puesta en valor como material de construcción para la envolvente de fachadas. Se sustenta en mi convicción por el interés arquitectónico en la utilización de piedra natural aplicada a la fachada trasventilada. Un sistema con gran capacidad de adaptación, tanto a las nuevas exigencias constructivas, como a las normativas y demandas arquitectónicas actuales.

## 1.2. OPORTUNIDAD DEL TEMA ELEGIDO

Existen numerosas publicaciones referidas al estudio de las fachadas trasventiladas de piedra. A modo de resumen, pueden clasificarse en las siguientes temáticas:

- Tesis Doctorales. - Tras una búsqueda en bases de datos de tesis doctorales se pueden clasificar generalmente dentro de los siguientes campos:
  - Material: comportamiento del material, caracterización y comportamiento de una determinada variedad de piedra, durabilidad.
  - Sistema constructivo: análisis constructivo, comportamiento físico, comportamiento físico-mecánico de sistemas de anclajes.
- Publicaciones vinculadas a la tecnología de la construcción. - Generalmente guías técnicas en las que se define el funcionamiento del sistema constructivo aplicado a despieces convencionales y en las que es poco común encontrar un enfoque desde el punto de vista del arquitecto.
- Publicaciones de temática proyectos arquitectónicos o representación de la arquitectura. - Aunque resulta sencillo localizar imágenes de fachadas singulares, habitualmente no se describen unidades constructivas completas o están poco definidas, y es poco común que se relacionen estos ejemplos con su proceso de diseño constructivo. En otras ocasiones no existe documentación suficiente porque es la empresa de anclajes la encargada de realizar sus propios detalles o la documentación publicada no coincide con la realidad constructiva.

Dentro del extenso número de publicaciones y estudios que existen referidos a las fachadas trasventiladas de piedra natural la presente tesis se muestra como una nueva vía de acercamiento, poco investigada desde este punto de vista, que trata de analizarlas desde la perspectiva de la vinculación bidireccional entre el diseño arquitectónico y la técnica constructiva. El desarrollo arquitectónico se rige en gran medida por planteamientos teóricos y conceptos abstractos. No obstante, independientemente de la abstracción teórica en que se base, la arquitectura no es sino material, es la parte física y técnica que permite que puedan desarrollarse esos planteamientos iniciales. Por ello, se considera que esta vía de acercamiento, poco investigada, puede aportar un punto de vista novedoso y necesario.

Se han realizado las siguientes publicaciones de aportaciones previas en el marco del desarrollo de la tesis:

- Otto Wagner y los revestimientos pétreos con anclajes vistos de roseta. Estudio tipológico y análisis constructivo. R. Gallego-Blázquez y M.S. Camino Olea  
Aceptado por el Consejo de redacción de Informes de la construcción. Prevista su publicación en el número 568.
- "Revestimientos de mármol romanos. Análisis e interpretación. R. Gallego-Blázquez  
Participación en el X Congreso Nacional y II Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción, con ponencia y publicación de la misma en las Actas del Congreso.  
(Revestimientos de mármol romanos. Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción: Donostia-San Sebastián, 3 - 7 octubre 2017. Vol. 2, 2017, ISBN 978-84-9728-561-2, págs. 645-656)
- Evolution of the Natural Stone Facade Cladding System. R. Gallego-Blázquez y M.S. Camino Olea.  
Aceptada para el 7th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS 2022.

### 1.3. PLANTEAMIENTO E HIPÓTESIS

La piedra natural se ha utilizado como material para la construcción de fachadas a lo largo de la historia, formando gran parte de nuestro patrimonio arquitectónico histórico y moderno. Su vinculación con el lugar, sumado a sus características constructivas y físicas, además de su especial atractivo para el arquitecto, le han convertido en material idóneo en numerosos proyectos arquitectónicos. No obstante, la manera en la que se ha utilizado ha cambiado notablemente a lo largo del tiempo. Hemos pasado de utilizarlo en la construcción de muros con sillares o mampuestos, caracterizados por el espesor y la masa, a revestimientos adheridos y posteriormente revestimientos ventilados, hasta alcanzar lo que hoy en día conocemos como sistema trasventilado. Esto nos muestra otra especial característica del material, que es su capacidad adaptación a los nuevos sistemas constructivos, procesos tecnológicos y corrientes arquitectónicas.

Para contextualizar el planteamiento de la tesis es importante entender cómo ha evolucionado el sistema. Las primeras fachadas trasventiladas de piedra natural llegaron de mano de arquitectos precursores, que apostaron por el uso de esta novedosa técnica en edificaciones singulares por sus ventajas técnicas, compositivas y de comportamiento frente a los sistemas no ventilados.

A partir de ese momento, la creciente popularidad del sistema y su uso cada vez más generalizado promueve su tecnificación, mejorándose las prestaciones y desarrollándose documentación técnica para su aplicación. Las empresas de diseño y fabricación de sistemas de anclajes han representado un papel muy importante en el desarrollo tecnológico del sistema y en su definición tipológica y morfológica. El desarrollo de estos subsistemas en los últimos años, especialmente aquellos mediante perfilería auxiliar, aporta mejoras en cuanto a la fiabilidad, durabilidad, estabilidad, compatibilidad con el material aislante, independencia del soporte y rendimiento de montaje.

La regulación normativa para la utilización de este sistema se desarrolla inicialmente enfocada a la utilización de los anclajes más habituales, en ese momento anclajes directos puntuales. Con el paso del tiempo las normas han ido evolucionando hacia la definición de soluciones más complejas. No obstante, en países como España, este desarrollo no se ha producido a la misma velocidad que la propia evolución tecnológica de los anclajes de tal manera que, en muchos casos, la documentación normativa resulta insuficiente y hay que recurrir a los datos que proporcionan los fabricantes en base a los ensayos tecnológicos de sus productos. Esta documentación aporta datos relevantes para el proyectista sobre los componentes y el funcionamiento del subsistema, pero contempla unas pocas configuraciones convencionales y una serie de detalles constructivos tipo. Esto ofrece la ventaja de que el sistema está muy definido para los casos convencionales, pero es insuficiente para el resto de los casos.

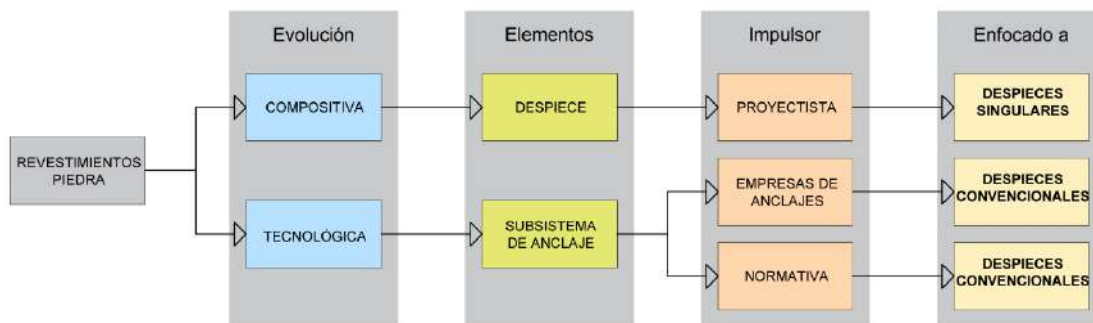
Si nos referimos al aspecto compositivo y estético, los despieces de las fachadas han sufrido una enorme evolución, principalmente gracias a la labor de los arquitectos. Conscientes del significado y las capacidades de la fachada como recurso generador del concepto de proyecto y de las posibilidades que ofrece la piedra natural, los arquitectos han jugado un papel fundamental en el desarrollo del aspecto compositivo. Liberadas de la rigidez que implicaba la dependencia del soporte, las pieles trasventiladas han evolucionado muy rápidamente, confiriendo a la fachada una identidad propia con la capacidad de expresar nuevos conceptos clave: libertad compositiva, flexibilidad, heterogeneidad, versatilidad y movimiento.

En resumen, se pueden identificar dos líneas evolutivas claramente diferenciadas. Por un lado, una evolución tecnológica de mano de las empresas de subsistemas de anclajes y, en menor medida, de la regulación normativa, enfocada a la definición de despieces convencionales. Por otro lado, una evolución

compositiva, de mano de los proyectistas, orientada a la búsqueda de despieces singulares y novedosos que ayuden a matizar los aspectos conceptuales del proyecto.

En este sentido se puede establecer las siguientes definiciones de partida:

- **Despieces convencionales:** los definidos en la normativa de aplicación y documentos de desarrollo o de evaluación de las empresas de anclajes, que se resuelven con los subsistemas de anclaje estándar disponibles.
- **Despieces singulares:** aquellos despieces que requieren alguna adaptación o modificación en la configuración de los subsistemas de anclaje disponibles.

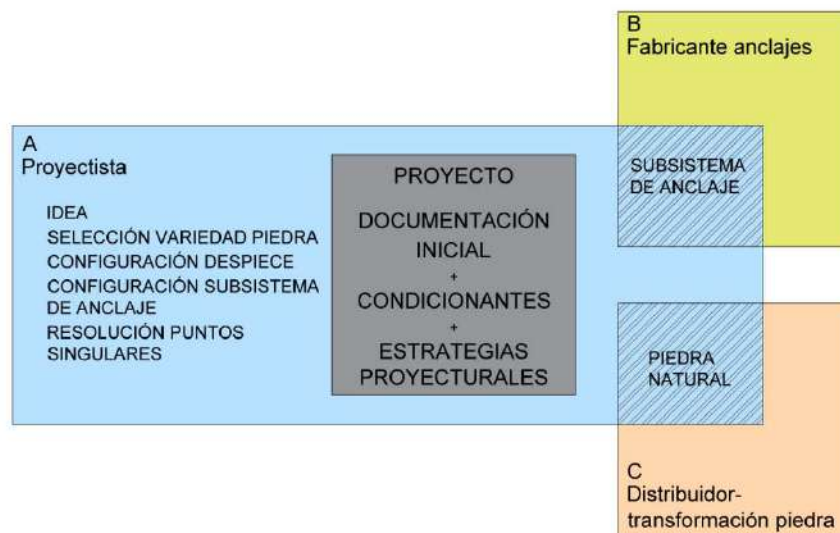
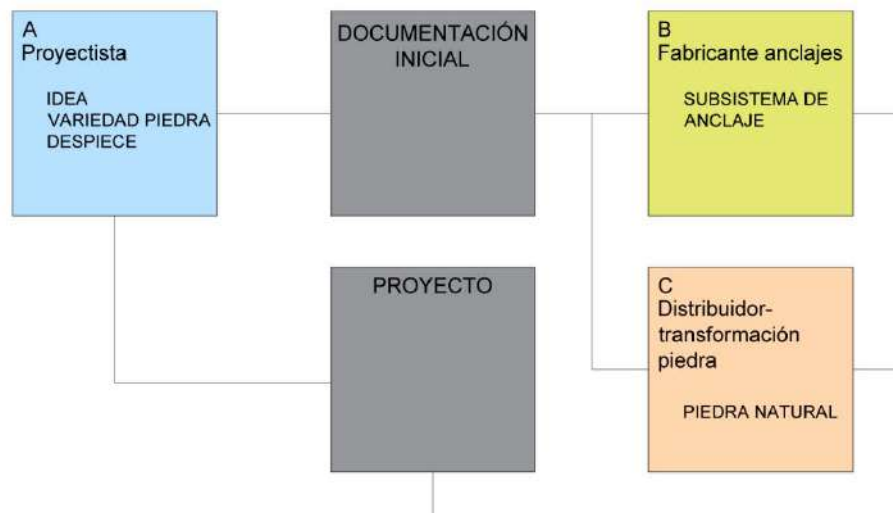


Si trasladamos estas dos líneas de evolución al desarrollo de un proyecto de fachada trasventilada con placas de piedra natural vemos que se produce una descompensación. Los arquitectos tienden a desarrollar su idea de proyecto basada en las posibilidades compositivas de la piedra natural, pero no cuenta con la documentación suficiente para definir el proyecto de manera completa en lo que respecta a la parte técnica del sistema. Por otro lado, las empresas de anclajes interpretan la propuesta del arquitecto como un proyecto singular, pudiendo darse las siguientes circunstancias:

- se diseña una solución a medida, lo que conlleva un significativo encarecimiento del sistema y la puesta en obra, aumento en los tiempos de producción y posibles retrasos en obra.
- se modifica el despiece para adaptarlo a una configuración estándar, lo que conlleva variaciones no deseadas respecto al despiece inicial.

Es en este punto donde surge el objeto de la investigación. En contraposición a esta gestión del proyecto, en la que el despiece tiene que adaptarse a las configuraciones preestablecidas para los subsistemas de anclaje, la investigación plantea el proceso contrario, es decir, es el sistema de anclaje el que se adapta para configurar el despiece propuesto por el arquitecto. La aportación principal de la investigación será la evaluación y análisis de la capacidad y versatilidad de los subsistemas para lograr esta adaptación.

A lo largo de esta investigación se pretende analizar el proceso y las estrategias adecuadas a la hora de enfrentarse al diseño de una fachada trasventilada de piedra natural con características singulares. Se presenta este trabajo como un documento de apoyo enfocado a la figura del proyectista, a través del cual se aportan herramientas para materializar y definir de la propuesta en su conjunto, formando parte y dirigiendo el proceso de proyecto en coordinación con el resto de agentes intervinientes.



Figuras 1.1 y 1.2. Arriba, esquema habitual en un proyecto de fachadas trasventilada de piedra. Abajo, esquema propuesto en la investigación. Elaboración propia.

Para el desarrollo de esta investigación se parte de las siguientes hipótesis:

- **HIPÓTESIS 1.** Trabajar con piedra natural tiene una serie de condicionantes que el proyectista debe conocer.
- **HIPÓTESIS 2.** Las fachadas trasventiladas de piedra natural tienen capacidad de materializar numerosos planteamientos arquitectónicos, adaptando el subsistema de anclaje a las necesidades concretas del proyecto.
- **HIPÓTESIS 3.** Las fachadas trasventiladas de piedra con despieces singulares requieren una adecuada metodología durante la etapa de proyecto

## 1.4. OBJETIVOS

---

El objetivo central de la tesis es el estudio y análisis del sistema de fachada trasventilada de piedra natural desde el punto de vista de la interacción entre estrategia proyectual y técnica constructiva, aportando un documento de utilidad que aporte las claves de las que servirse al proyectista a la hora de enfrentarse al proyecto de este tipo de fachadas.

Se plantean como objetivos generales:

- Explorar e identificar las **posibilidades formales** del sistema, proponiendo una **clasificación tipológica de despieces**.
- Valorar su capacidad de **adaptación al diseño arquitectónico**.
- Analizar los subsistemas de anclaje disponibles en el mercado actual, identificando las **soluciones y estrategias constructivas** en cada una de las tipologías identificadas **para configurar despieces singulares**.
- Aportar **herramientas necesarias al proyectista** para ello y proponer una **metodología de proyecto**.

Para su desarrollo, se plantean como objetivos particulares vinculados:

- **Estudiar los antecedentes** del sistema constructivo, analizando y razonando los motivos de la transformación en la utilización de la piedra natural en la fachada, que nos ayuden a entender su origen.
- **Analizar** constructivamente el sistema.
- Definir los conceptos de **despiece convencional** y **despiece singular**.
- **Recopilar y ordenar información** gráfica, fotográfica y descriptiva de fachadas que han generado un lenguaje formal novedoso o singular.
- Analizar, a partir de la documentación recopilada, una serie de **casos de estudio**.
- Argumentar la importancia de seguir un adecuado **proceso proyectual** y el **papel del arquitecto** durante esta etapa para obtener un resultado singular a partir de un sistema industrializado, a través del diseño constructivo.

---

## 1.5. ESTRUCTURA

---

La tesis se estructura en siete capítulos, siendo el primero esta introducción, el segundo de antecedentes, 4 bloques de desarrollo y un último capítulo de conclusiones.

### **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El capítulo uno se corresponde con esta introducción, donde se definen el planteamiento, objetivos e hipótesis, para contextualizar el origen de la investigación y su alcance. Por otro lado, se describen la estructura del documento y la metodología empleada, lo cual ayudará a definir el enfoque.

### **CAPÍTULO 2. ESTUDIAR EL SISTEMA**

Este capítulo se presenta como el punto de partida para el posterior análisis del sistema, ayudándonos a entender y contextualizar su origen. A pesar de constituir un sistema relativamente reciente, existen numerosos precedentes que se han ido dando a lo largo del tiempo y que han influido notablemente en su posterior desarrollo. Aspectos como la evolución de los revestimientos de piedra natural, que dio lugar a la aparición del diseño de la fachada desde principios compositivos, el desarrollo de nuevos conceptos constructivos y la aparición de nuevas corrientes y teorías arquitectónicas, son relevantes para comprender el modo en que se ha utilizado la piedra. Otro aspecto importante es la evolución en la técnica de los anclajes para la fijación de las placas del revestimiento. Por otra parte, el sistema constructivo tal y como lo entendemos en la actualidad está indiscutiblemente ligado al espíritu industrial y la confianza en la eficiencia de la máquina, momentos clave para el salto de la construcción muraria artesanal a la producción industrializada, por lo que se hace un repaso de la evolución de la maquinaria para la transformación y producción de placas de placas, con especial atención al proceso de corte de la piedra.

### **CAPÍTULO 3. LA PIEDRA NATURAL COMO MATERIAL DE REVESTIMIENTO**

Al trabajar con piedra natural se debe tener en cuenta que se trata de un material natural y heterogéneo, con características y comportamiento diferente según el tipo de roca y variedad y sus características intrínsecas y extrínsecas. Estas cuestiones tienen una implicación directa en decisiones de proyecto a la hora de definir el despiece y el subsistema de anclaje. En este capítulo se estudian las características de la piedra natural como material de revestimiento destacando aquellas características más relevantes a tener en cuenta por el proyectista para desarrollar el proyecto: clasificación, propiedades, condicionantes constructivos, condicionantes históricos socioculturales, condicionantes estéticos y sensoriales, condicionantes físicos, condicionantes climáticos y medioambientales, así como requisitos de control.

### **CAPÍTULO 4. ANALIZAR EL SISTEMA**

Este capítulo tiene como objeto el estudio de la fachada trasventilada de piedra como sistema constructivo industrializado. Esta etapa es fundamental a la hora de proyectar la fachada, porque aporta las claves necesarias de las que debe servirse el arquitecto. Como primer acercamiento es interesante entender aspectos como, en qué se fundamenta el sistema, cuáles son los principios para su formación y comportamiento, o cuáles las ventajas frente a los sistemas no ventilados. Posteriormente se estudian los componentes del sistema. No se pretende generar un análisis individualizado de cada una de las distintas partes integrantes, sino obtener una visión de ellas como conjunto constructivo. El bloque central del capítulo se centra en el subsistema de anclaje, parte elemental del sistema para su correcto funcionamiento y fijación de las placas. Se parte de una clasificación completa de los sistemas de anclajes más habituales y de una comparativa de los mismos. Para una mejor comprensión de las características específicas,

posteriormente se analizan el principio de funcionamiento, requisitos, posición y función de los elementos, mecanizado, compatibilidad con el soporte, reparto de cargas... Finalmente se incluyen unas directrices generales sobre el sistema de cálculo, la puesta en obra y una relación de la legislación y normativa de aplicación. Este capítulo se completa con el Anexo 1 sobre Subsistemas de anclaje, en el que se incluye una revisión detallada del funcionamiento y componentes de 14 sistemas de fabricantes nacionales e internacionales.

## **CAPÍTULO 5. PROYECTAR LA FACHADA**

Una vez comprendidas las características constructivas y los requerimientos técnicos, es posible realizar una abstracción del sistema y proyectar una fachada que pase de ser industrializada a singular. A lo largo de este capítulo se pretende poner en valor la capacidad técnica de este sistema constructivo cuando se pone al servicio del proyectista. Y demostrar que un sistema industrializado, que por regla general implican la seriación y repetición, puede adaptarse y/o modificarse para materializar la idea de un proyecto. En primer lugar, se establece una clasificación e identificación tipológica de despieces a partir de la información obtenida en los casos de estudio. Posteriormente se analiza la configuración del subsistema de anclaje para cada una de las tipologías, identificando las estrategias proyectuales para su resolución. Finalmente se identifican las estrategias compositivas que el proyectista debe tener en cuenta cuando se enfrenta a tipologías edificatorias concretas y se analiza la resolución de los puntos singulares más significativos a la hora de definir este tipo de fachadas. Mediante esta información se pretende aportar al proyectista las herramientas necesarias para adaptar el subsistema a las necesidades concretas del proyecto, de tal manera que pueda extrapolarse a otros despieces. Este capítulo se completa con el Anexo 2 sobre Casos de estudio, en el que se realiza un análisis sistemático y detallado de 13 ejemplos en los que se han utilizado despieces singulares. El estudio de estos casos ha aportado información relevante sobre las tipologías de despieces, los subsistemas de anclajes empleados y claves para su configuración, el soporte y la resolución de puntos singulares.

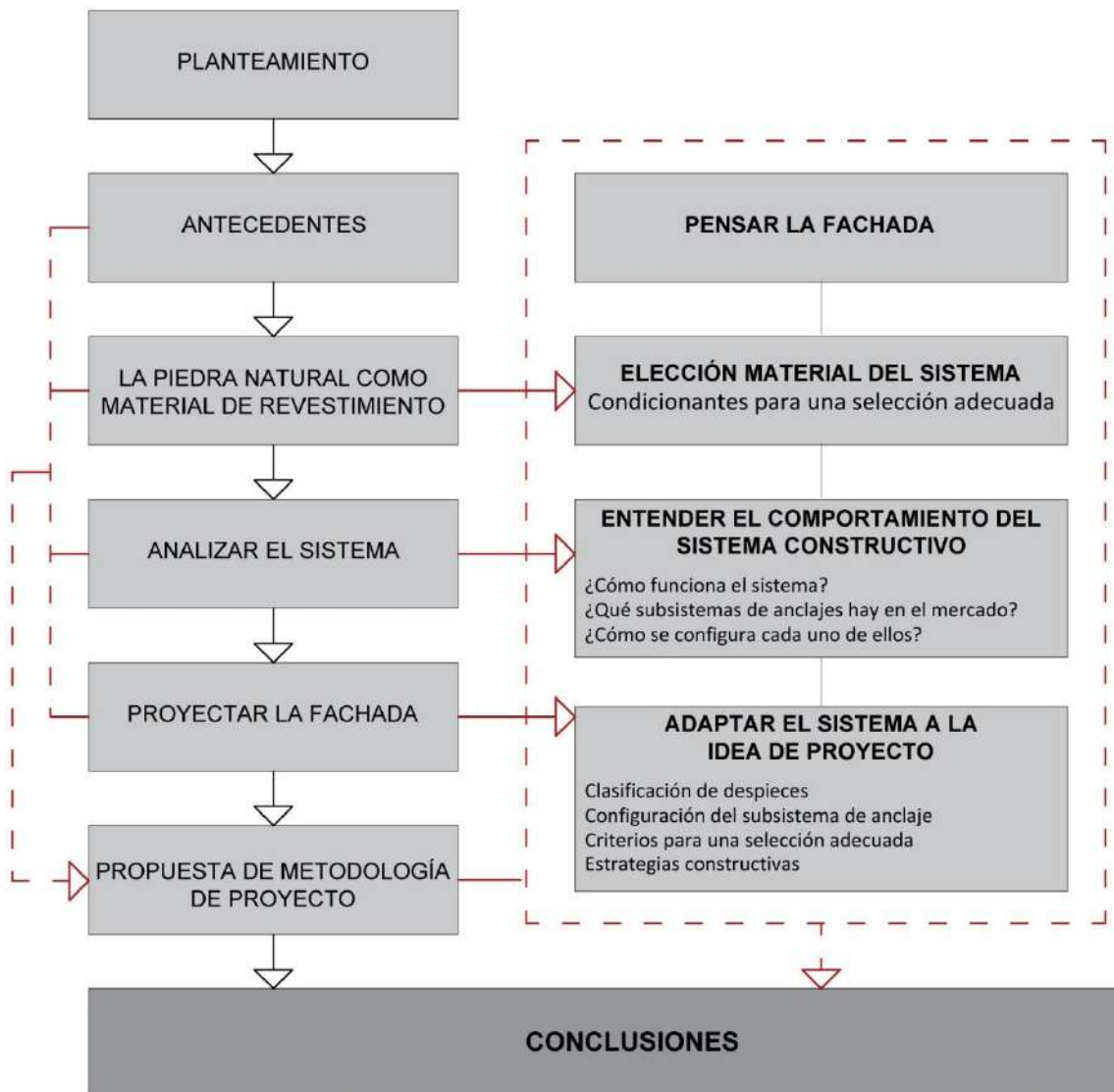
## **CAPÍTULO 6. HACIA UNA METODOLOGÍA DE PROYECTO**

A lo largo de este capítulo se razón acerca del proceso proyectual en el caso del diseño de fachadas trasventiladas de piedra natural y la metodología de proyecto, como resultado de la información obtenida en los capítulos anteriores. Se proponen las fases y documentación, definición técnica y tecnológica, requisitos a tener en cuenta y una propuesta de metodología que puede aplicarse en el proyecto de este tipo de fachadas.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES**

En este último capítulo se establecen las conclusiones de la investigación y se proponen posibles líneas futuras de investigación.





## 1.6. METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico está compuesto por cuatro etapas de actuación, basándose en una línea de trabajo en la que las distintas etapas se trabajan de forma simultánea al estar transversalmente vinculadas. El método empleado pretende generar un proceso lógico a la hora de enfrentarse al diseño de una fachada trasventilada de piedra natural con características singulares.

### ETAPA TEÓRICA

Comprende la delimitación del tema, establecimiento de objetivos e hipótesis, propuesta de metodología de investigación y desarrollo y establecimiento del marco teórico.

### ETAPA DOCUMENTAL

Comprende el estudio de antecedentes y el análisis constructivo del sistema. Para llevar a cabo esta etapa se ha seguido el método documental, con el acceso a los siguientes recursos bibliográficos:

- **Bibliografía**
  - Publicaciones de distintas temáticas
  - Revistas de temática de tecnología de la construcción
  - Revistas de temática de proyectos de arquitectura
  - Guías de construcción
- **Fuentes históricas**
  - Tratados de construcción
  - Consulta de fondo documental de archivos
- **Investigaciones**
  - Tesis doctorales
  - Artículos de investigación
  - Trabajos Fin de Máster
- **Empresas del sector**
  - Canteras y/o talleres de transformación de la piedra
  - Empresas de fabricación de subsistemas de anclaje
  - Empresas de distribución y/o colocación de fachadas
- **Consulta de legislación vigente**
  - CTE (Código Técnico de la Edificación)
  - Normas UNE (Una Norma Española)
  - Normas DIN (Deutsches Institut für Normung)
  - Normas ASTM (American Society of Testing Materials)
  - Documentos NTE (Normas Tecnológicas Españolas)
  - Documentos DITE (Documento de Idoneidad Técnica Europeo)
  - Documentos DAU (Documento de Adecuación al Uso)

## ETAPA ANALÍTICA

De manera resumida, comprende el análisis del sistema constructivo, de los subsistemas de anclaje, clasificación tipológica de despieces y estrategias para su configuración. Para su desarrollo se ha seguido el método inductivo, que permite realizar un análisis detallado, sistemático y en profundidad de diferentes casos de estudio, que son objeto de interés en sí mismos, para posteriormente establecer relaciones transversales entre los distintos casos y conclusiones generales. La metodología para desarrollar en esta etapa se basa por tanto en dos etapas principales, una primera etapa de análisis de casos de estudio y una segunda etapa de análisis de despieces.

- **ANÁLISIS DE LOS SUBSISTEMAS DE ANCLAJE**

Durante esta fase se recopila la documentación descriptiva y técnica posible los subsistemas de anclaje disponibles en el mercado actual

Acceso a fuentes primarias

- Contacto con empresas del sector:

- **ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO**

**Recogida inicial de datos**

Durante esta fase se recopila la documentación descriptiva y técnica posible de los casos de estudio. Se obtendrán desde una variedad de fuentes, tanto cualitativas como cuantitativas. Como punto de partida se ha recopilado documentación por parte de fuentes primarias, poniéndose en contacto con arquitectos y/o empresas responsables de la ejecución. De este modo, la información con la que se trabajará será lo más certera posible. Cuando no ha sido posible la obtención de información a través de estas fuentes, o en los casos en que ésta se considere insuficiente, se recurre a fuentes secundarias.

Acceso a fuentes primarias

- Contacto con arquitectos
- Contacto con empresas del sector:
  - Canteras y/o talleres de transformación de la piedra
  - Empresas de anclajes
  - Empresas de colocación de fachadas

Acceso a fuentes secundarias

- Libros de distintas temáticas
- Tesis
- Artículos
- Revistas de temática de tecnología de la construcción
- Revistas de temática de proyectos de arquitectura
- Guías de construcción
- Normativa

**Selección de los casos de estudio**

Esta fase es relevante porque los casos seleccionados deben tener interés en sí mismos y capacidad para generar conclusiones concretas, pero al mismo tiempo deben presentar unas características tales

que puedan aportar algo al estudio en su totalidad. Se han tomado como base los siguientes criterios básicos para la selección de los casos de estudio:

- Fachada con interés formal y compositivo.
- Utilización de despiece singular.
- Posibilidad de visitar el edificio.
- Disponibilidad de documentación suficiente.

Una parte significativa de los casos de estudio se ubican en España, por varios motivos. En primer lugar, España es un país con una rica tradición de construcción en piedra y, por tanto, hay numerosos ejemplos singulares con despieces muy variados. Por otro lado, España es igualmente un país con una variedad geológica muy interesante, por lo que contamos con ejemplos de todos los grupos de rocas. Finalmente, se ha valorado muy positivamente la posibilidad de visitar el edificio o de contactar con los autores del proyecto.

### **Trabajo de campo**

Posteriormente, la documentación disponible se completa con trabajo de campo. Dado que en muchos casos el sistema proyectado se ha modificado en obra, la información obtenida durante estas visitas es determinante. Las tareas realizadas durante el trabajo de campo son:

- Toma de fotografías.
- Observación del sistema empleado.
- Elaboración de croquis.
- Toma de apuntes sobre el sistema de anclaje.
- Toma de medidas, cuando sea posible: formato de placas, espesor, tamaño y posición juntas, espesor de la cámara de aire, aislamiento, posición de los anclajes, mecanizado de placas.
- Observación de los puntos singulares: encuentro con carpintería, remate superior e inferior, esquinas y/o cambios de plano.

### **Análisis de los casos de estudio**

Esta fase comprende el análisis exhaustivo de los casos de estudio. Para que el proceso de análisis sea sistemático y ordenado se han establecido los elementos a analizar a través de la elaboración de un dossier de trabajo, mostrado a continuación.

#### **• ANÁLISIS DE DESPIECES**

A partir de los casos de estudio analizados se ha obtenido información relevante sobre:

- Tipologías de despieces
- Subsistemas de anclajes empleados y claves para su configuración
- Soporte
- Resolución de puntos singulares

A partir de esta información se puede establecer una clasificación tipológica de despieces y realizar un análisis sistemático y detallado de cada una de ellas.

- Clasificación tipológica de despieces: identificación y definición de tipos y subtipos
- Identificación de estrategias proyectuales para la resolución de los tipos de despieces
- Estrategias para la resolución de determinadas tipologías de proyectos.
- Estrategias para la resolución de puntos singulares

De este modo, siguiendo el razonamiento inductivo, a partir de las conclusiones específicas se obtienen conclusiones generales, lo cual ha permitido aportar una sistematización del proceso de proyecto de este tipo de fachadas.

### ETAPA DE ELABORACIÓN Y REDACCIÓN

Esta etapa comprende las tareas de redacción, interpretación de resultados, revisión general y particular del documento.

En la siguiente tabla se resumen las tareas desarrolladas por etapas, así como su correlación con los capítulos de la tesis.

TAREAS	PLANTEAMIENTO	ESTUDIAR EL SISTEMA	PIEDRA NATURAL	ANALIZAR EL SISTEMA	PROYECTAR LA FACHADA	METODOLOGÍA DE PROYECTO	CONCLUSIONES
<b>ETAPA TEÓRICA</b>							
Selección del tema de investigación							
Bibliografía							
Establecimiento del marco teórico							
Delimitación del tema							
Estado de la cuestión							
Definición de objetivos							
Metodología							
Planificación							
Marco teórico							
<b>ETAPA DOCUMENTAL</b>							
Revisión de bibliografía							
Documentación fuentes secundarias							
Documentación fuentes primarias							
Búsqueda de documentación transversal							
Organización y clasificación							
Búsqueda de casos de estudio							
<b>ETAPA ANALÍTICA</b>							
Definición de la metodología de análisis							
Visita de los casos de estudio cuando sea posible							
Trabajo de campo							
Contacto con arquitectos y empresas							
Elaboración de dossier de análisis							
Análisis del caso de estudio							
Clasificación y definición tipológica de despieces							
Realización de fichas de análisis							
Análisis detallado y sistemático de despieces							
Definición de estrategias proyectuales							
Definición metodológica de proyecto							
Conclusiones parciales							
<b>ETAPA DE ELABORACIÓN Y REDACCIÓN</b>							
Valoración e interpretación							
Redacción							
Conclusiones							
Revisión general y particular del documento							

## REPRESENTACIÓN GRÁFICA

En esta investigación cobra relevancia el discurso gráfico que se intercala en paralelo al discurso teórico y que se puede entender como una serie de documentos de lectura independiente.

- Dossier de trabajo para el análisis de los casos de estudio
- Fichas de análisis de despieces

Para facilitar la lectura se ha establecido un sistema de representación gráfica, que unifica los siguientes aspectos:

- Identificación de los elementos
- Sistema de representación de los subsistemas
- Representación de otros materiales
- Sistema de acotación

## CONTENIDO DEL DOSIER DE TRABAJO

**CASO DE ESTUDIO N°**

---

PROYECTO	
UBICACIÓN	
DIRECCIÓN	
ARQUITECTO	
FECHA	



1. FUENTES	
FUENTES PRIMARIAS	DOCUMENTACIÓN
FUENTES SECUNDARIAS: INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	DOCUMENTACIÓN

2. TRABAJO DE CAMPO	
TAREA	DEFINICIÓN

### 3. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

- 3.1. UBICACIÓN  
Descripción del emplazamiento del proyecto en relación al lugar en el que se ubica
- 3.2. PLANTEAMIENTO  
Planteamiento general del proyecto por parte del arquitecto.
- 3.3. PLANIMETRÍA BÁSICA  
Principal planimetría para identificación del proyecto.

### 4. ANÁLISIS DE LA FACHADA VENTILADA DE PIEDRA

- 4.1. PLANTEAMIENTO  
Planteamiento ideológico de la fachada de piedra
- 4.2. TIPO DE PIEDRA  
Definición del tipo de piedra utilizado, así como otros datos cuando se puedan obtener: variedad, acabado, cantera de procedencia, singularidades....
- 4.3. DESPIECE  
Esquema del despiece de la fachada.

**4.4.1 Ficha de trabajo N1 – Identificación del sistema**

TIPO DE PIEDRA NATURAL				
Variedad	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
Acabado	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
Formato	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
Dimensiones	Haga clic o pulse aquí para escribir texto. centímetros			
Espesor	Haga clic o pulse aquí para escribir texto. centímetros			
Despiece	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
Juntas	Vertical	Haga clic. centímetros	Corte	Haga clic.
	Horizontal	Haga clic. centímetros	Corte	Haga clic.
Observaciones				

SISTEMA DE ANCLAJE								
Unión al soporte	Directo <input type="checkbox"/>			Mediante subestructura <input type="checkbox"/>				
	No regulable <input type="checkbox"/>	Regulable <input type="checkbox"/>		Montantes <input type="checkbox"/>	Montantes + horizontales <input type="checkbox"/>			
Unión a la placa	Visto <input type="checkbox"/>		Oculto <input type="checkbox"/>					
	Tornillo pasante <input type="checkbox"/>	Uñeta <input type="checkbox"/>	En junta <input type="checkbox"/>			En el reverso de la placa <input type="checkbox"/>		
			Bulón <input type="checkbox"/>	Ranura aislada <input type="checkbox"/>	Ranura continua <input type="checkbox"/>	Destalonado de fondo <input type="checkbox"/>	Tornillo + adhesivo <input type="checkbox"/>	Grapa en ranura <input type="checkbox"/>
Posición con respecto la placa	En junta horizontal <input type="checkbox"/>		En junta vertical <input type="checkbox"/>			En el reverso de la placa <input type="checkbox"/>		
Aislamiento	Haga clic o pulse aquí para escribir texto. centímetros							
Cámara de aire	Haga clic o pulse aquí para escribir texto. centímetros							
Observaciones								

SOPORTE						
Fijado a la Estructura <input type="checkbox"/>		Fijado al muro soporte <input type="checkbox"/>			Mixto <input type="checkbox"/>	
Estructura						
Material	Horizontal	Forjados	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
		Vigas	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
		Vertical	Haga clic o pulse aquí para escribir texto.			
Fijación a la estructura	Empotrada <input type="checkbox"/>				Soldada <input type="checkbox"/>	Atornillada <input type="checkbox"/>
	Mecánica <input type="checkbox"/>	Química <input type="checkbox"/>	Con mortero <input type="checkbox"/>			
Muro soporte						
Material	Hormigón armado <input type="checkbox"/>	Fábrica cerámica <input type="checkbox"/>			Bloques de hormigón <input type="checkbox"/>	
		Maciza <input type="checkbox"/>	Perforada <input type="checkbox"/>	Bloques <input type="checkbox"/>		
	Resistente	Sí <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		
		Espesor	Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Haga clic o pulse aquí para escribir texto. centímetros			
Fijación al muro soporte	Empotrada <input type="checkbox"/>				Soldada <input type="checkbox"/>	Atornillada <input type="checkbox"/>
	Mecánica <input type="checkbox"/>	Química <input type="checkbox"/>	Mortero <input type="checkbox"/>			
Observaciones						



**4.4.2 Ficha de trabajo N2 – Sistema constructivo**

Análisis gráfico del sistema constructivo y definición de todos sus elementos. Se trabaja simultáneamente en planta, alzado y sección.

**4.4.3 Ficha de trabajo N3 – Reparto y transmisión de cargas**

Análisis gráfico de las solicitaciones a las que está sometida la placa de piedra y transmisión de las cargas al sistema de anclaje.

**4.4.4 Ficha de trabajo N4 – Proceso constructivo**

Resumen de las etapas que definen el proceso constructivo.

**4.4.5 Ficha de trabajo N5 – Puntos singulares**

Análisis gráfico de los puntos singulares que se den en cada caso de estudio, generalmente encuentro con carpintería, remate superior, remate inferior, esquina o cambio de plano.

Anexos. En algunos casos se incorpora un anexo con imágenes que muestran puntos singulares y/o fotografías de seguimiento de obra.



## **2. Estudiar el sistema**

**Estudio histórico de los antecedentes**



## 2.1 CONSTRUIR CON PIEDRA

---

La piedra natural se ha utilizado como material de construcción desde la era prehistórica. A lo largo de la historia, la construcción con piedra ha estado ligada a la propia evolución del hombre, dependiendo de aspectos como el clima, el estilo de vida o la disponibilidad de recursos en su entorno, tanto materiales como herramientas o medios auxiliares.

Tanto sus características como su aspecto le han convertido en un material muy apreciado. Resistente a la vez que delicado, se ha asociado durante siglos con la idea de la permanencia a lo largo del tiempo. La calidad de sus texturas y colores le aportan una gran capacidad ornamental. Además, su elevada resistencia mecánica a compresión, su buena durabilidad e inercia térmica, así como buenas condiciones ante los agentes atmosféricos, convirtieron distintas variedades de granitos, mármoles, calizas o cuarcitas en materiales muy propicios para la construcción.

Tan valorado se consideraba este material que incluso se ha llegado a imitar con la utilización de otros materiales. Muestra de ello son las pinturas murales romanas, con origen helenístico, que recreaban aplacados de mármol a base de estuco coloreado.

Un acercamiento al origen de la arquitectura de piedra se puede asociar a las construcciones de aprovechamiento, en las que se empleaban rocas disponibles en el entorno para levantar construcciones. Muestra de ello son las cabañas desarrolladas durante el periodo paleolítico, que consistían, básicamente, en un basamento de piedra sobre el que asentaba una estructura a base de un entramado de ramas y barro. Otra referencia son los abrigos construidos como protección a la intemperie a base de rocas amontonadas. Ya durante el periodo neolítico se pueden encontrar ejemplos como la construcción de muros y parapetos a base de rocas trabadas con argamasa de barro o cal, sobre los que se elevaban las viviendas.

Se puede contextualizar la verdadera aparición de la arquitectura de piedra con el inicio del trabajo de las rocas. El empleo de herramientas a base de sílex permitió un inicial trabajo de labra de la piedra. No obstante, aún se obtenían bloques apenas trabajados y bastante toscos. La posterior disponibilidad del cobre y bronce propició un perfeccionamiento en la calidad de los trabajos de talla y labra. El desarrollo de las herramientas de hierro introdujo dos importantes cuestiones. Por un lado, estas herramientas permitían trabajar la piedra con mayor facilidad y la utilización de rocas más duras. Por otro lado, agilizaron las labores de extracción y fomentaron el corte de bloques de gran tamaño mediante el sistema tradicional de cuñas. También se inició el proceso de regularización. Este cambio de uso de bloques a penas trabajados a elementos escuadrados facilitó en gran medida la unión entre ellos y, como consecuencia, la estabilidad del muro.



Figura 2.1 (arriba izquierda). Pintura mural del periodo s. I a.C. Colección del Museo Louvre. Fotografía de la autora.  
Figuras 2.2 (arriba derecha) y 2.3 (abajo) Casa del Mitreo en Mérida. Vivienda edificada a finales del siglo I y principios del II d.C. En las estancias principales se conservan restos de pinturas que imitan el mármol. Fotografía de la autora.

## 2.2 REVESTIMIENTOS DE PIEDRA NATURAL

La palabra “revestimiento” se define como la acción y efecto de revestir. Atendiendo a su origen etimológico revestir es un vocablo que proviene del latín, compuesto por el prefijo “re-” o repetición, y el verbo “vestire”, o vestirse, ponerse ropa, por lo que se puede identificar con cubrir una superficie con el fin de protegerla o decorarla, según el caso.

El revestimiento en la construcción se relaciona con el recubrimiento exterior e interior de una edificación, proporcionándole carácter, identidad y estética, además de brindarle durabilidad y valor de acuerdo al tipo de recubrimiento que se emplee. Se podría decir que el origen del revestimiento en la construcción surge ante la necesidad de cubrir, de proteger. Su finalidad ha sido la protección del interior, mejorando el confort térmico y acústico además de ennoblecer y embellecer las superficies.

En contraposición a la teoría clasicista vitruviana basada en los conceptos de firmitas (firmeza), utilitas (utilidad) y venustas (belleza), que predominaba en la cultura occidental arquitectónica, surge a mediados del s. XIX una nueva teoría en Alemania, de mano de Gottfried Semper, en la que defiende su teoría del origen textil del revestimiento.

En el campo de las construcciones en piedra, la introducción de estos nuevos conceptos es importante, teniendo en cuenta que durante siglos se la piedra ha estado ligada al concepto de materia resistente, al muro sólido en el que “un todo” respondía a los requisitos constructivos y técnicos propios de la fachada, además de estructurales. El concepto de revestimiento en piedra, por tanto, está muy ligado a estas teorías revolucionarias.

Por otro lado, los revestimientos de piedra no se sujetan por sí mismos, sino que necesitan un elemento constructivo resistente al que unirse o sobre el que fijarse, abriéndose el debate entre revelar su verdadera condición o enmascararla imitando aparejos tradicionales. La utilización de la piedra como material de revestimiento en las fachadas ha sufrido una evolución desigual. Aunque se han conservado restos que demuestran el empleo de estas prácticas durante las épocas romana y bizantina, habrá que esperar hasta el siglo XIX para asistir a la revolución de los revestimientos de piedra dentro del debate del confrontamiento entre estructura y cerramiento.

«Del entrelazo de las ramas se pasó rápidamente a entrelazar rafia para esteras y cobertores. A partir de ahí se desarrolló también el tejido con filamentos vegetales, y así sucesivamente. Los ornamentos más antiguos son los ejecutados entrelazando o anudando, o las decoraciones realizadas con el dedo sobre arcilla blanda apoyada sobre una plataforma giratoria. El uso de entrelazar estacas para delimitar la propiedad, de utilizar esteras y alfombras como cobertores para los pies, para resguardarse del sol y el frío y para separar los espacios interiores en las habitaciones en la mayor parte de los casos y, especialmente, en condiciones climáticas favorables, precedió al uso de las paredes de muro (...) Siendo el entrelazado el elemento originario, más tarde, cuando las ligeras paredes de esteras se transformaron en sólidos muros de tierra, ladrillos o cubos de piedra, conservó también, real o sólo idealmente, todo el peso de su primitiva importancia, la verdadera esencia de la pared. El tapiz siguió siendo pared, la delimitación espacial visible. Los muros que se encontraban detrás de él, con frecuencia muy sólidos, eran necesarios para otros fines que no tenían que ver con la espacialidad, sino con la seguridad, la resistencia, la mayor duración y otras cosas similares. Allá donde no eran necesarios estos requisitos colaterales, los tapices seguían siendo las únicas separaciones originarias, e incluso allá donde era necesario erigir muros sólidos, éstos constituían solo el esqueleto interno, no visible, oculto detrás de los verdaderos y legítimos representantes de la pared, los tapices variopintos. La pared misma mantuvo este significado incluso cuando, para una mayor duración de los tapices, o para que se conservasen mejor las paredes situadas detrás de ellos, o por ahorro, o por el contrario, por ostentación de un mayor lujo, o por cualquier otro motivo, los tejidos originarios eran sustituidos por otros. El espíritu inventivo humano creó muchos de estos sustitutivos, empleando sucesivamente todas las ramas de la técnica. Entre los sustitutivos más utilizados y, quizá, más antiguos, el arte murario ofrecía un medio, el revoco de estuco, o en otros países, revoco de asfalto. Los artesanos de la madera construían entablados (...) con los que recubrían las paredes, especialmente en las partes inferiores. Los artesanos del horno proporcionaban terracotas esmaltadas y placas metálicas (...). La pintura y la escultura sobre madera, estuco, terracota, metal o piedra, era y siguió siendo inconscientemente en la tradición una imitación de los bordados variopintos y de los entrelazos de las antiquísimas paredes de tejido.»

G. Semper (1851). Die Vier Elemente der Baukunst - Braunschweig



### 2.2.1 ORIGEN DE LOS REVESTIMIENTOS DE PIEDRA

La técnica romana de los revestimientos romanos, desarrollada fundamentalmente entre los siglos I a.C y V d.C, consiste en una de las primeras referencias de la utilización de revestimientos de paramentos con placas delgadas de piedra. Las primeras referencias se relacionan con la aparición de la cantera de Carrara, puesta en explotación durante la época de Julio César, y se refieren a su empleo durante el siglo I a.C. en residencias imperiales (Castro Villalba, 1999). Alguno de los primeros ejemplos de casas romanas decoradas con mármol se retorna al año 143 a.C., y al año 90 s.C en el caso de la casa de Luco Craso en el Palatino, del año 90 a.C.

Tras estos esporádicos ejemplos, habrá que esperar hasta la política de Augusto, época en la que las canteras existentes empezaron a funcionar a un rendimiento superior, extrayendo piedra en grandes cantidades (Acocella, 2004). No se limitaban a un solo tipo de mármol, sino que utilizaban diferentes variedades que, dependiendo del curso de la naturaleza de la roca, podían contener además caliza, granito, serpentina, alabastro, pórfidos, jaspe u otros. La elección de los romanos se basaba en muchos casos en aspectos estéticos como la elección de colores o brillo, llegando incluso a transportar mármoles desde lejanas canteras en África, Grecia o la actual Turquía (Gnoli, 1988).

La belleza que los mármoles aportaban por sus cualidades estéticas motivó que se reconstruyeran numerosos edificios públicos, sustituyendo materiales de acabado como terracota, estuco o adobe por revestimientos de piedra y se construyeron también nuevos edificios públicos (Adam, 1984). Se realizaron aplacados de losas de mármol pulidas y planas, dando lugar por primera vez a la idea del revestimiento con placas de poco espesor.

Existen numerosos ejemplos del empleo de esta técnica que se han conservado, especialmente de los siglos I y II d.C. Durante las excavaciones realizadas en varios emplazamientos diferentes se han podido recuperar casos en los que aún se conservan las placas de piedra in-situ en su posición original, especialmente en zócalos. En otros casos se conservan muestras parciales o restos de las placas desprendidas y volcadas. En alguno de estos casos se ha podido observar restos del sistema de fijación empleado (Dobbins, 1983). Los casos que se han conservado, junto con los numerosos estudios existentes sobre ellos, permiten conocer los elementos constructivos utilizados y, por tanto, establecer hipótesis acerca del proceso constructivo. Un hecho significativo es la existencia de casos en los que los romanos recurrieron a la utilización de grapas metálicas para la colocación del revestimiento, en colaboración con el mortero.

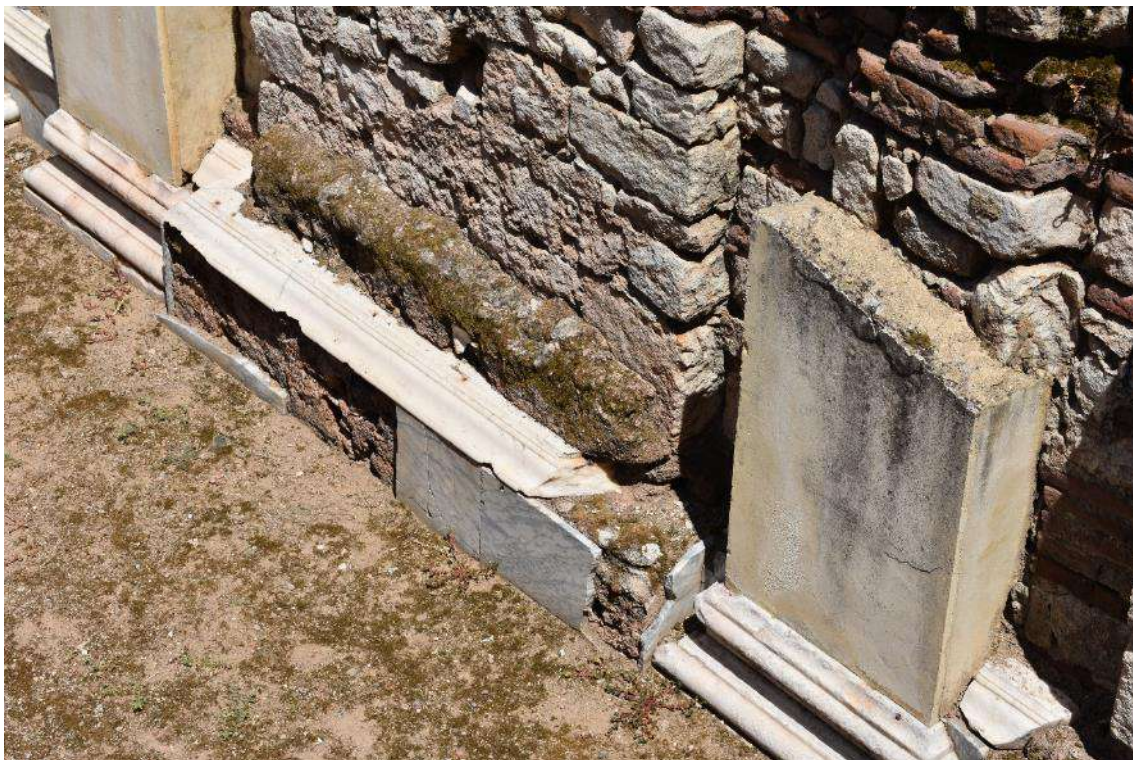
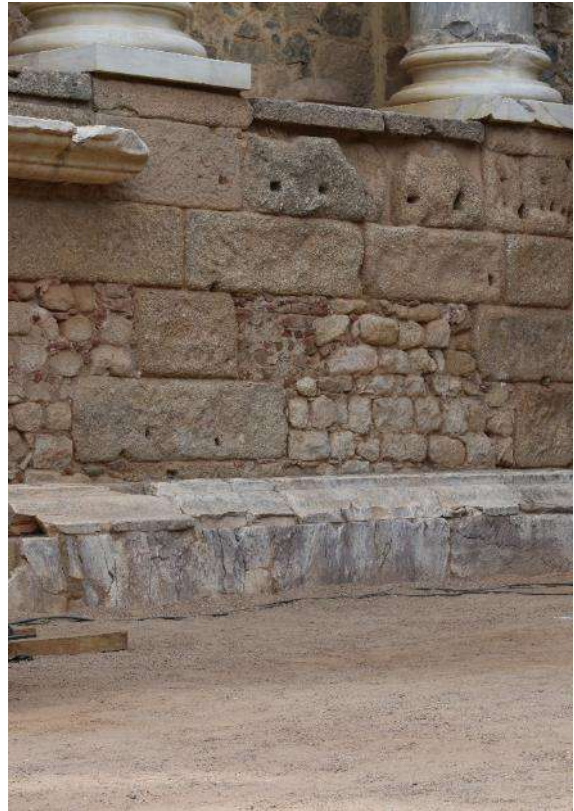


Figura 2.4 (arriba). Restos de revestimientos de mármol en el área arqueológica de las morerías, Mérida. Fotografía de la autora.

Figura 2.5 (abajo). Restos de revestimientos de mármol en el Pórtico del Foro, Mérida. El pórtico formaba parte del complejo del Foro Municipal de Augusta Emerita, del siglo I d.C. Estuvo revestido íntegramente de mármol. Fotografía de la autora.



Figuras 2.6, 2.7 y 2.8. Restos de revestimientos de mármol en el Teatro Romano de Mérida, del siglo I a.C. La escena se cierra en su parte trasera con un muro alto elevado sobre un pódium con revestimiento de placas de mármol. Fotografía de la autora.

## FIJACIÓN AMORTERADA

Este sistema consistía en la colocación de las placas de piedra adheridas mediante una capa de mortero de cal al muro soporte. Gracias al desarrollo de las primeras máquinas para serrar piedra se consiguió un gran adelgazamiento de las placas, llegando a conseguir placas de incluso 1 centímetro de espesor (Adam 1984), que permitían una mayor adaptación en cuanto a formas y tamaños y nuevos diseños de acabados más refinados. La perfección del acabado en este caso dependía de la eficacia de la técnica y de la habilidad del albañil para conseguir una yuxtaposición uniforme entre las placas y la adecuada nivelación de todas ellas.

En numerosos yacimientos se han preservado cantidades importantes de mármol en zócalos, a nivel de suelo de habitaciones o estancias excavadas. En algunos casos se pueden observar placas o restos de ellas aún in-situ y, en otros casos, se ha conservado la capa de mortero casi intacta. Dobbins (1983) describe el procedimiento para colocar las placas de mármol como sigue:

- Después de la construcción, la pared estaba preparada para recibir el mortero. Se practicaban una serie de agujeros en la superficie de la pared. En los agujeros se incorporaban tapones de mármol acuñados en bronce o hierro, sobresaliendo de la pared para garantizar el agarre del mortero
- El mortero consistía en mortero de cal con pequeñas inclusiones de terracota y piedra. Tenía un espesor que podía estar entre 5 y 10 centímetros, dependiendo del caso, se colocaba por secciones. En unos casos en hiladas horizontales a cualquier altura del revestimiento, y en otros coincidiendo con las dimensiones de las placas, probablemente cuando estas eran de gran tamaño.
- En la superficie del mortero aún húmedo, se incrustaban cuñas, que generalmente consistían en restos de otras construcciones, como fragmentos rotos de otros revestimientos de piedra o fragmentos curvos de terracota.

No hay consenso claro respecto al patrón para colocar estas cuñas ni respecto a su función. En unos casos, se han observado alrededor del perímetro de cada cuadrante de mortero. En otros casos, parecen colocarse de una forma más o menos aleatoria. En algunos ejemplos posteriores se han identificado como una combinación de ambos, manteniendo una mayor concentración de cuñas en el perímetro, e introduciendo también otros en el interior del cuadrante (Ball, 2002).

Algunos autores, como Dobbins, indican que estas cuñas se colocaban a ras del mortero, proporcionando una superficie lisa recibir el revestimiento. En otros casos, sin embargo, se plantea que se colocaban incrustadas en el mortero. Esta teoría, defendida por Ball, parece más evidente, especialmente cuando las cuñas utilizadas eran piezas curvas de terracota en lugar de fragmentos planos de piedra.

Para Ball, la disposición irregular de las cuñas indica que su función no puede depender de su posición respecto a las placas, sino que podría estar relacionada con facilitar de alguna manera la colocación de las placas, que debido a la viscosidad del mortero podría dificultar la tarea, dando así un margen mayor para ajustar la posición de las placas.

Para los romanos era muy importante conseguir no sólo una correcta posición de las piezas, sino una perfecta planeidad de la placa. En este sentido las cuñas situadas a mayor profundidad podrían absorber también los errores dimensionales de grosor que se puedan arrastrar del corte de las placas, permitiendo que el mortero tenga un margen de adaptación y consiguiendo una perfecta yuxtaposición de las placas contiguas (Gallego Blázquez, 2017).

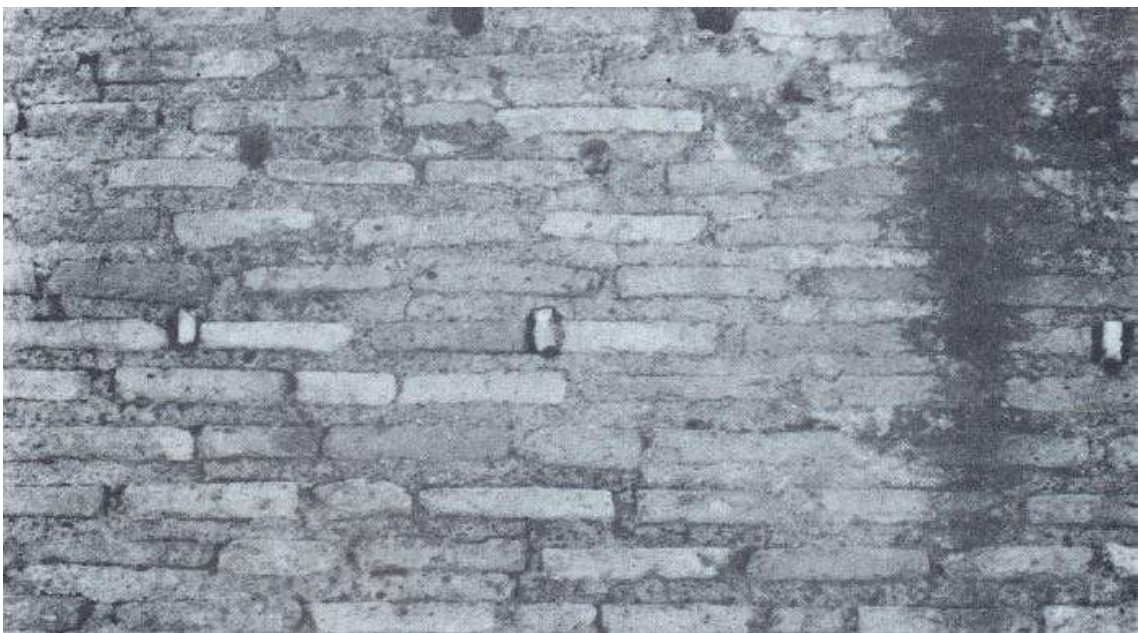
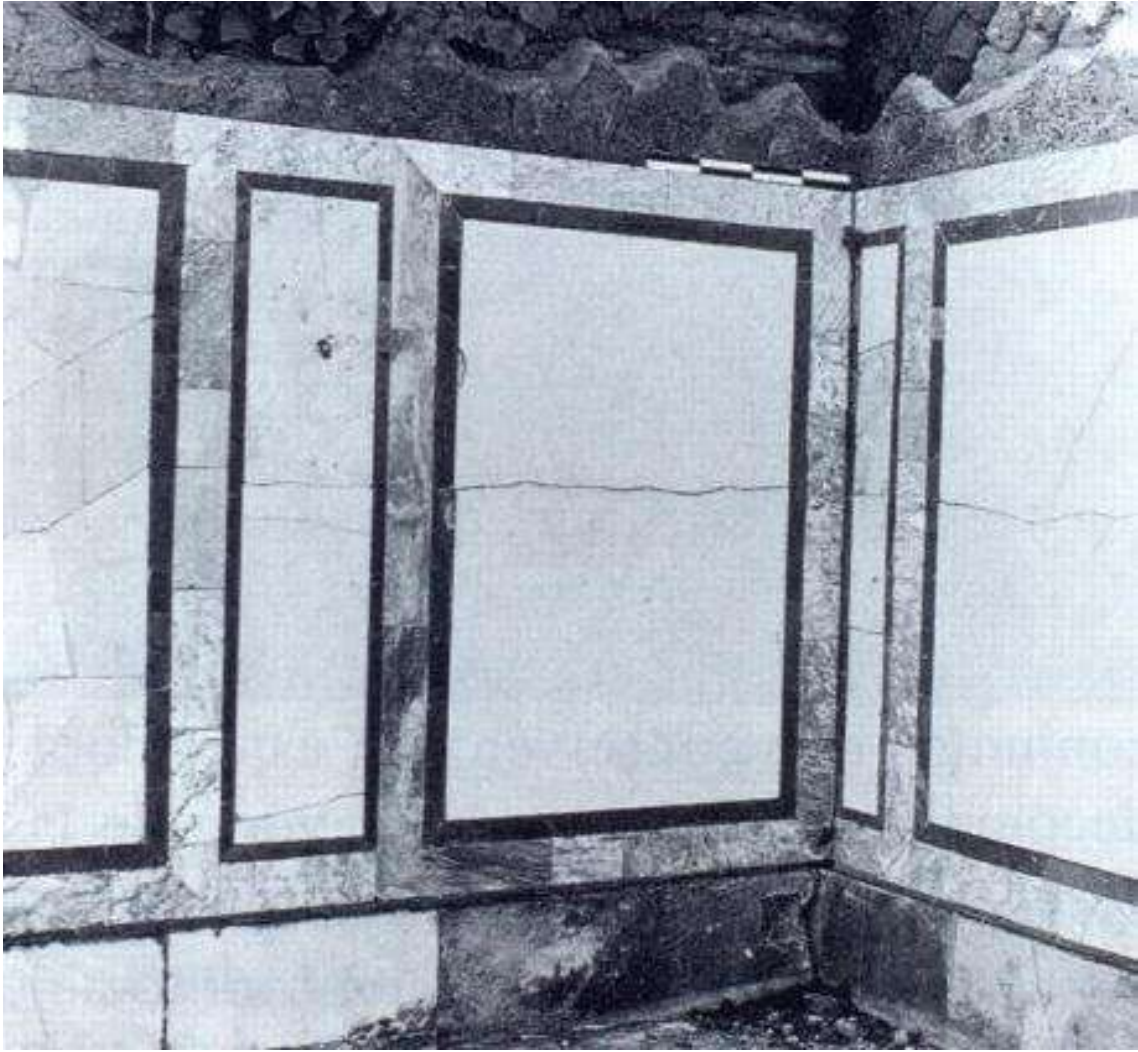


Figura 2.9 (arriba). Revestimiento mural de grandes placas de mármol de recuadros polícromos. Casa de Amor y de Psique, Ostia, Roma. Año 300 d.C. En la parte superior de la fotografía se puede observar la capa de mortero adherida al muro previamente realizado. Jean-Pierre Adam (1984). *La construction romaine: matériaux et techniques*. Picard, Paris, p.247

Figura 2.10 (abajo). Detalle de los tapones de mármol acuñaados en cobre o bronce en el interior de la Basílica Aemilia. John J. Dobbins (1983). *The excavation of the Roman villa at La Befra, Italy*. Oxford, England: B.A.R. p.117

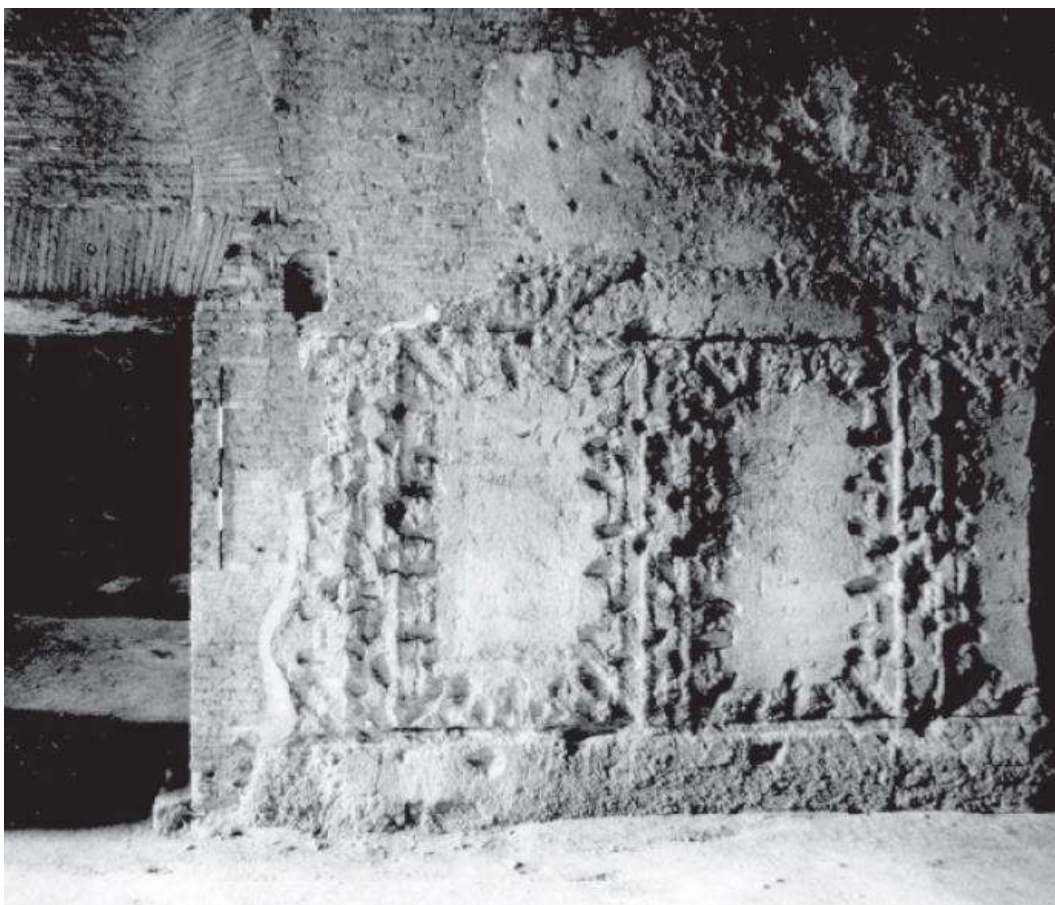


Figura 2.11 (arriba). Revestimiento de las paredes interiores de la Aedicula Concordiae de la ciudad ibero-romana de Torreparedones. Sofía Moreno Lozano (2015). Técnicas edilicias en la ciudad ibero-romana de Torreparedones (Baena, Córdoba). *Arqueología y territorio* nº 12. p.82  
Figura 2.12 (abajo). Casa de Nero en la Domus Aurea. Larry F. Ball (2002). How Did the Romans install Revetment? *American Journal of Archaeology*, vol.106 nº4. p.553

## FIJACIÓN MEDIANTE ANCLAJES METÁLICOS

Existen una serie de casos en los que los romanos recurrieron a la utilización de grapas metálicas para la colocación del revestimiento, además del mortero de cal. En varios ejemplos a partir del s.II d.C se ha observado un cambio constructivo que se traduce en el uso de un mayor número de grapas metálicas. Aunque no se conservan muchos ejemplos de estas prácticas en los que las grapas hayan sido conservadas en su posición original, se puede intuir el método de fijación por la observación de los agujeros en el muro soporte. También se pueden observar las propias placas, en las que en algunos casos quedan agujeros o manchas de hierro, entendiéndose esto como una evidencia de que, al menos en esos puntos, la placa estaba fijada mediante anclajes metálicos (Dobbins, 1983).

Parece que no había establecido un procedimiento estándar. A modo de resumen se podrían incluir en la siguiente clasificación:

- Grapas dispuestas a lo largo de una línea horizontal, sobre las placas de zócalo o molduras (Adam, 1984).
- Grapas clavadas en las placas de piedra (Dobbins, 1983).
- Grapas colocadas en la parte superior e inferior de las placas, o sólo en la parte superior de las mismas, dispuestas regularmente a lo largo de líneas horizontales a una distancia variable (Ball, 2002).
- Grapas colocadas de manera irregular alrededor del perímetro de la placa, no limitándose a la parte superior o inferior (Ball, 2002).
- Grapas colocadas a ambos lados de las juntas verticales entre placas, alternativamente a cada lado y a intervalos irregulares (Ball, 2002).

Aunque existen diferentes teorías y explicaciones acerca de la función de las grapas, su posicionamiento respecto al perímetro de la placa constituye una valiosa información para plantear su posible función. En la siguiente tabla se recogen las distintas tipologías en función de la posición de los anclajes, según los autores analizados.

DISPOSICIÓN DE GRAPAS				
	CLAVADAS	EN JUNTAS HORIZONTALES		EN JUNTAS VERTICALES
		Parte superior de la placa	Parte inferior de la placa	
Tipo 1	X			
Tipo 2		X		
Tipo 3		X	X	
Tipo 4				X
Tipo 5		X	X	X

Tabla 2.1. Tipologías de grapas observadas por varios autores en función de su disposición respecto al borde de la placa. Elaboración propia.

En el caso de los zócalos su función podría ser la de asegurar la placa en su sitio, a modo de anclaje de retención, al estar más expuestas a desprenderse al recibir el peso de las piezas superiores, tal y como representan Ginouves y Martín (1985).

Dobbins introdujo dos cuestiones en relación con los anclajes metálicos. Por un lado, se refiere al considerable peso que las placas de revestimiento ejercen sobre la moldura y el zócalo, y alude a la necesidad de retener las placas con grapas. Por otro lado, interpretó los agujeros con manchas de óxido en algunas placas como elementos para asegurar las placas en su posición. En la figura 2.13 se muestran algunos clavos documentados por Dobbins durante las excavaciones en la villa romana en La Befra, Italia.

Por otro lado, Ball indica que algunas posiciones de las grapas parecen contradecir la idea de que estas pudieran tener funciones estructurales, especialmente cuando se colocaban en la parte superior de las placas y con el gancho apuntando hacia abajo. Ante ello, propone como posible función la de establecer una distancia concreta entre las placas de revestimiento y la pared soporte para facilitar la función de ajustar la posición final de las placas una vez presentadas en su posición definiendo así el espesor exacto de la capa de mortero y permitiendo que las placas quedaran bien alineadas entre sí.

En cualquier caso, parece que su función tenía que estar relacionada con retener las placas en su posición. Podría entenderse este sistema como una respuesta técnica ante los problemas constructivos que generaba el sistema de la fijación amorterada (Gallego Blázquez, 2017).



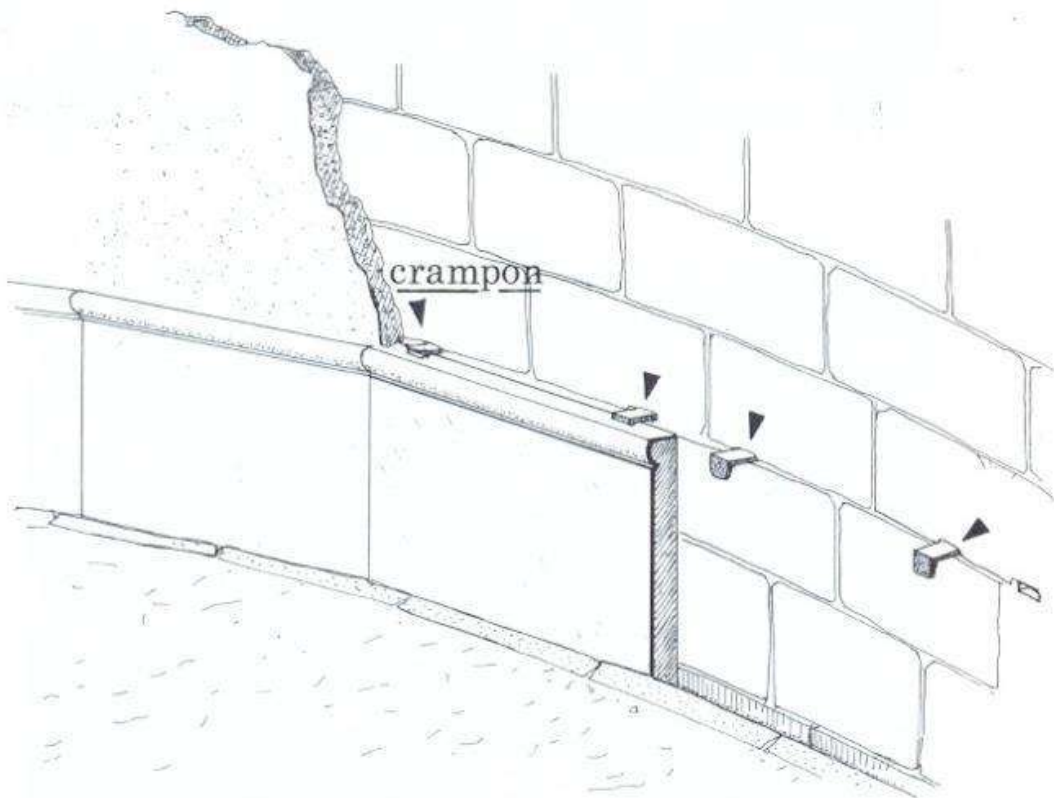
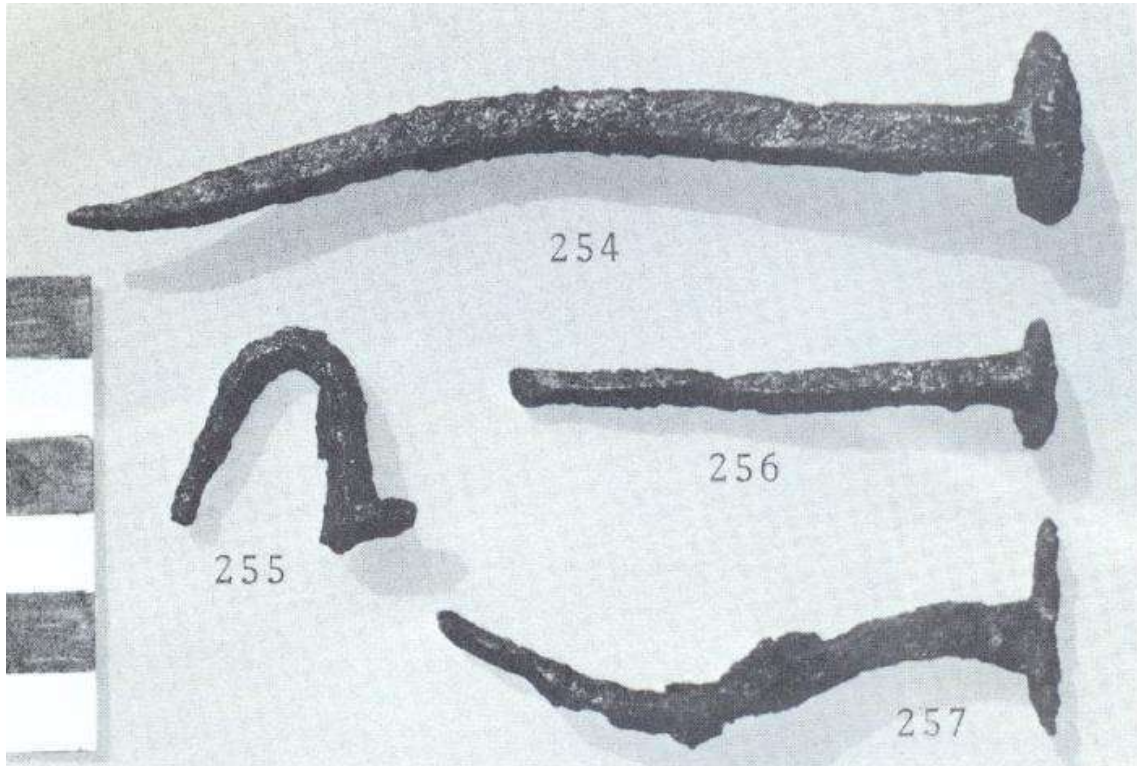


Figura 2.13 (arriba). Anclajes metálicos hallados durante la excavación de la Villa italiana en la Befá. John J. Dobbins (1983). Cit. p.189

Figura 2.14 (abajo). Zócalo de placas de mármol en el anfiteatro de El-Jem. J. Cl. Golvin, Ginouves y Martín (1985). M Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. vol.1: Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor. Atenas: Ecole française d'Athènes.

## **SISTEMA DE CONCAMERATIONE**

El sistema de concameratione consistía en la formación de una cámara hueca por la que circulaba aire caliente que ascendía desde el hypocaustum, permitiendo calentar dicha habitación. Para la formación de esta cámara se construía una doble pared a base de plaquetas separadas del muro y sujetas a este mediante unos elementos que se empotran en el muro maestro por uno de sus extremos y presentan el otro extremo moldurado para poder sujetar las plaquetas.

Estos elementos, que definen un sistema constructivo para la formación de las concameratione, aportaban ventajas frente a otros sistemas utilizados por los romanos (tegulae mammatae y tubuli) al permitir que el aire pudiese circular con la misma amplitud en sentido vertical y horizontal.

### **- CLAVI COCTILES**

Consisten en piezas tubulares de cerámica de sección y longitud variable, que se utilizaban para la formación de las concameratione. En el año 1987 Sanz Gamo los clasifica en 7 tipos en función de su desarrollo y de la morfología de su extremo exterior, nombrándose como Tipo 1-a, Tipo 1-b, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4-a, Tipo 4-b y Tipo 5. Las clavijas de los tipos Tipo 1-a, Tipo 1-b, Tipo 2, Tipo 3 consisten en clavijas cerámicas de secciones cilíndricas o cuadrangulares según el caso. La clavija del Tipo 5 consiste en una pieza hueca que presenta un aspecto similar a un ánfora. Las clavijas de los tipos Tipo 4-a, Tipo 4-b son piezas cilíndricas huecas que se empotraban igualmente en el muro, aunque en este caso la fijación de las placas de terracota se realizaba mediante un clavo o un vástago de hierro que atravesaba la clavija, quedando encastrado en ella.

Estas piezas se han podido observar en yacimientos en los que había habitaciones calefactadas. Se han descubierto, en algunos casos, restos del sistema aún in situ, lo cual permitía establecer el espesor exacto de la cámara de aire. También se han podido encontrar restos parciales y completos de las clavijas utilizadas. En otros casos sólo se han observado los agujeros que dejaron estas piezas en el muro maestro (Sanz Gamo, 1987; Graciani García, 2011; Sarabia Bautista, 2012; Graciani García, 2015).

### **- CLAVOS DE HIERRO**

Otro sistema para la formación de las concameratione consistía en la utilización clavos de hierro en forma de T que se empotraban en el muro. Aunque no se han encontrado muchas referencias a la utilización de este material sí se han localizado referencias a algunos elementos conservados.

### **- OPUS SECTILE**

La técnica romana del opus sectile, con algunos antecedentes previos en Egipto y Asia, consistía en el revestimiento de suelos y paredes mediante piezas delgadas de mármol u otros materiales, con distintas formas y colores, con fines decorativos, como muestra de riqueza y estatus social.

En las paredes de edificios públicos y residencias señoriales se instalaban revestimientos murales con placas de mármol, divididos por bandas y marcos. Con frecuencia se adoptaban composiciones basadas en grandes placas de mármol rodeadas por un marco de otro tipo de mármol, creando configuraciones en secciones. En edificios públicos los revestimientos ocupaban alturas mayores, en algunos casos ocupando paredes completas, mientras que el caso de las residencias se tendía a ocupar la altura de un zócalo.

De todas las domus de Ostia, la de Cupido y Psique puede considerarse la más representativa y mejor

conservada. Con vistas a un atrio central rectangular alargado, hay cuatro pequeñas habitaciones, en una de las cuales se encuentran los restos de revestimiento marmóreo de colores en suelos y paredes, bien conservados hasta una altura de aproximadamente un metro y la mitad del suelo. En otro espacio se conserva una habitación pavimentada con mármol policromado según motivos geométricos y figurativos y un zócalo de tonalidad clara.

A diferencia de los autores anteriores, Acocella (2004) interpreta el proceso de colocación de estos revestimientos a la inversa, es decir, montados al revés. El montaje de los distintos elementos se haría sobre una encimera, utilizando una primera capa a modo de masilla en la que se incrustarían los fragmentos de mármol o terracota, posteriormente aplicando la capa de mortero y finalmente colocando el conjunto en su posición.

Este sistema de colocación podría entenderse en el caso de composiciones a base de placas de dimensiones reducidas y formas variables. Por el contrario, en el caso general de revestimientos con grandes placas no parece que esta técnica aporte ventajas en cuanto a la puesta en obra respecto a las anteriores.

Respecto a la fijación, Acocella propone que depende del peso y la posición, de tal manera que las placas más pesadas normalmente requerían el uso de grapas metálicas que se empotran en agujeros practicados en el muro soporte y solían ir acompañadas de cuñas o tapones de mármol, para ayudas a retener la grapa en su posición. Esta solución constructiva para la fijación de las placas propuesta se identifica con alguna de las soluciones planteadas anteriormente por otros autores.

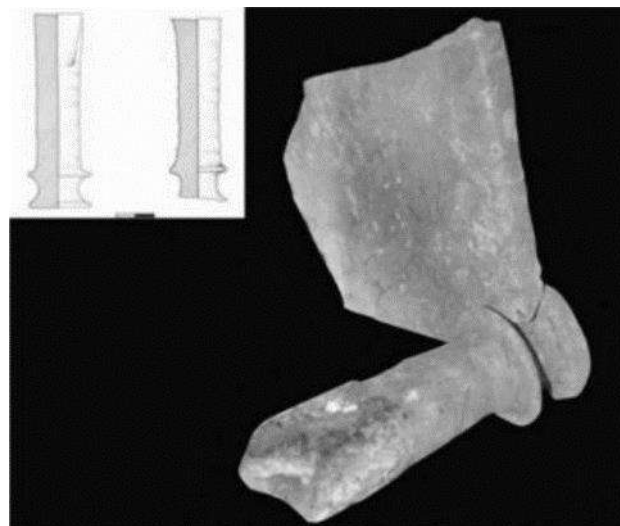
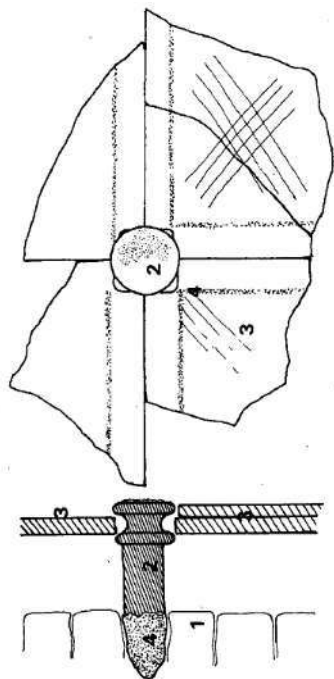
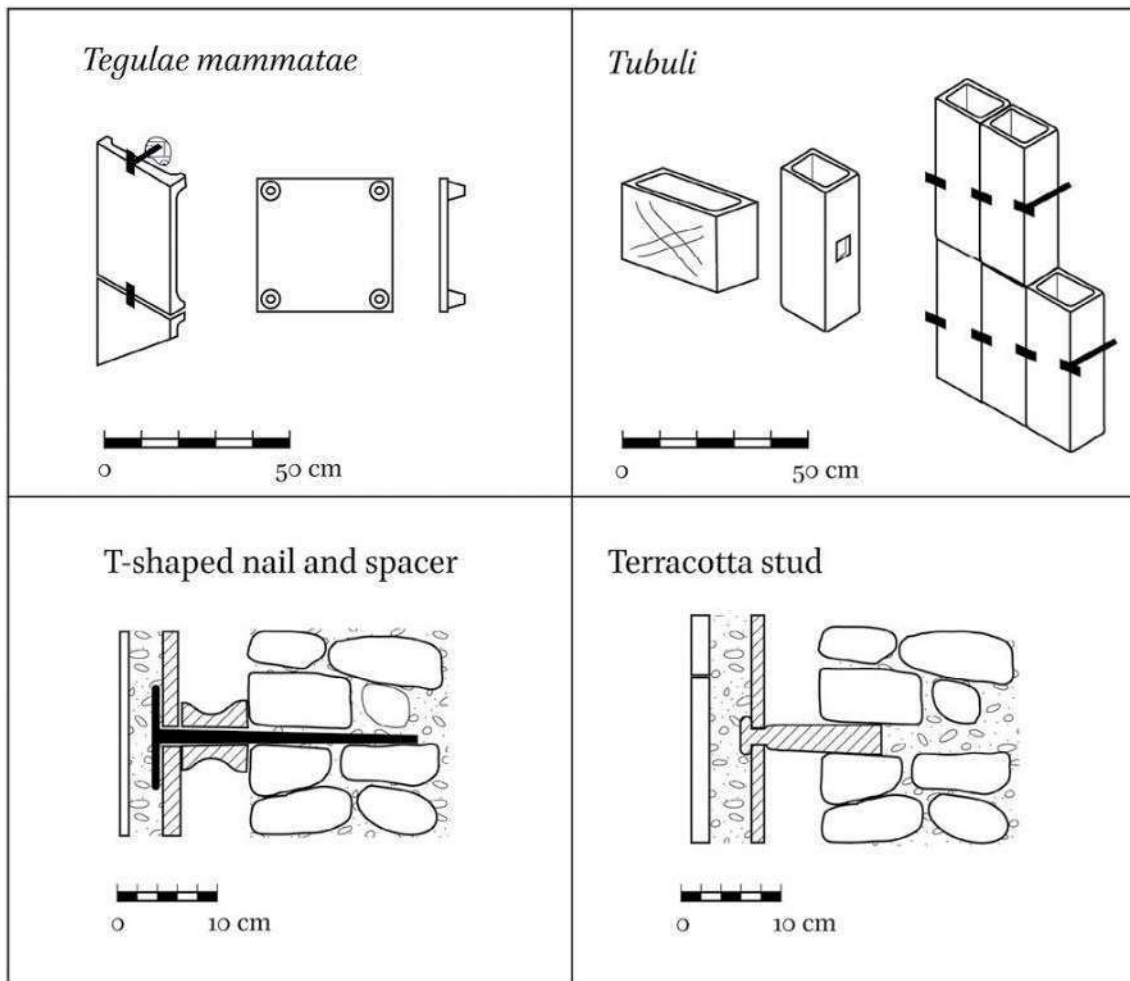


Figura 2.15 (arriba). Maréchal, Sadi (2020). Public Baths and Bathing Habits in Late Antiquity: A Study of the Evidence from Italy, North Africa and Palestine A.D. 285-700, Volume: 6.

Figura 2.16 (abajo izquierda). Sistema de clavi coctiles utilizados en el Pozo de la Peña. 1. Muro maestro 2. Clavija 3. Ladrillos 4. Argamasa. Rubi Sanz Gamo (1987). p.230

Figura 2.17 (abajo derecha). Clavi coctiles hallados en Bazalote de los tipos Tipo 1-a y Tipo 1-b. Julia Sarabia Bautista (2012). p. 180



Figura 18. Termas del Foro de Ostia (Roma). S. II d.C. Imagen del caldarium, donde se pueden observar restos de varios tubuli revestidos con placas de piedra. Fotografía de Alfonso Acocella (2014) <https://www.architetturadi pietra.it/wp/?p=6349>. (Consulta 10.03.2017)



Figura 2.19 (arriba). Termas marítimas de Bolonia, construidas en el siglo II d.C, en un momento de gran poder económico para Baelo Claudia. A finales del s. III d.C. o principios del siglo IV d.C dejó de ser utilizado con uso termal. Para calefactar las estancias se instaló un sistema de concameratione y revestimientos de mármol, que fueron posteriormente parcialmente expoliados. En la fotografía se aprecian los restos de unos elementos cilíndricos cerámicos, dispuestos a intervalos regulares, que podrían corresponder a clavi coctiles. Fotografía de la autora.

Figura 2.20 (abajo izquierda). Detalle del sistema de clavos de hierro encontrado in-situ en la Villa italiana en la Befa. John J. Dobbins (1983). Cit. p.99

Figura 2.21 (centro). Clavo de hierro recuperado con posible uso en el sistema de concameratione romano. En forma de T, de 102 mm de largo, 32 de ancho y 7 de espesor. Tiene forma frontal en forma de T y sección transversal rectangular. See NMS-8225A8 Cf. Manning 1985, 131-2, R70-2. Date from: AD 43 to AD 410. <https://finds.org.uk/images/jmlarch84/medium/LEIC71FABA.jpg> (Consulta 05.03.2017)

Figura 2.22 (abajo derecha). Clavo de hierro recuperado con posible uso en el sistema de concameratione. En forma de T, con cabeza bifurcada y y sección transversal rectangular. Cf. Manning 1985, 131-2, R70-2.. Date from AD 43 to: AD 410. [https://finds.org.uk/images/nbales/medium/IMG\\_1750.JPG](https://finds.org.uk/images/nbales/medium/IMG_1750.JPG) (Consulta 05.03.2017)



Figura 2.23. Detalle de piezas cerámicas utilizadas en las termas de Baelo Claudia (Cádiz) para la formación de concameratione y clavos de hierro utilizados para su sujeción. Fotografía de la autora.



Figura 2.24 (arriba). Opus sectile policromo. Casa de Amor y de Psique, Ostia, Roma. Año 300 d.C. Fotografía de Jo Stoner. <https://visualisinglateantiquity.wordpress.com/2013/11/13/a-research-trip-to-ostia-2/>. (Consulta 08.08.2020)  
Figura 2.25 (abajo). Opus sectile policromo. Ninfeo de los Erotes, Ostia, Roma. s. V. Fotografía del parque arqueológico de Ostia. <https://www.ostia-antica.org/regio4/4/4-1.htm>. (Consulta 08.08.2020)



## REVESTIMIENTOS BIZANTINOS Y ARTE COSMATESCO

El Imperio Bizantino recibió una gran cantidad de conocimientos heredados de la cultura romana. Una de las técnicas que heredaron de las construcciones romanas fue el uso del opus sectile para revestir los muros con el fin de embellecer el interior de los edificios de mayor relevancia, utilizando mármoles en variedad de colores. Los edificios se decoraban en sus partes situadas a mayor altura con mosaicos o frescos en colores vivos y en la parte inferior con revestimientos de losas de mármol, de orígenes y coloraciones variados, dispuestas de modo que las diversas coloraciones formasen una serie de amplios paneles. Los mármoles de mayor calidad solían ser cortados de modo que las dos superficies obtenidas formasen un diseño simétrico o continuo.

La obra arquitectónica cumbre del Imperio Bizantino, así como uno de los ejemplos más representativos de la utilización de revestimientos delgados de piedra en esta época, es la Basílica de Santa Sofía, construida entre los años 523 y 537 d. C. durante el mandato de Justiniano en Constantinopla (actual Estambul). Sus muros interiores están revestidos con grandes placas de mármol policromadas rodeadas por una moldura sobresaliente respecto a la placa en todas sus caras excepto en las esquinas de los muros, en las que no hay moldura y se deja el espesor real de la placa a la vista. Las placas están dispuestas en una composición geométrica, alternando secciones en dos alturas diferentes.

A partir del siglo VI los trabajos de extracción de piedra en canteras se hacen menos frecuentes. Aunque hay varias posibilidades y teorías sobre ello, es posible que uno de los motivos principales se deba a que en esa época se hizo habitual la reutilización de materiales ya disponibles provenientes de construcciones en desuso o deterioradas, evitando así los elevados esfuerzos materiales y humanos que implicaba el duro trabajo de la extracción de bloques y el corte de las placas.

Otra referencia de la recuperación del opus sectile se puede encontrar en los siglos XII y XIII, de mano de la familia de artesanos marmolistas Cosmati y alguna otra familia, que utilizaron una técnica similar conocida como arte cosmatesco. Esta técnica consistía en el revestimiento de paredes en edificaciones religiosas y, especialmente, de suelos, utilizando en gran parte materiales reutilizados procedentes de construcciones romanas en ruinas (Severino, 2012).

Estos ejemplos vistos durante las épocas romana y bizantina pueden interpretarse como un claro reflejo de los conocimientos estéticos y compositivos que tenían, constituyendo alguna de las primeras muestras del diseño de revestimientos siguiendo principios estilísticos en combinación con nociones sobre la técnica constructiva.



Figuras 2.26. Basílica de Santa Sofía (523-537 d.C.). Muros revestidos de placas de mármol. Fotografía de la autora.

## 2.2.2 RECUPERACIÓN DEL REVESTIMIENTO DELGADO DE PIEDRA

El siglo XIX se caracteriza por la aparición de nuevas corrientes y teorías arquitectónicas. A mediados de siglo surgen dos líneas destacables en la teoría del revestimiento. Por un lado, Viollet-le-Duc propone la correspondencia entre estructura y forma arquitectónica. Frente a la imitación, plantea que “el arquitecto debe aprender a analizar las obras maestras del pasado, para después aprender a hacer su propia síntesis, atendiendo a las condiciones y usando los materiales dictados por su propia época.” (Viollet-le-Duc, 1862-1872). En su línea de investigación se podría entender el principio del revestimiento como resultado de la interpretación de la estructura (Fannelli y Gargiani, 1994).

Por otro lado, Semper formula en su trabajo “Die vier Elemente der Baukunst” la teoría del revestimiento, entendido como una envoltura ligera que delimita el espacio. Semper plantea aspectos novedosos, como la transformación de la estructura y los materiales por medio del revestimiento (Fannelli y Gargiani, 1994). Estas teorías de Semper inician una línea recurrente en la teoría de arquitectura en los siglos XIX y XX, la relación entre estructura y revestimiento, que definiría las corrientes arquitectónicas desarrolladas a finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX.

Otros aspectos que definen la transición a las nuevas corrientes arquitectónicas del siglo XX son el desarrollo económico e industrial, la expansión de la energía eléctrica y la aparición de nuevos materiales. En esta época el nuevo espíritu se encontraba en la eficiencia de la máquina y en la inevitable desaparición del trabajo artesanal para dejar paso a la producción en serie. La tecnología y la ciencia dieron lugar a nuevos materiales que permitieron nuevas formas de construir. La arquitectura a base de pórticos de acero laminado o de hormigón armado originaron nuevos lenguajes arquitectónicos y la arquitectura muraria pasó a dividirse en un esqueleto estructural que se cubría con un cerramiento. Se abre pues, una nueva etapa en la historia de la piedra aplicada a la arquitectura.

Todos los ingenios de maquinaria que se desarrollaron a lo largo del periodo de la revolución industrial, y especialmente en el curso del s. XIX, hicieron progresar la técnica de las construcciones y pusieron a punto los medios de los que se servirá posteriormente el movimiento moderno. Estos aspectos, por otro lado, favorecen una progresiva distinción entre teoría y práctica de la arquitectura, dando lugar a la especialización (Benévolo, 1980).

Víctor Horta, arquitecto Belga considerado como uno de los pioneros del movimiento modernista, desarrolla en la década de 1890 una serie de ensayos sobre la definición de un nuevo estilo en el revestimiento y la ruptura con la tradición. En la casa Tassel (Bruselas, 1892-1893) Horta inicia su estilo basado en la idea de libertad de las leyes históricas impostadas, tanto en la configuración de los espacios, el uso de materiales como el hierro y el vidrio y la introducción de sistemas de instalaciones para mejorar el confort de los usuarios. En la fachada introduce varios elementos singulares, destacando el plegado en S del revestimiento para crear el mirador. Horta experimenta sobre el plegado y la ondulación de la fachada y las molduras pétreas en otras viviendas posteriores como la Frison o la Winssinger (Bruselas, 1894).

La composición de la fachada de la casa Solvay (Bruselas, 1895) destaca por la disposición de dos grandes miradores simétricos que ocupan la primera y segunda planta. La curvatura en sección de la fachada para crear los miradores se combina con la curvatura de la fachada entre ellos hacia adentro, en un movimiento inverso. La combinación de todos estos elementos da lugar a numerosos puntos resueltos de una forma muy singular creando un efecto de fachada moldeable y en movimiento.

Estos ejemplos abren nuevos debates sobre la definición del concepto de estilo. Se inicia la reflexión entre revestimiento, estructura y cierre, entre revelar y enmascarar aprovechando las posibilidades que ofrecen los nuevos materiales y las nuevas técnicas.

Todas estas teorías influenciaron de una forma muy evidente las obras de arquitectos del movimiento secesionista y del movimiento moderno. Arquitectos como Adolf Loos, Otto Wagner o Josef Hoffmann, la llevaron más lejos, defendiendo e impulsando la utilización de la piedra natural a modo de revestimiento delgado y ligero, entendido como un claro reflejo de los avances de la técnica y de la nueva sociedad. Esta técnica constructiva, recuperada entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX en países como Viena, Bélgica o Estocolmo, derivó en una rápida difusión del sistema de aplacado delgado de piedra por toda Europa a lo largo del siglo XX.

En este estilo la piedra deja de tener funciones estructurales, pasando a mostrar una voluntad de piel, de revestimiento totalmente independiente de la estructura, se recupera el concepto del diseño del despiece de la fachada desde principios compositivos. En ese momento se hizo evidente el salto de lo tectónico a lo laminar, defendiendo que el revestimiento no debe imitar la estructura ni el muro resistente, sino mostrar la verdad de los materiales.

Otro aspecto que preocupa a estos arquitectos en ese momento es la contraposición entre la adaptación a las corrientes dominantes de la época y la evolución. Como indica Loos (Loos, 1898) “me da la sensación que, entre las artes plásticas, la arquitectura parece como si quedara en el último puesto; y eso en relación al orden establecido según la adaptación a las corrientes dominantes de esta época. (...) Pero así nos resulta más fácil adivinar el nuevo camino de la arquitectura, en base a las transformaciones que las otras artes ya han superado”. Para Loos, la arquitectura tiene que servirse continuamente de nuevas formas, para seguir siendo efectiva y la ausencia de ornamento permite ver la verdadera fuerza del material, ser más finos y sutiles.

En 1896 se publica por primera vez la obra de Wagner “Moderne Arkitektur”, donde defiende una nueva arquitectura renovada y honesta que represente “la expresión honesta de las nuevas formas de construir a partir de una estructura”. Para Wagner, los nuevos medios para responder a las exigencias de la construcción son sobre todo la “utilización de nuevos materiales, la introducción de máquinas y la división del trabajo”. Desde su lógica las nuevas corrientes artísticas han aparecido porque las nuevas técnicas empleadas, materiales, herramientas y medios disponibles que surgen en un determinado momento provocan por necesidad la paulatina aparición de un nuevo estilo y “el resultado pragmático es muy sencillo: el arquitecto siempre tiene que desarrollar la forma artística a partir de la construcción” (Sarnitz, 2005).

Ante esta situación los arquitectos defensores de los revestimientos de piedra empezaron a buscar imágenes de edificios que generaran superficies continuas y alejadas de la imagen tradicional muraria. En el edificio Goldman & Salatsch de la Michaelerplatz (Viena, 1909-1911), Adolf Loos tiende a buscar superficies sin suturas y que no imiten ninguna estructura constructiva. Las placas de mármol griego de Cipollino, por tanto, se utilizaron en las dimensiones más grandes posibles y se adosaban de manera que se conseguían efectos de continuidad de los veteados, creando un efecto de superficie sin juntas.

Josef Hoffmann, discípulo de Wagner, profundiza en la teoría del revestimiento y de cortina colgante wagneriana a través de los revocos. El único ejemplo en el que utilizó un revestimiento de piedra es el Palacio construido para Adolphe Stoclet (Bruselas, 1905-1911). Para el revestimiento utilizó placas de mármol, colocadas con juntas alineadas en vertical y en horizontal, y con un tamaño que hacía evidente la diferencia con respecto al bloque de piedra. Las placas se colocaron sin hacer evidente el sistema de

fijación, excepto en las esquinas, en las que utilizaron elementos metálicos para facilitar la sujeción de las placas de borde. Este marco perimetral metálico ayuda a definir el estilo de superficie continua ligera, independizando de forma visual cada uno de los planos de la fachada.

Josef Plečnik, también alumno de Wagner, experimenta la teoría del revestimiento pétreo en la Zacherl-Haus (Viena 1900-1905), donde utiliza un revestimiento de placas de granito de Suecia con codos metálicos ocultos que asumen la función de retención y guías verticales de granito con sección en forma de T y cabeza circular (Fannelli y Gargiani 1994). Esta solución aporta una cualidad rítmica y modulada a la fachada, coincidiendo las guías verticales con los huecos para carpinterías.

En el teatro de los Champs-Élysées (París, 1911-1913), Auguste Perret utiliza placas de mármol blanco, ancladas a un muro de ladrillo interior y a la estructura de hormigón armado. La ruptura con la tradición muraria en este caso se consigue mediante la habilidad para la disposición de las placas rectangulares en posición vertical y el diseño basado de juntas verticales continuas.

Sin embargo, el arquitecto que se convertiría en el máximo representante de la defensa y evolución en la utilización de la piedra natural fue el arquitecto austriaco Otto Wagner. Wagner afirmaba que la arquitectura debía reflejar el hecho de que las nuevas tareas y puntos de vista de la humanidad pedían un cambio, y defendía una nueva arquitectura renovada que según él era “la expresión honesta de las nuevas formas de construir a partir de una estructura” (Sarnitz, 2005). A finales del siglo XIX Wagner desarrolló un sistema constructivo de revestimiento de fachadas con placas de piedra natural, basado en los principios que transmitía a través de la Wagnerschule y evidenciando la distinción entre estructura y revestimiento y los conceptos de piel y revestimiento textil. Ya en 1895 el propio Wagner teoriza sobre ello, describiendo en su libro *Moderne Architektur* lo que define como una manera de construir moderna.

“Para el revestimiento exterior del edificio se utilizan placas. Estas placas pueden tener un espesor mucho menor y, a cambio, pueden ser de un material más noble (por ejemplo, mármol de Laas). La fijación de estas placas se podría realizar con anclajes de bronce (rosetas). (...) El cubicaje se reduciría de 1/5 a 1/6 de lo necesario en el primer caso, el número de elementos constructivos sería menor, el efecto monumental aumentaría gracias al empleo de materiales más nobles, los medios económicos necesarios se reducirían considerablemente y el plazo de realización también sería más corto” (8).

Este sistema, que evidenciaba de una forma muy clara la estructura del revestimiento, se basa en la utilización de placas de piedra de poco espesor que se fijan a un muro soporte mediante tornillos metálicos en forma de clavos pasantes. A nivel práctico lo desarrolló en una serie de edificios y proyectos representativos durante las primeras décadas del siglo XX, desde los croquis iniciales para el proyecto no realizado de la galería de arte moderno (1899) hasta el proyecto para la segunda Villa Wagner (1912). Los edificios construidos más representativos son la Iglesia de San Leopoldo (Viena, 1904-1906), el Edificio de control de la presa Kaiserbad (Viena, 1904-1906) y el Edificio de la Caja Postal de Ahorros de Viena (Viena, 1904-1906, 1910-1912). Este sistema de fijación vista se convirtió al mismo tiempo en solución técnica, puesto que los clavos aseguraban las placas en su posición mientras que el mortero endurecía, y en elemento cualificador del diseño y composición de la fachada. De una forma singular a la vez que coherente, Wagner consigue que los anclajes se conviertan al mismo tiempo en solución técnica y en la definición de un estilo.

Max Fabiani, también discípulo de Wagner y probablemente influenciado por sus teorías, experimentó esta solución a base de placas fijadas mediante anclajes pasantes vistos en la primera hilada de la planta primera en la Artaria-Haus (Viena 1900-1901)



Figuras 2.27, 2.28 (arriba). Casa Tassel (Viena, 1892-1893), Victor Horta. Fotografías de la autora.  
Figuras 2.29 (abajo). Hotel Solvay (Viena, 1894), Victor Horta. Fotografía de la autora.



Figura 2.30, 2.31, 2.32. Edificio Goldman & Salatsch de la Michaelerplatz (Viena, 1909-1911), Adolf Loos. Fotografías de la autora.



Figura 2.33, 2.34 (arriba). Palacio construido para Adolphe Stoclet (Bruselas, 1905-1911), Josef Hoffmann. Fotografías de la autora.

Figura 2.35 (abajo). Zacherl-Haus (Viena 1900-1905), Josef Plečnik. Fotografía de la autora.





Fotografías 2.36, 2.37. Iglesia St Leopold (Viena, 1902-1907), Otto Wagner. Fotografías de la autora.



Fotografías 2.38, 2.39, 2.40. Caja Postal de Ahorros Postsparkasse (Viena, 1903-1912), Otto Wagner. Fotografías de la autora.



Figura 2.41. Edificio para la presa Kaiserbad (Viena, 1904-1906), Otto Wagner. Fotografía de la autora.



Figura 2.42. Artaria-Haus (Viena, 1900-1901), Max Fabiani. Fotografía de la autora.

## 2.3 EVOLUCIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS E INCORPORACIÓN DE FIJACIONES METÁLICAS

Las fijaciones metálicas constituyen un componente fundamental en el sistema de fachada trasventilada. La utilización de elementos metálicos en las construcciones de fachadas de piedra no es algo nuevo, ya que a lo largo de la historia y desde la aparición de las herramientas de metal se ha relacionado su uso en formas distintas.

En época egipcia, por ejemplo, al no disponer aún de estos elementos metálicos, se utilizaban llaves en forma de cola de milano o doble cola de milano construidas en madera para trabar sillares yuxtapuestos (Choisy, 2006. Tr del original 1904). Con la llegada del plomo los griegos incorporan las primeras llaves metálicas, cuyo uso se combinaba aún con las anteriores de madera (Adam, 1984). Ya en época romana aparecen los primeros ejemplos de anclajes de hierro empleados en revestimientos en época romana, vistos anteriormente.

Para el estudio concreto de las fachadas trasventiladas de piedra es importante conocer cómo ha evolucionado la técnica de los anclajes a través de su utilización en los revestimientos de piedra natural a lo largo del siglo XX. A pesar de conocerse ya su uso y utilidad para la ejecución y durabilidad de los revestimientos no hay muchas referencias escritas hasta aproximadamente mediados del s. XX. Hasta ese momento, por tanto, las referencias se encuentran en las obras construidas en las que se introducían estos elementos y en los propios apuntes de los arquitectos sobre la puesta en obra o incluso sobre el comportamiento del revestimiento con el paso del tiempo, información especialmente relevante al tratarse de un material natural y heterogéneo cuyo comportamiento depende de diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Otro aspecto sobre el que no había información escrita era el espesor mínimo de las placas del revestimiento, de tal manera que su elección se basaba más en condiciones estéticas o la observación de casos previos de éxito.

A mediados de siglo XX se encuentran las primeras referencias en tratados y publicaciones de construcción, en las que se representan grapas o anclajes en el sistema de revestimientos de piedra, junto con el mortero en el trasdós de las piezas, porque favorecían una unión más segura de las placas con la pared portante. E.G Warland (1947) representa varios tipos de fijación de las placas: grapa de tipo varilla, anclaje puntual de bulón en junta horizontal y anclaje puntual de bulón en junta vertical. No se indican recomendaciones acerca del número de anclajes ni de su posición.

En el año 1967 Friedrich Neumann añade en su tratado de construcción más información sobre los revestimientos pétreos. Recomienda la utilización de grapas de metal inoxidable, 4 por placa, no siendo recomendables los alambres para revestimientos exteriores. Nauman añade una serie de indicaciones sobre la función de las fijaciones, tipo de grapas y dimensiones de las perforaciones en la placa. "Las de apoyo son hierros planos especiales, canteados, de 4 mm de grueso (para piedra blanda de 5 a 6) y pasadores de 50 mm de longitud, cuyas dimensiones han de corresponder a las condiciones estáticas... Las grapas de sujeción evitan el giro y el vuelco en las aceras. Las lañas, por un lado, penetran en cajas, de unos 25 mm de profundidad, de la placa y, por otro, en las de apoyo 12 a 15 cm y en las de sujeción 5 a 6 cm en la fábrica. Para las anclas de gancho, se abren ranuras oblicuas en las aceras, de 50 mm de ancho y 25 mm de profundidad (pp. 73-74)."

Otro aspecto importante que introduce Neumann es la necesidad de disponer de juntas de dilatación debido a las variaciones de volumen por la radiación solar, proponiendo la utilización de juntas generales de dilatación de 1 cm que han de llegar hasta la fábrica soporte, horizontales en cada plana y verticales cada 6 metros.

Juan de Cusa (1965, primera edición) dedica un capítulo completo a los chapados de piedra natural, en el que introduce nuevos aspectos como el despiece del chapado, diferenciando los despieces que denominada estandarizados y son los que imitan a silleras y, por otro lado, el resto. Para estos últimos se destaca la importancia de conocer con exactitud las dimensiones de la superficie a cubrir, previa deducción de los huecos, recomendándose realizar esta labor mediante planos de despiece acotados a escala 1:10, acompañados de otros planos frontales, de perfil o de sección en caso de que haya irregularidades en la fachada.

Para la colocación de las placas de piedra, de Cusa distingue nuevamente dos tipos de revestimientos: los de imitación de sillares y más sencillos de colocar, debido a las dimensiones de las piezas; y los revestimientos de placas de mayores dimensiones. Salvo en el caso de superficies de revestimiento de muy poca altura se recomienda la introducción de grapas como elemento de anclaje además de la adherencia del mortero. Los anclajes que define pueden ser de hierro galvanizado, acero inoxidable o latón de 4 a 6 mm de diámetro. Pueden ser dobles para sujetar la placa inferior y superior a la vez. Uno de sus extremos se introduce en un orificio practicado en el canto de la placa y el otro en un agujero en forma de cola de milano practicado en el muro soporte. Para la puesta en obra de Cusa propone que, una vez fijadas las grapas al soporte se rellena el espacio entre la placa y la pared con mortero y un ancho de 2 cm. También se recomienda la colocación de cada hilada una vez hay endurecido la inferior para evitar desplazamientos en las piezas.

Además, de Cusa añade una idea novedosa, indicando que “si el anclaje ha sido realizado concienzudamente, puede prescindirse del relleno con materiales, permitiendo la existencia de una cámara de aire entre las placas y la superficie revestida, con lo que se evitará el posible y posterior deterioro del revestimiento por la presencia de sales o de humedades desprendidas de la pared (p.50).” Además, para el caso de revestimientos de fachadas completas recomendaba incorporar lo que denomina “hiladas de descarga”, una por cada planta, consistentes en placas fijadas con elementos de hierro galvanizado o acero inoxidable empotrados en el muro, cuya función es soportar y asumir los posibles desplazamientos acumulados por las placas sobre ellas.

Por aquel entonces, los desperfectos en muchos revestimientos pétreos amorteros que aparecen años después de su construcción, confirman que el principal problema de este sistema era la pérdida de adherencia de la relación placa-mortero, generalmente a causa de una mala aplicación del mortero, de las dilataciones de los materiales o de las inclemencias del tiempo. Buenaventura Bassegoda (1979) establece como principales motivos del desprendimiento de los revestimientos pétreos la diferencia de coeficientes de dilatación entre el mortero y la piedra, además del desequilibrio causado por la desigualdad de asientos en muros de fábrica. Este último aspecto podría evitarse instalando el revestimiento una vez asentado el muro soporte. Bassegoda propone que cuando la piedra se utiliza como revestimiento de muros no se puede confiar su fijación exclusivamente a la adherencia del mortero, siendo imprescindible el uso de grapas.

Parece evidente que la incorporación de grapas o anclajes junto con el mortero favorecía una unión más segura de las placas. De este modo, la resistencia frente a la succión del viento se debe a la acción combinada de la adherencia piedra-mortero y al efecto retenedor de los anclajes situados en los bordes de las placas. Además de conseguir una mayor seguridad y un aumento de la estabilidad, se facilitaba la puesta en obra y la planeidad.

La publicación de la norma alemana DIN sobre revestimientos de piedra en los años 1970 “Cladding by natural stone, concrete and ceramics; code of practice” y 1973 “Cladding by natural stone, concrete and ceramics; code of practice, comments” supuso un cambio destacado al establecerse normativamente la

definición y requerimientos del sistema constructivo ya que, a partir de este momento, se aprecia que la importancia de la fijación del sistema recae principalmente en los anclajes. Es decir, ya no hablamos de grapas de apoyo que colaboran con el mortero sino de revestimientos de piedra fijados con anclajes. Además, se comienza a hablar del sistema de revestimiento de piedra con cámara de aire como una solución más adecuada para evitar los problemas derivados de los chapados amorterados. Esta norma indica que, excepto en el caso de zócalos o zonas de fachada expuestas a golpes, los revestimientos deberían ejecutarse con una cámara de aire de al menos 20 milímetros. También introduce un aspecto propio del sistema de fachada trasventilada, indicando que para garantizar la circulación de aire en la cámara se dispondrán juntas abiertas en el extremo superior, inferior y bajo el antepecho de la ventana. En el caso de fachadas muy altas se propone la posibilidad de dejar las juntas abiertas.

Durante la década de 1970 se hace más habitual la representación de los elementos de fijación como elementos indispensables del sistema. Aunque todos los anclajes siguen siendo de tipo puntual comenzamos a distinguir una clasificación en función de su posición, encontrando anclajes de remate inferior, continuidad, remate superior e incluso resolución de punto singulares como esquinas o encuentro con huecos.

Los anclajes que aparecieron posteriormente presentaban unos diseños más evolucionados, apreciándose una tecnificación de los elementos, que comienzan a trabajar de una manera análoga a los anclajes simples puntuales que se utilizarían posteriormente en las fachadas trasventiladas. Hemos pasado de elementos simples solían consistir en varillas de metal de 5 o 6 milímetros de diámetro, dobladas en los extremos, cuya función era únicamente retener las placas, evitando su inclinación o desprendimiento, a anclajes propiamente dichos con funciones estructurales.

Este aspecto tiene importancia ya que, si la piedra no presentaba una buena adherencia con el mortero, la resistencia quedaba únicamente confiada a las varillas, produciéndose en ellas una alta concentración de esfuerzos, en muchas ocasiones excesiva produciendo su colapso. En estos casos en los que fallaba la adherencia del mortero la piedra comienza a trabajar a flexión comportándose como una placa sustentada en puntos aislados de su borde. Para mejorar su comportamiento, los anclajes que aparecieron posteriormente presentaban unos diseños más evolucionados y resistentes. Consistían en grapas de acero inoxidable que resistían el peso de las placas en la parte inferior y las aseguraban en la superior. Estas podían tener diferentes configuraciones. Había diferentes tipos de grapas también en función de su posición con respecto a la placa, pudiendo ser para junta horizontal (inferior, intermedio, superior), para junta vertical o para solución de puntos singulares (dintel, piezas de remate). También cobra importancia la previsión de juntas de expansión y de contorno con una anchura mínima, así como la representación de los taladros o ranuras practicados en los cantos de las placas y de las soluciones en esquina.

Por otro lado, el desarrollo normativo en cuanto a la utilización de anclajes ha sufrido una evolución desigual en distintos países. Al contrario de lo que sucedía con las periódicas actualizaciones de la norma DIN 18515 y las publicaciones de documentos técnicos en varios idiomas, en España el único documento técnico normativo con el que se contaba en aquel momento eran las normas NTE de 1973 sobre "Chapados. Revestimiento de paramentos de fábrica con placas de piedra natural".

En el caso de la NTE de 1973 se definen aspectos importantes como el espesor mínimo de las placas, el número mínimo de anclajes por placa y su posición respecto al borde de la placa. No obstante, a diferencia de la norma DIN, no contempla la posibilidad de fijación suprimiendo la capa de mortero. Las fijaciones que se proponen son sencillos anclajes de varilla para el caso de revestimientos de alturas inferiores a 4 metros y, en el caso de alturas superiores, anclajes de acero inoxidable compuestos por un cuerpo de pletina y una varilla en su extremo para terminación oculta, o una chapa para terminación vista.

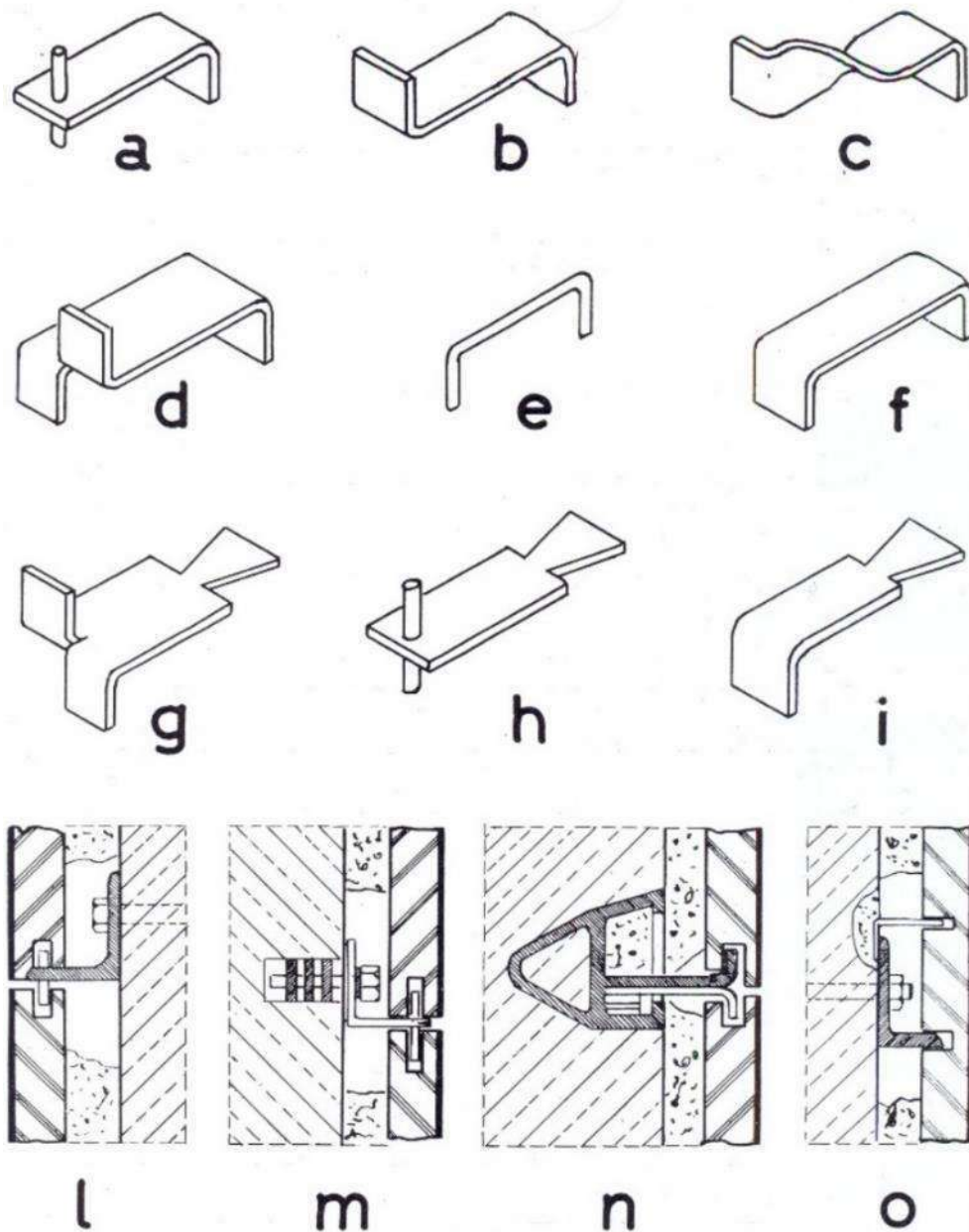


Figura 2.43. Tipologías de anclajes de retención para la sujeción de chapados mediante anclajes. Soluciones italianas. Guía técnica del mármol (1972). Di Silvo, Michele (1993). Facciate di pietra. Il marmo nell'architettura contemporanea: tecnologia dei paramenti esterni tra innovazione e tradizione. Alinea editrice, Firenze. p.50



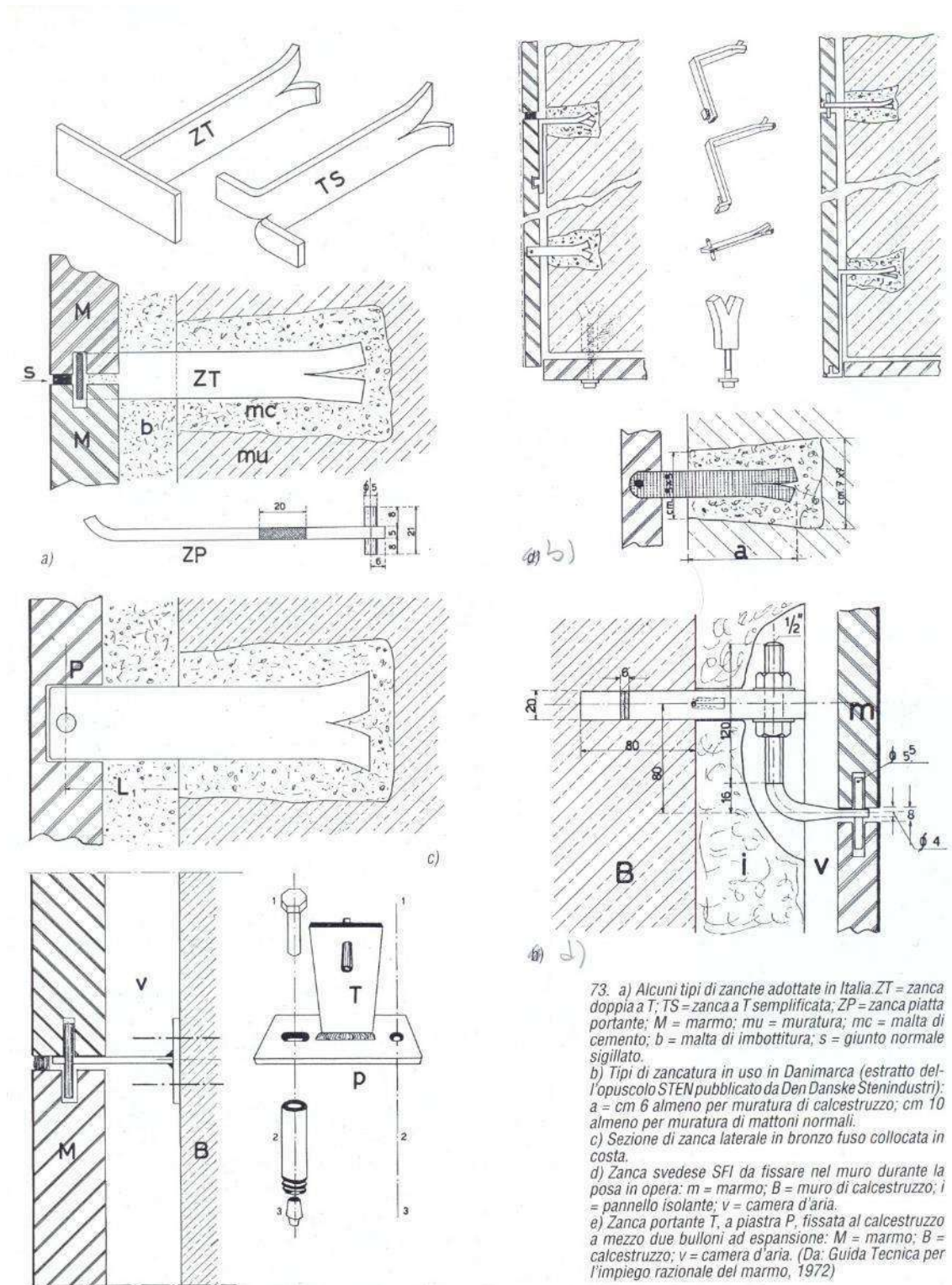


Figura 2.44. Soluciones constructivas para la sujeción de chapados mediante anclajes. soluciones italianas. Guía técnica del mármol (1972). Cit. p. 88

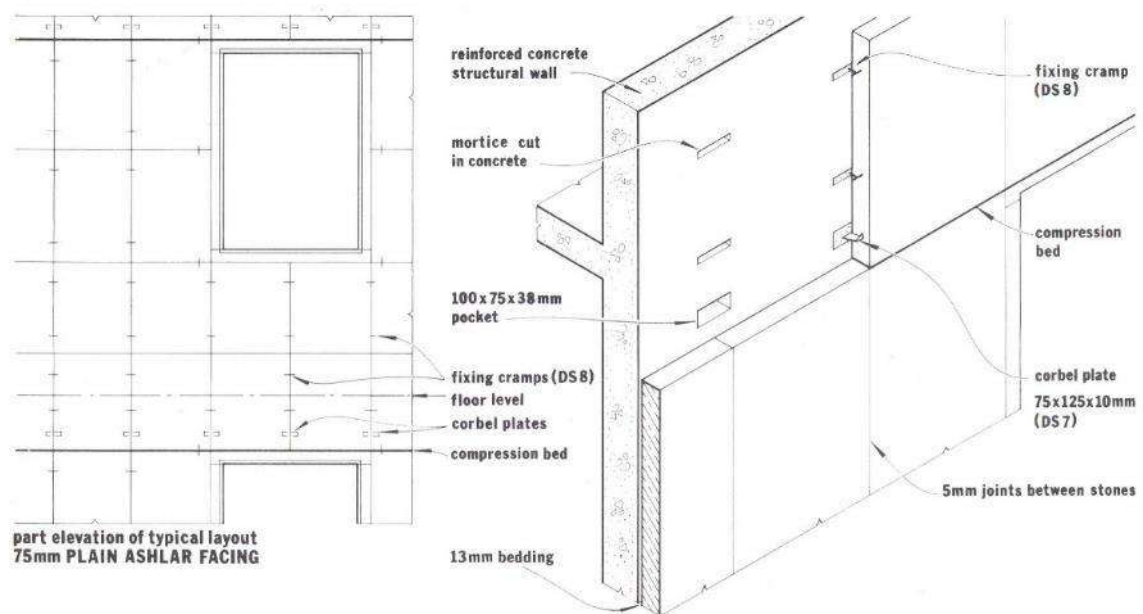
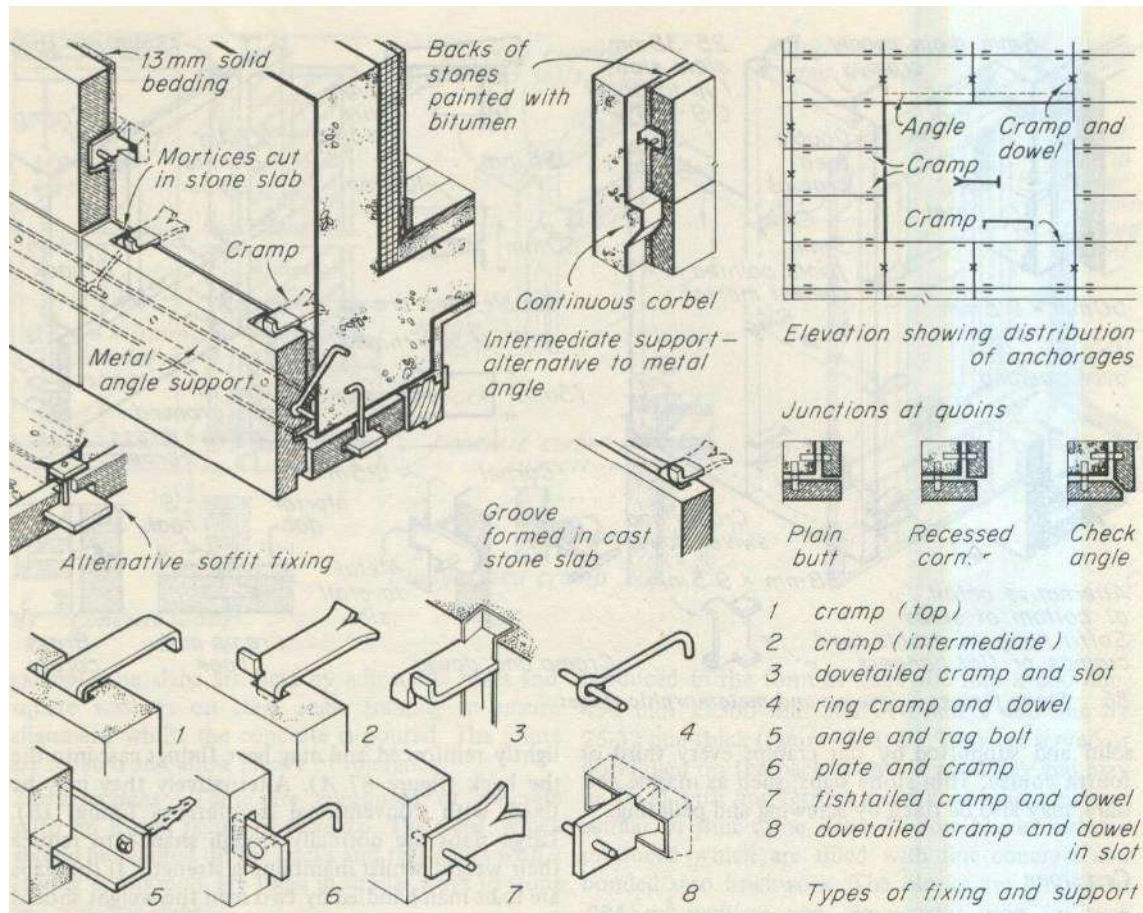


Figura 2.45 (arriba). Soluciones constructivas para la sujeción de chapados mediante anclajes. soluciones americanas. Harington Foster (1979). Structure and fabric.2. Halsted Press, New York. p.153  
Figura 2.46 (abajo). Soluciones constructivas para la sujeción de chapados mediante anclajes. Soluciones inglesas. John Ashurst (1977). Stone in Building. Its Use and Potential Today. Editorial: Architectural Press, London. p.76

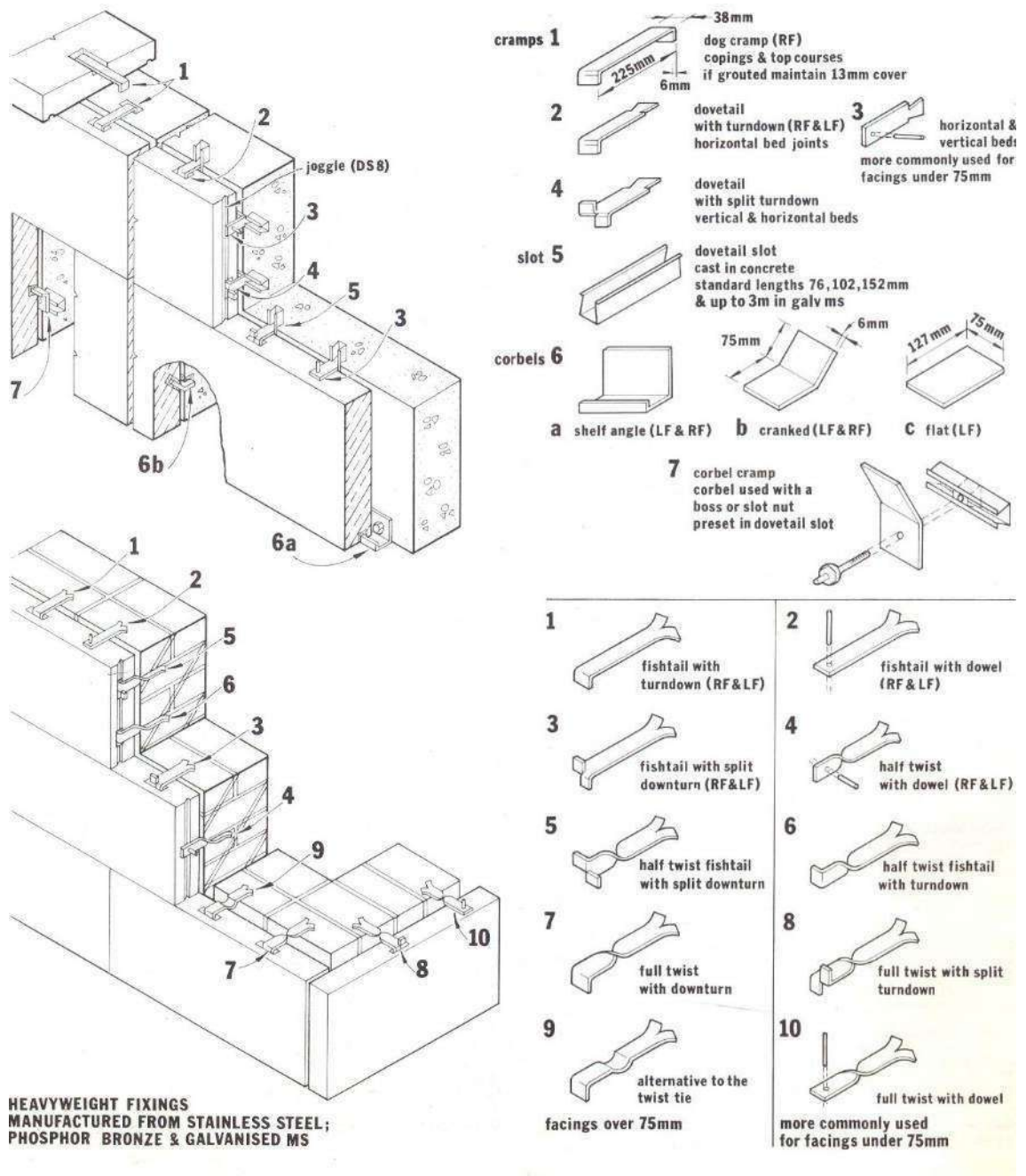
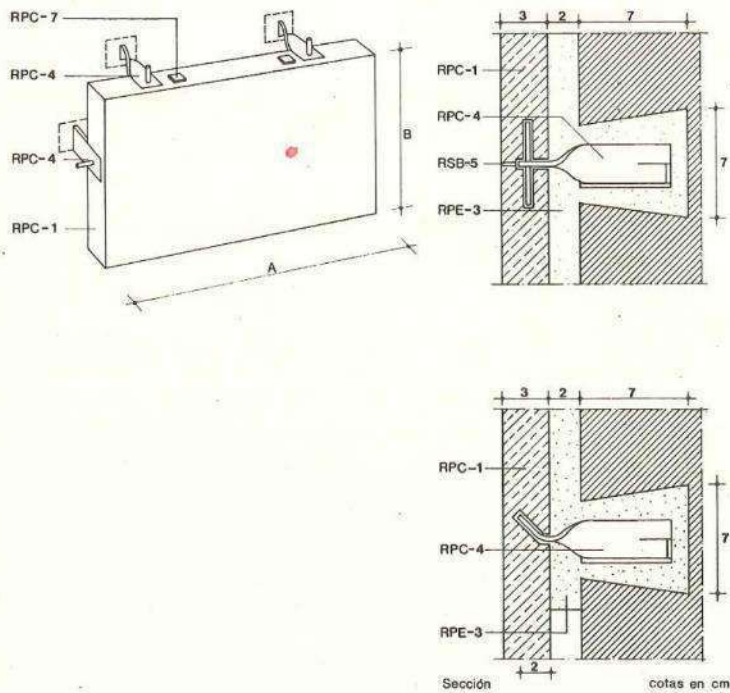


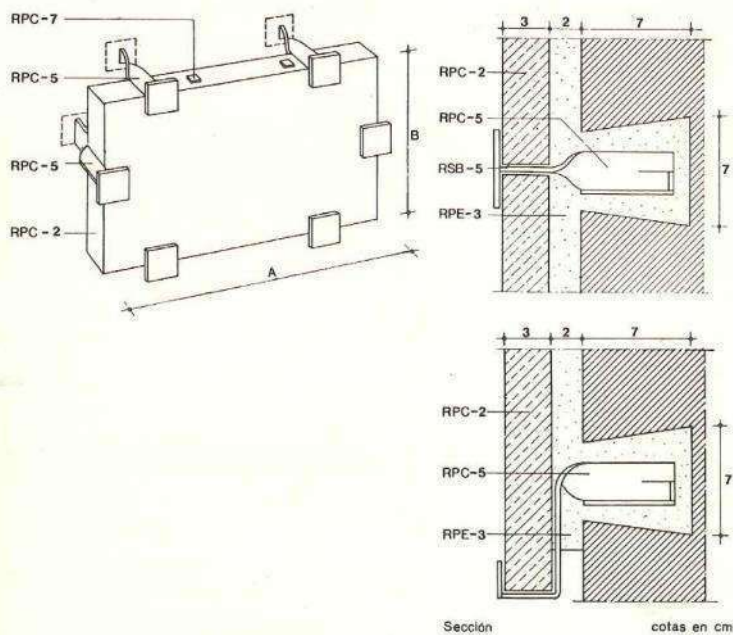
Figura 2.47. Soluciones constructivas para la sujeción de chapados mediante anclajes. Soluciones inglesas. John Ashurst (1977). Cit. p.77

**RPC-8 Chapado con anclaje oculto-A-B-Tipo**



- RPC-1 Placa de piedra.
- RPC-4 Anclaje oculto. Se dispondrán tantos anclajes como taladros con caja presente la placa. Se colocará una chapa de reparto de dimensiones no menores de 60.20.2,5 mm.
- RPC-7 Separador de placas de cloruro de polivinilo.
- RPE-3 Mortero de cemento P-250 y arena de río, de dosificación 1:3. El recibido del anclaje se hará humedeciendo previamente las superficies del hueco. El relleno se hará en tongadas sucesivas de 25 cm con intervalos de 2 horas.
- RSB-5 Lechada de cemento P-250 en chapado de granito y PB-250 en chapado de caliza y mármol, en rejuntado.

**RPC-9 Chapado con anclaje visto-A-B-Tipo**



- RPC-2 Placa de piedra.
- RPC-5 Anclaje visto. Se dispondrán tantos anclajes como cajas presente la placa. Se colocará una chapa de reparto de dimensiones no menores de 60 20 2,5 mm.
- RPC-7 Separador de placas de cloruro de polivinilo.
- RPE-3 Mortero de cemento P-250 y arena de río, de dosificación 1:3. El recibido del anclaje se hará humedeciendo previamente las superficies del hueco. El relleno se hará en tongadas sucesivas de 25 cm con intervalos de 2 horas.
- RSB-5 Lechada de cemento P-250 en chapado de granito y PB-250 en chapado de caliza y mármol, en rejuntado.

Figura 2.48, 2.49. Soluciones constructivas propuestas por la Norma Tecnológica Española (1973). NTE-RCP Chapados pp. 3-4

## 2.4 ANTECEDENTES SINGULARES A LAS FACHADAS TRASVENTILADAS

Además de las referencias técnicas y las primeras regulaciones normativas, un aspecto que ha influido de manera destacable en la evolución y tecnificación de los anclajes durante el siglo XX, es la labor de los arquitectos al introducir soluciones novedosas que ayudarían a conocer el comportamiento real del sistema.

Una de las referencias más singulares, teniendo en cuenta el momento en que se construyó, es la estación del metro de Karlsplatz, obra del austriaco Otto Wagner y construida en Viena entre los años 1898-1899. En esta edificación Wagner diseñó una revolucionaria técnica consistente en un sistema de paneles autoportantes de cerramiento, formados por una placa de mármol de Carrara de 2cm de espesor y una plancha de yeso de 5cm, espaciadas 3 cm, que se fijaban directamente a una subestructura a base de perfiles continuos de hierro de acabado visto al exterior (Ford, 2003).

Wagner ideó esta técnica con la intención de reducir los tiempos de montaje y puesta en obra construcción de las fachadas y de demostrar las nuevas posibilidades de colocación y utilización de la piedra (Haiko, 2018). Además, pretendía generar una imagen más industrial de la construcción, muy acorde con el pensamiento de la época. Este sistema dio ciertos problemas con el paso de tiempo a causa de la acumulación de agua en los perfiles y su oxidación, por un lado, y las deformaciones de las grandes placas de mármol por otro lado. Pese a ello, se convertiría en uno de los ejemplo más claro y expresivo del sistema de anclaje, al introducir una técnica basada en la fijación de las placas, por su cercanía ideológica y constructivamente a las actuales fachadas trasventiladas de piedra.

Varias décadas después Erik Gunnar Asplund diseñó un sistema igualmente revolucionario. En el edificio Bredereng Department Store (Estocolmo, 1933-1935) se prescindió del muro soporte, por lo que las placas de mármol de 3 centímetros de espesor se colgaban de una subestructura a base de perfiles metálicos vistos, que se fijaban a cada a cada forjado (Ford, 2003). Al no contar con soporte interior pesado se aligera el peso del conjunto y se agiliza el proceso de construcción. Esta solución se puede considerar un antecedente de los sistemas de fachadas trasventiladas forjado a forjado que se utilizarían años después.

Otro ejemplo singular es el Pabellón Alemán de la Exposición Internacional de Barcelona (1928-1929), donde Mies Van der Rohe utilizó grandes placas de mármol, de 220 x 110 centímetros y 3 centímetros de espesor. En los muros exentos no portantes, la solución adoptada consistía en un entramado de perfiles metálicos en los cuales se engarzaban las losas de mármol mediante un sistema de fijación (Drexler, 1986).

Ejemplos como el Centro Cultural Wolfsburg, de Alvar Aalto (Alemania, 1958–1962) y el edificio Humana Building, de Michael Graves (Louisville, Kentucky, 1982), a pesar de no poder considerarse fachadas ventiladas propiamente dichas, poseían soluciones muy cercanas. La principal innovación de estos ejemplos es la formación de una cámara de aire, además de la utilización de un sistema de subestructura de interés. En ambos ejemplos, las juntas están selladas, por lo que la cámara que se forma entre este y la hoja interior no está ventilada. Sin embargo, la disposición y configuración de los elementos responde claramente a un sistema de fachada ventilada.

En el Centro Cultural Wolfsburg se utilizó un sistema de fijación oculto para fijar las placas de granito de 4 centímetros de espesor, a base de anclajes puntuales ocultos que se unían a montantes verticales. El Humana Building las placas se fijaron mediante un sistema de anclajes puntuales ocultos en las juntas horizontales, fijados al muro soporte de hormigón. En las esquinas las placas se fijaron mediante anclajes insertados en ranuras en el reverso de la placa.

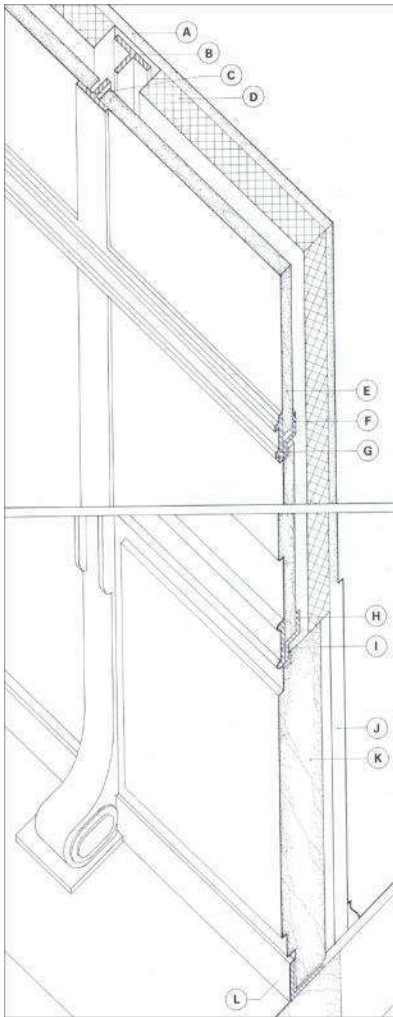


Figura 2.50 (arriba) Fotografía tomada el 25 de abril 1899, durante la construcción de las Estaciones. Wien Museum.  
Figura 2.51 (izquierda). Otto Wagner. Estación del metro de Karlsplatz (Viena, 1898-1899). Axonometría explicativa del sistema constructivo. Edward R. Ford (1996). The details of modern architecture. 1. Institute of technology, Massachusetts. p. 210.  
Figuras 2.52, 2.53 (derecha). Fotografías de la autora.

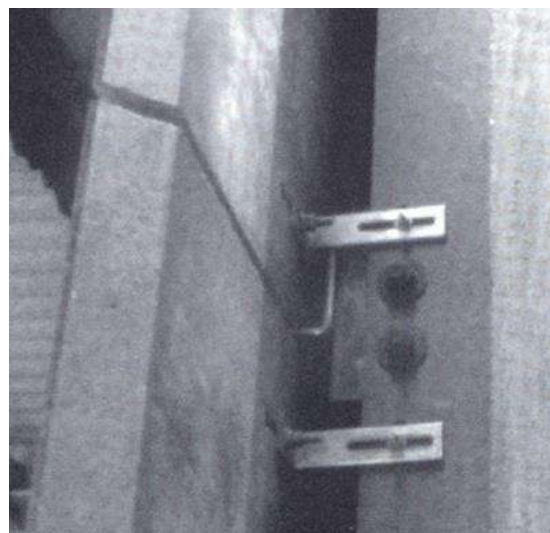
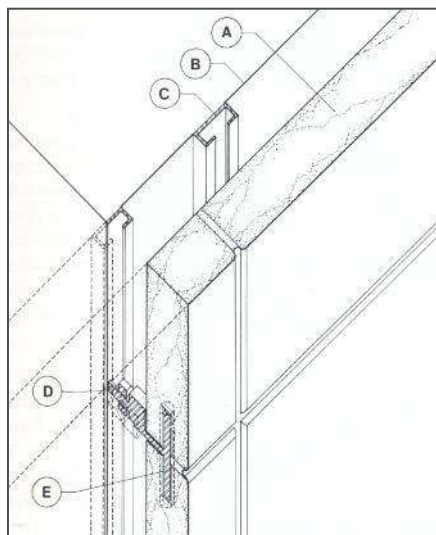
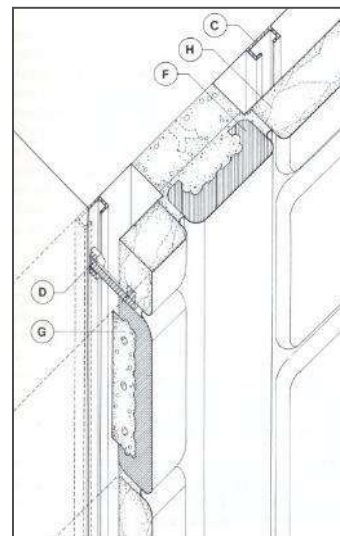
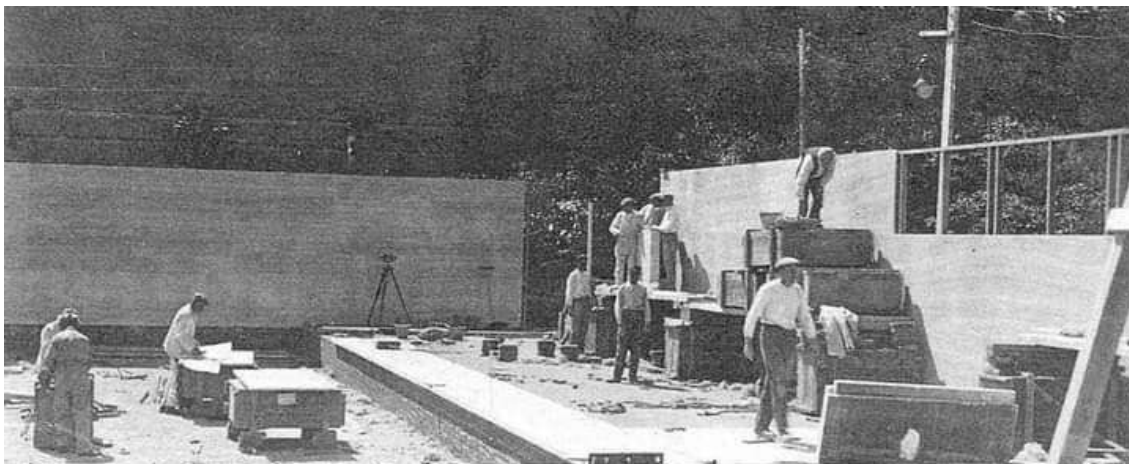


Figura 2.54 (arriba). Pabellón de Barcelona (1929), Mies Van der Rohe. Fotografía de obra. Mies van der Rohe Archive, The Museum of Modern Art, MOMA, Nueva York. Vista en De Sola, Morales; et al (1993). Mies Van del Rohe. El pabellón de Barcelona. Gustavo Gili, Barcelona. p.16.

Figuras 2.55 y 2.56 (centro). Alvar Aalto. Centro Cultural Wolfsburg, (Alemania, 1958–1962). Axonometría explicativa del sistema constructivo. Edward R. Ford (1996). The details of modern architecture. 2. Institute of technology, Massachusetts. p. 158

Figura 2.57 (abajo izquierda). Humana Building (Louisville, Kentucky, 1982), Michael Graves. Axonometría explicativa del sistema constructivo. Edward R. Ford (1996). Cit. p. 362

Figura 2.58 (abajo derecha). Detalle de la solución en esquina del Humana Building. Jaime Avellaneda e Ignacio Paricio. (2000). Los revestimientos de piedra. Bisagra, Barcelona, 2ª edición. p.46

## 2.5 PRIMEROS REFERENTES DE FACHADAS TRASVENTILADAS DE PIEDRA

---

Las primeras fachadas ventiladas propiamente dichas llegaron de mano de arquitectos precursores como James Stirling o Adolfo Natalini, que emplean este sistema en edificios singulares de la etapa posmoderna. En la ampliación de la Staatsgalerie en Stuttgart, Alemania (James Stirling, 1979-1983), James Stirling y Michael Wilford utilizan un doble juego entre referencias y oposición a la cultura clásica, utilizando alusiones constantes a recursos clásicos pero resueltas de una forma novedosa. Este juego compositivo consigue crear confusión a los visitantes. Con toda probabilidad, la marcada junta abierta entre las placas del revestimiento consigue crear un efecto de ligereza y flotabilidad que se opone al despiece con aparente trabazón tradicional. El espesor real de las placas queda a la vista en algunos encuentros y esquinas, descubriendo al espectador la realidad de su condición de revestimiento. Las placas de travertino y arenisca de 4 centímetros de espesor se fijan al muro soporte mediante anclajes puntuales de pivote ubicados en las juntas horizontales.

En el edificio para la Banca de Alzate Brianza en Como, Italia (1978-1983), Adolfo Natalini emplea un revestimiento que recuerda al de la Staatsgalerie, a base de hiladas horizontales y juntas encontradas que recuerda de nuevo al aparejo de las construcciones murarias. Natalini introduce encuentros que no eran habituales en los revestimientos de piedra natural por la dificultad que suponía su resolución, como esquinas y cambios de plano en ángulo o piezas colgadas. Todos estos puntos se resolvieron con el mismo sistema de fachada trasventilada empleado en el resto de la fachada, a base de anclajes puntuales, por lo que su estudio debió implicar numerosos esfuerzos.

No podemos hablar de una fecha concreta para la aparición de la fachada ventilada, pero podríamos comprender su aparición desde el momento en que se asume la lógica desaparición de la capa de mortero en sustitución por una cámara de aire. Frente a los últimos ejemplos que veíamos la diferencia más destacada es el aumento del espesor de la cámara para permitir la disposición del aislamiento continuo por la cara exterior del soporte y la disposición de juntas abiertas entre placas, que hasta entonces habitualmente se sellaban.

Estos primeros ejemplos demuestran las ventajas que aporta el sistema, tanto técnicas, compositivas como de comportamiento, por lo que su uso no tarda en difundirse por otros países. En España podemos mencionar alguno de los primeros ejemplos, como serían la Residencia de ancianos "Gonzalo Torrente Ballester" en La Coruña (1991), obra de Arturo Franco Taboada; el Palacio de Festivales de Santander (1991) o el Pabellón de la Exposición Universal de Sevilla de 1992, obras de Francisco Javier Sáenz de Oiza.

El Palacio de Festivales de Santander hereda referencias estéticas de los ejemplos anteriores y utiliza un despiece que recuerda de nuevo a los aparejos tradicionales. El Pabellón de la Exposición Universal de Sevilla, actualmente edificio administrativo de la Junta de Andalucía, se diseñó con la intención de constituirse como un nuevo hito en la ciudad de Sevilla, con alusiones en cuanto a su forma a otras edificaciones de la ciudad. La fachada recupera de nuevo el estilo posmoderno, pero utiliza despiece y una combinación de juntas que consiguen crear un aspecto más dinámico. Franco Taboada, en cambio, utiliza un despiece novedoso por su simpleza, a base de placas cuadradas dispuestas con juntas verticales y horizontales continuas, lo cual supuso una notable diferencia estética.





Figura 2.59. Ampliación de la Staatsgalerie (1979-1983, Stuttgart, Alemania) James Stirling y Michael Wilford. Fotografía de Richard Bryant. <https://arquitecturaviva.com/obras/ampliacion-de-la-staatsgalerie-stuttgart> (Consulta el 19.07.2021)

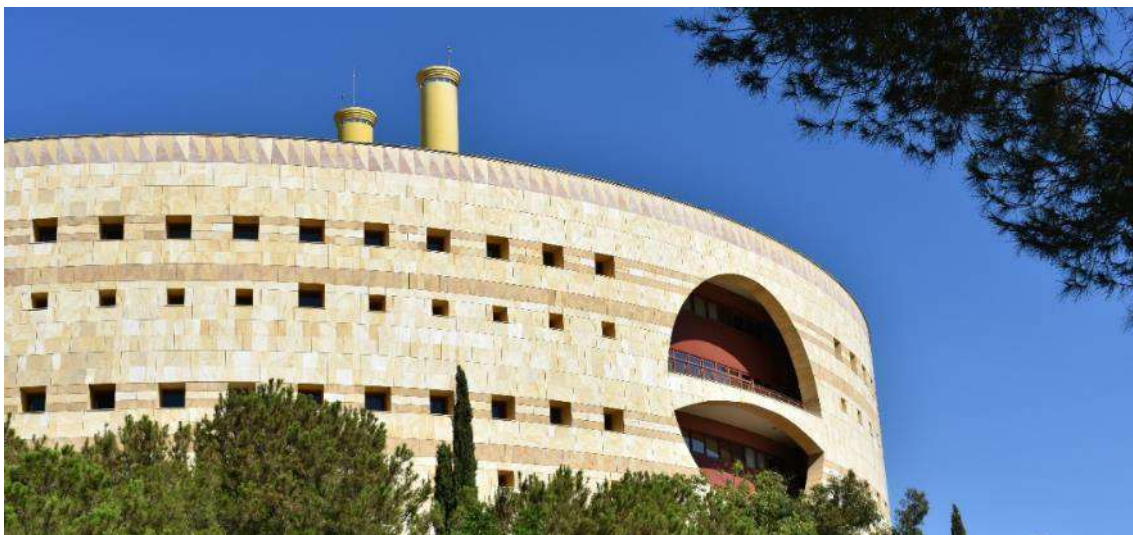


Figura 2.60 (arriba). Residencia de ancianos “Gonzalo Torrente Ballester” (1991, La Coruña), Arturo Franco Taboada. Fotografía de la autora

Figura 2.61 (centro). Palacio de Festivales de Santander (1991), Francisco Javier Sáenz de Oiza. Fotografía de la autora.

Figura 2.62 (abajo). Pabellón de la Exposición Universal de Sevilla (1993), Francisco Javier Sáenz de Oiza. Fotografía de la autora.

Podríamos identificar los elementos que sientan los principios definitorios del sistema en:

- Cámara de aire ventilada
- Juntas abiertas
- Aislamiento térmico continuo en la cara interior de la cámara de aire
- Placas de piedra que trabajan de forma independiente
- Subsistema de anclaje que transmite todas las cargas al soporte o a la estructura.

Otra diferencia destacada con la aparición de este sistema es la aparición de lo que definiremos como subsistema de anclaje, frente al término anclaje como elemento unitario. Tras el impulso de los arquitectos se podría atribuir la tecnificación del sistema a la relativamente escasa documentación normativa (NTE española, DIN alemana, DTU francesa, ASTM ...) y, especialmente, a las empresas de subsistemas de anclaje.

En el año 1991 Antonio Otero Cifuentes resume las características del sistema y clasifica las tipologías de anclajes para las soluciones trasventiladas, constituyendo esta una de las primeras clasificaciones en las que se incluye la perfilera auxiliar:

- Anclajes simples directos, que se colocan amorterados en el muro soporte.
- Anclajes compuestos directos, que se unen al soporte mediante una fijación o un perfil embebido y son regulables.
- Anclajes compuestos con estructura auxiliar, que se une al muro soporte mediante una fijación y en los que se anclan los anclajes de la placa.

La empresa Mecanotubo establece los siguientes requisitos básicos del sistema (Otero Cifuentes, 1991):

- Las características que se exigen a los anclajes son: capacidad, transmisión, diseño, regulación, limpieza, simplicidad, garantía y durabilidad.
- La junta mínima recomendada es de 6 mm. Para la determinación de juntas entre placas hay que tener en cuenta la dilatación de la piedra y la libertad de movimientos. En algunos casos, como en Alemania, país que se considera pionero de este sistema, se están aplicando juntas de 10 mm.
- Las placas de piedra deben ser capaces de soportar las tensiones provocadas por su propio peso (pandeo y/o flexión), presión y succión del viento (flexión) y posibles vibraciones (en placas horizontales).
- El espesor mínimo de las placas es de 3 cm en placas verticales y 4 cm en placas horizontales. Igualmente se prevé la posibilidad de colocación de placas inclinadas, entendiéndose que una inclinación  $> 60^\circ$  equivale a vertical y una inclinación  $< 60^\circ$  equivale a horizontal.
- Cada placa se sujeta en al menos 4 puntos, en las juntas verticales u horizontales.
- La unión anclaje - piedra debe permitir el libre movimiento de la placa.
- Se recomienda la disposición de juntas horizontales y verticales continuas.
- Se plantean como soportes más recomendables las fábricas macizas o elementos de hormigón, no siendo recomendables las fábricas de elementos huecos son menos recomendables.

También a principios de los años 90 se produce un fuerte impulso en la gama de anclajes mecánicos y químicos, con empresas como Fischer o Poliplast, para la fijación de los anclajes de la subestructura al soporte.

En el año 1993 Michele Di Silvo hace un repaso de las soluciones en el mercado de mano de los fabricantes Halfen, Fischer, Vibramacc y Alpha AS. Dichas referencias se muestran a continuación:

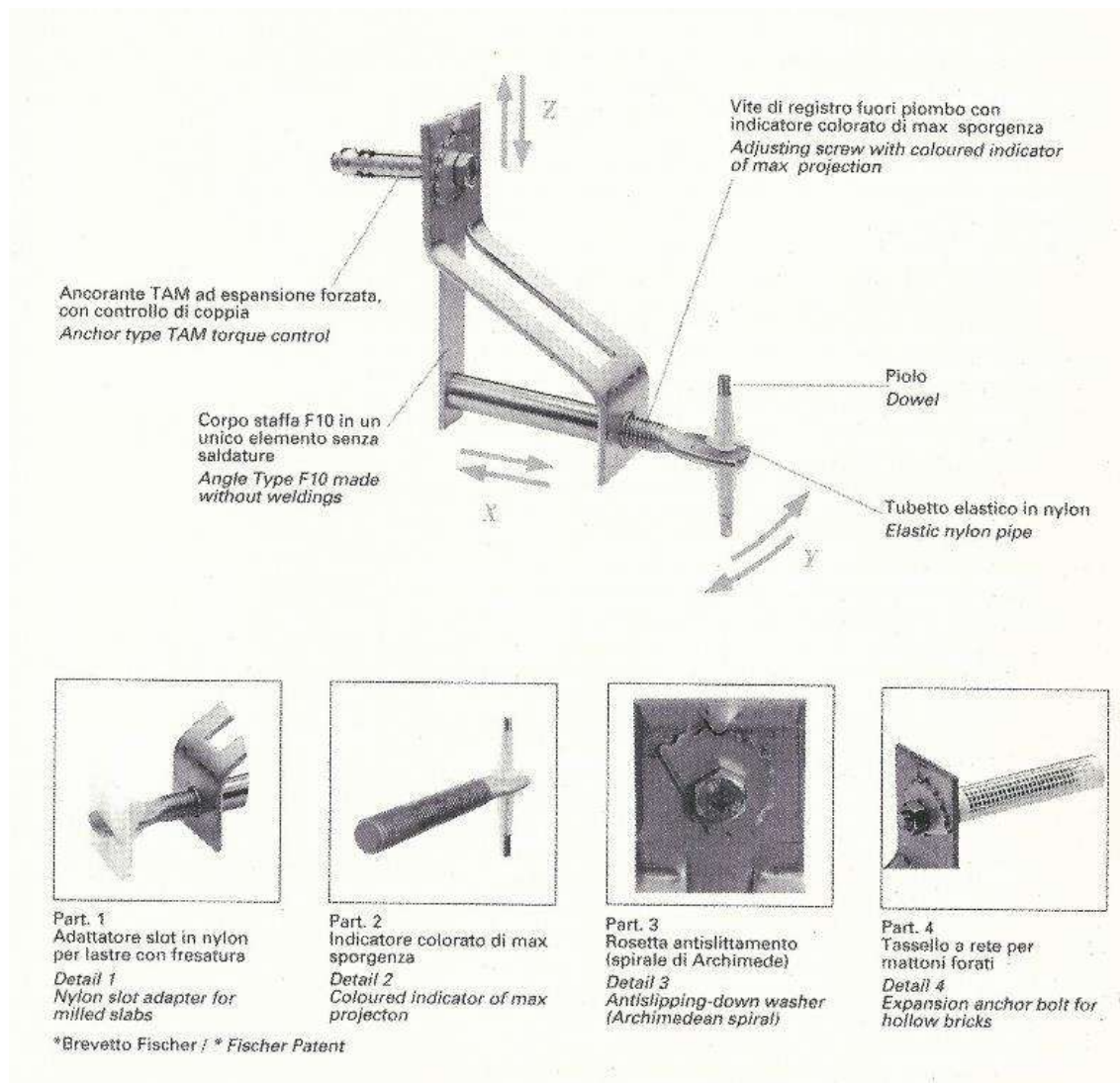
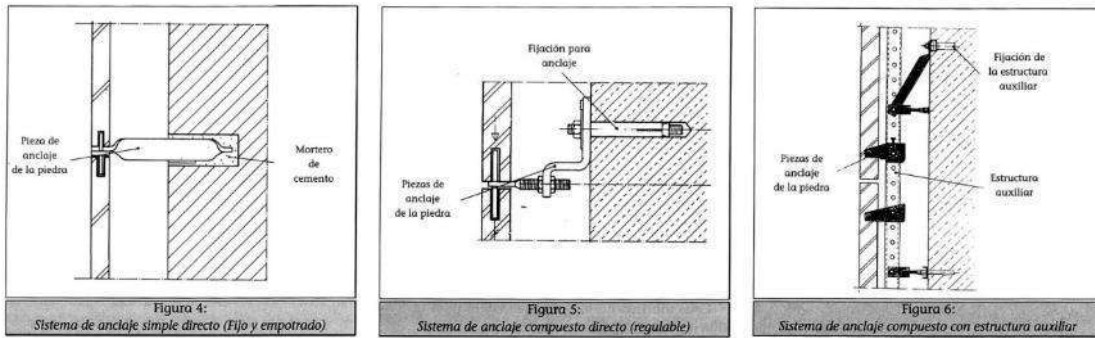


Figura 2.63 (arriba). Subsistemas de anclaje para fachada trasventilada de la empresa Mecanotubo (1991). Visto en Otero Cifuentes, 1991. Nuevas soluciones para la fijación de aplacados de piedra natural en la edificación actual Revista de la edificación, nº9, p.14

Figura 2.64 (abajo). Subsistema de anclaje puntual regulable de la empresa Fischer (1993). Visto en Di Silvo, 1993. Cit. p.93

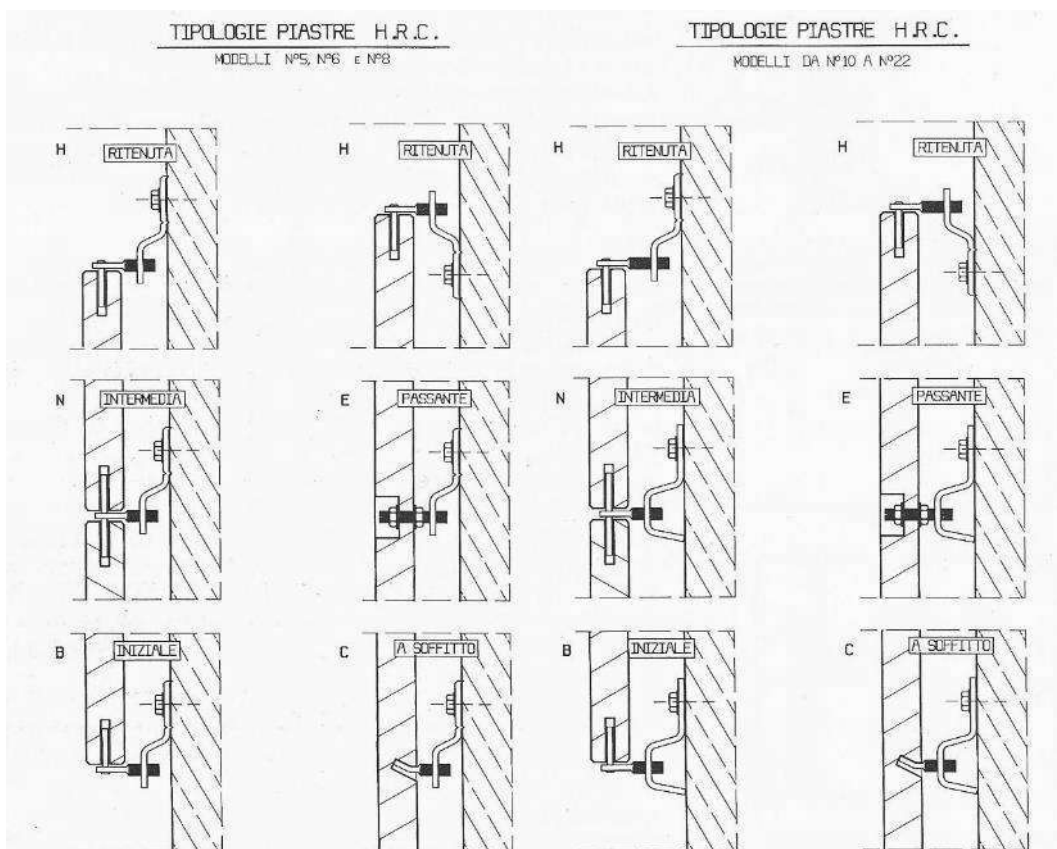
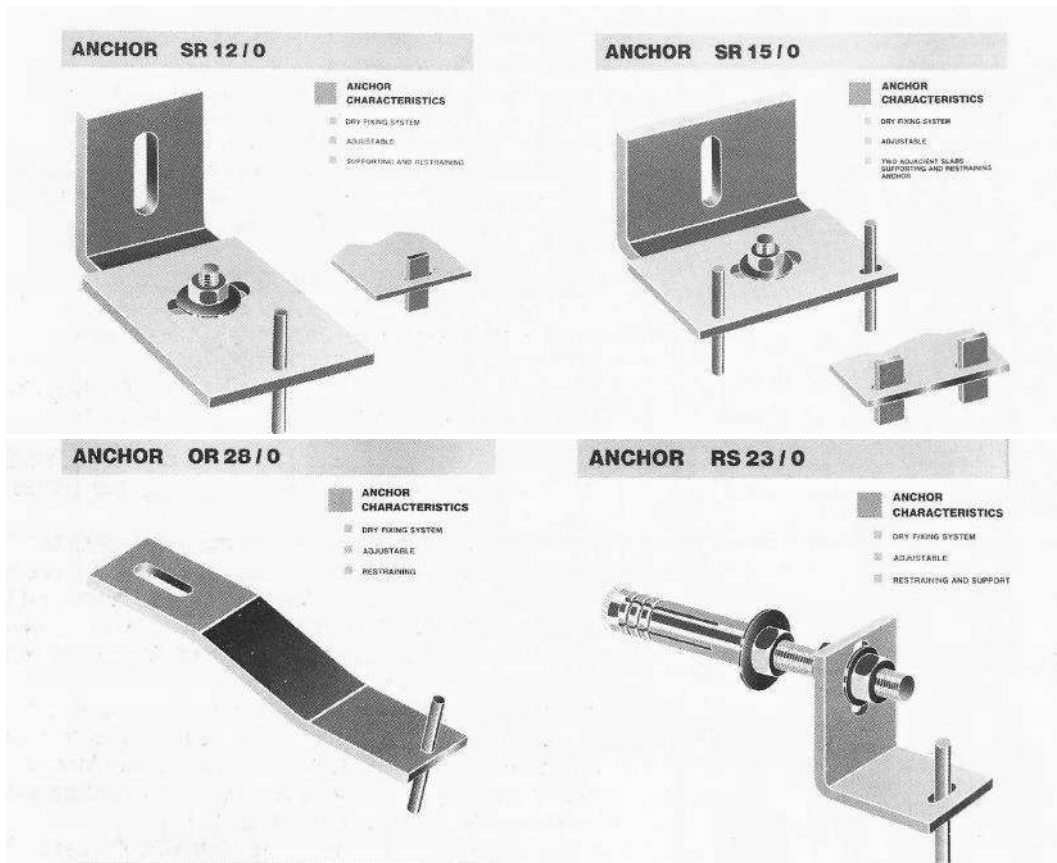


Figura 2.65 (arriba). Subsistema de anclaje puntual regulable de la empresa Alpha AS (1993). Visto en Di Silvo, 1993. Cit. p.98

Figura 2.66 (abajo). Subsistema de anclaje puntual regulable de la empresa Halfen (1993). Visto en Di Silvo, 1993. Cit. p.96

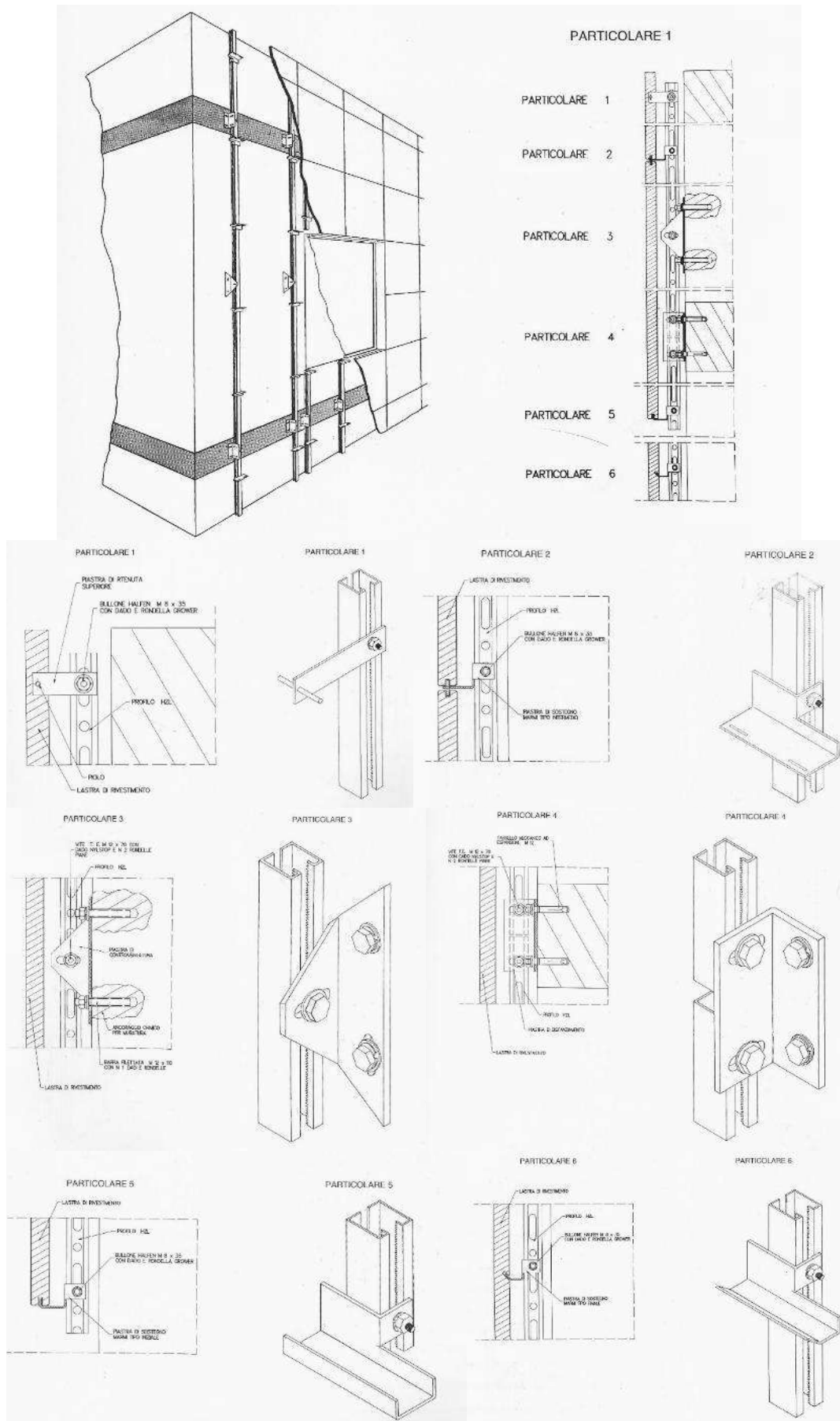


Figura 2.67. Subsistema de anclaje mediante subestructura de montantes de la empresa Halfen (1993). Visto en Di Silvo, 1993. Cit. pp. 117-119

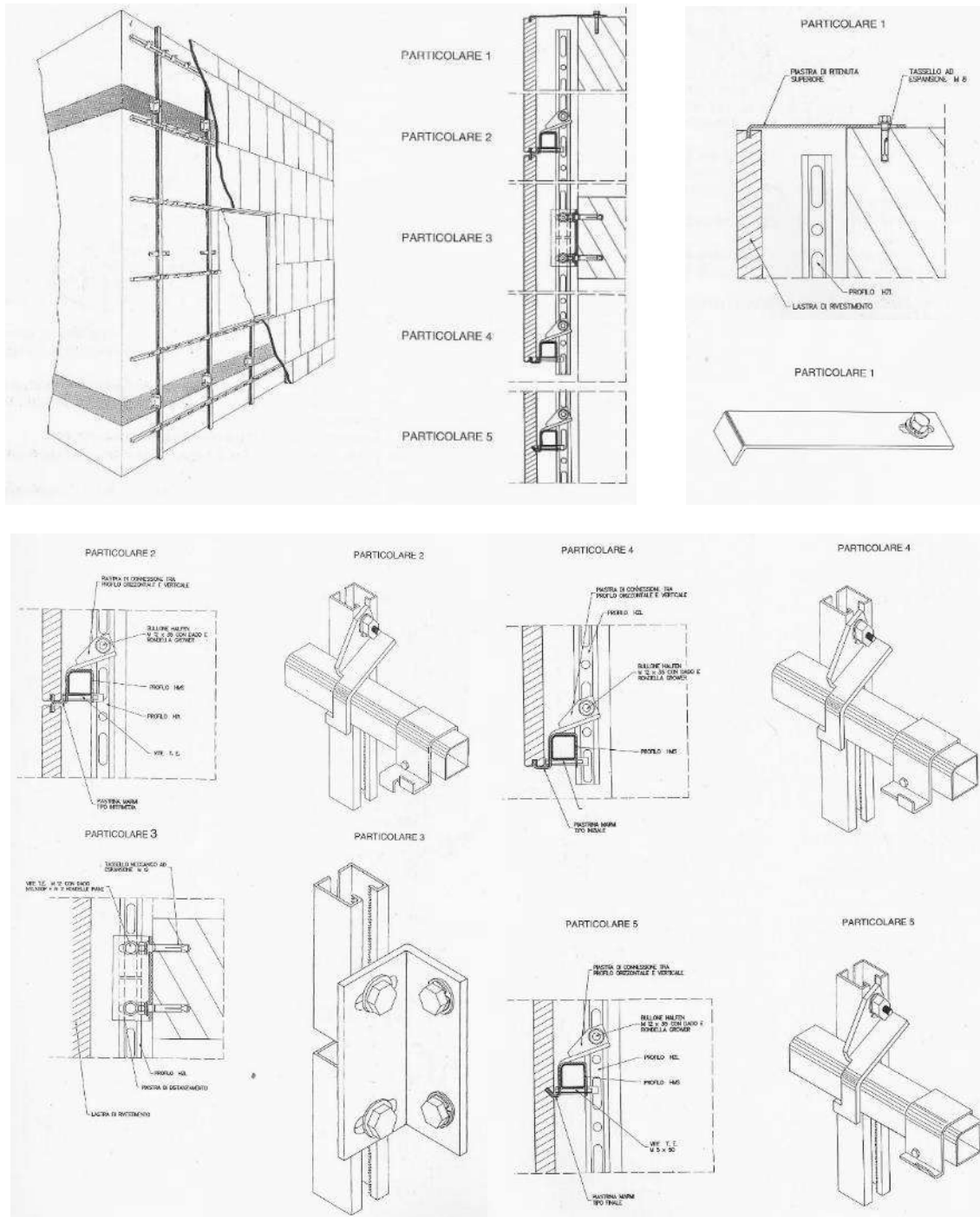


Figura 2.68. Subsistema de anclaje mediante subestructura de montantes y travesaños de la empresa Halfen (1993). Visto en Di Silvo, 1993. Cit. pp. 114-116

## 2.6 INFLUENCIA Y EVOLUCIÓN DE LOS MEDIOS TECNOLÓGICOS

---

El manejo de la piedra para la construcción está directamente relacionado con la capacidad del hombre para manejar y transportar el material. Los procesos básicos de transformación de la piedra para la obtención de piezas empleadas en la construcción de fachadas se pueden clasificar en las siguientes etapas: extracción, transporte y transformación. La tarea de extracción consiste en la selección de la ubicación de cantera y en la extracción de los bloques de piedra. En función del periodo histórico y del sistema constructivo utilizado los bloques extraídos se transportaban directamente a la obra para su colocación o bien se subdividían en la propia cantera en otras piezas más pequeñas para facilitar el transporte. El proceso de transformación engloba las tareas de corte y labra, que incluye labores de escuadrado, moldeado y acabado superficial.

Estas etapas no han variado mucho a lo largo del tiempo, aunque sí lo hecho en gran medida los medios tecnológicos que lo hacen posible, logrando con el tiempo una ejecución más limpia, más sostenible, más rápida y eficiente. A lo largo de la historia se han utilizado herramientas y máquinas para facilitar las tareas de extracción, transporte, corte y labra y su posterior colocación en obra y reducir el esfuerzo humano, en tiempo y mano de obra, que implicaban estos trabajos. La aparición de los metales, cobre, bronce y posteriormente hierro, supuso un importante hito en la elaboración de estas herramientas. Posteriormente será el desarrollo en los sistemas de energía lo que permitirá desarrollo de los ingenios y la evolución de la maquinaria.

El oficio de cantero es uno de los más antiguos. Aunque no se ha perdido del todo y hoy en día algunos trabajos se siguen realizando de manera artesanal, en general la maquinaria ha desplazado los trabajos manuales. Revisando la evolución en el oficio del trabajo de la piedra, se pueden establecer tres periodos diferenciados: periodo con prevalencia de los trabajos manuales con invenciones puntuales de herramientas / maquinaria, periodo en el que conviven los procesos manuales con el uso de maquinaria novedosa y periodo en el que predomina el uso de maquinaria en casi todos los procesos de manipulación.

Un momento relevante en la evolución de los medios tecnológicos de transformación de la piedra es la revolución industrial y la incorporación de la máquina en el proceso, nueva forma de entender los sistemas de construcción ligados al espíritu industrial y la confianza en la eficiencia de la máquina, momentos clave para el salto de la construcción artesanal a la producción industrializada controlada.

En el campo de las fachadas de piedra tiene especial relevancia el proceso de corte o aserrado de los bloques, al estar directamente implicado en la posibilidad de producir las piezas de poco espesor. Las placas de piedra utilizadas entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX en Viena, Bélgica o Estocolmo se producían con máquinas aserradoras que cortaban varias piezas delgadas al mismo tiempo a partir de un bloque. En España, las primeras máquinas que se utilizaron desde principios del siglo XX solían ser telares importados de otros países, como Italia, que en aquel momento ya disponía de maquinaria líder en el sector.

A partir de la década de los años sesenta en el siglo XX, la progresiva incorporación de la tecnología por control numérico por computadora, que a partir de los años ochenta se vuelve más generalizada gracias a los avances en los campos de la informática y a electrónica. Hoy en día, se pueden producir todo tipo de diseños y cortes gracias a la automatización y a la incorporación de la robótica y las máquinas por control numérico.



### 2.6.1 EL TRABAJO DE LA PIEDRA HASTA EL SIGLO XIX

El origen de la explotación de canteras de forma organizada, entendiéndose por tal el establecimiento de un sistema concreto de extracción, podría atribuirse a la época egipcia, encontrándose las primeras canteras que funcionaban a gran escala a partir del siglo I, en la época romana. Los sistemas de extracción iniciados por los egipcios y perfeccionados durante la época romana se han mantenido a lo largo de muchos siglos.

Una vez seleccionada la cantera, en base a características estéticas, materiales y disponibilidad, se hace un desbroce de las capas superficiales que cubren la roca. En el caso de canteras subterráneas este desbroce se limita al plano vertical de acceso. Los dos sistemas básicos de extracción son mediante cuñas, habitualmente para rocas duras, o mediante catas en el caso de rocas blandas. En ambos casos la explotación se desarrolla escalonadamente y en alturas de al menos una hilada, progresando en forma de gradas. Para la extracción de los bloques se realizaban unas ranuras laterales y posterior con la misma profundidad de la altura del bloque deseado. Posteriormente se realizaba una ranura bajo el bloque. En el caso de piedras blandas este se extraía haciendo presión con una palanca mientras que en el caso de piedras duras se introducían varias cuñas metálicas y el desprendimiento del bloque se lograba golpeando las cuñas con un mazo (Choisy, 1999).

Cuando los bloques extraídos tienen grandes dimensiones estos se cortaban o dividían en otros más pequeños que permitieran su transporte. Antiguamente, cuando los trabajos de transporte eran dificultosos era habitual que las construcciones estuvieran próximas a las canteras. Durante la época romana era habitual que la elección de rocas se basase en criterios prioritariamente estéticos, recurriendo a canteras a elevadas distancias, como sucedería con el mármol de Carrara, que se hizo muy popular y se comenzó a explotar a gran escala desde la época de Augusto (Castro Villalba, 1999). Para facilitar el transporte construían calzadas y también se recurrió a la elección de canteras en zonas próximas a puertos fluviales o marítimos (González, 2002; Atienza, 2015). Los restos de instalaciones localizados en excavaciones cercanas a ciertas construcciones romanas, en las que se desarrollaban actividades de corte y transformación de los bloques se puede identificar como el origen de los talleres de fabricación de productos de construcción.

Históricamente se han empleado dos métodos para dividir los bloques: partir o aserrar. Aunque el método de aserrado ofrece unos acabados mucho más pulidos y uniformes al poder controlar la dirección de la línea de corte, es un método muy lento y dificultoso, por lo que tradicionalmente el método más utilizado es el partir mediante cuñas. Consiste en marcar la línea de corte donde se pretende dividir el bloque, a lo largo de la cual se introducen una serie de cuñas metálicas, formadas por dos calzos metálicos de sección longitudinal y la propia cuña. El bloque se dividía golpeando las cuñas, cuyo número dependía de las características y dureza de la piedra. Con piedras blandas suele ser más fácil que se desvíe la línea de corte, por lo que se emplean más cuñas. Una práctica que ha resultado de utilidad con bloques de grandes dimensiones (Azconegui Morán y Castellanos Miguélez, 1993) consistía en esperar un tiempo con las cuñas introducidas antes de golpearlas y, en algunos casos, introducir agua en las perforaciones.

Sin embargo, cuando se quieren conseguir placas de piedra de menor espesor o acabado más uniforme era necesario recurrir al método de aserrado, ideado en época romana, y que consistía en cortar la piedra utilizando sierras. En un principio utilizaban el tipo de sierras empleadas para el trabajo de la madera. Estas primeras herramientas tenían una precisión que en realidad no era muy superior a la que se conseguía la mayoría de las veces con las cuñas, pero evitaba cualquier riesgo de un desvío del corte. Posteriormente definieron dos tipos de sierras para el aserrado manual. Cuando los bloques eran de pequeñas o medianas dimensiones se utilizaban sierras del tipo troncador, es decir, provistas de una

empuñadura de tracción en cada extremo, por lo que requerían el trabajo conjunto de dos personas. Cuando se trataba de bloques de dimensiones mayores utilizaban sierras de bastidor de lama continua, donde la hoja era mantenida en tensión mediante un marco de madera. En cuanto a las hojas de sierra empleaban dos tipos. Cuando la piedra que cortaban era relativamente blanda utilizaban hojas dentadas de carpintero. Para piedras más duras se sustituyó la hoja dentada por la acción de una hoja lisa y arena como abrasivo. Generalmente preparaban la línea de corte con un punzón y durante la operación se echaba agua en toda la ranura para moderar el calentamiento del hierro (Adam, 1984). El procedimiento para conseguir aplacados de piedra mediante el sistema de aserrado manual era muy costoso por su dificultad y la gran cantidad de tiempo que requería. Se cree que dos hombres avanzaban entre 3 y 4 cm en el corte en una jornada completa. Esto se debe a que no se cortaba realmente la piedra, sino que más bien se iba desgastando por abrasión (Grewe, 2010).

Un aspecto a destacar en la época romana es la utilización de placas de espesor reducido, lo que hace pensar que se realizaron con medios mecanizados, dado lo complejo que resultaría su realización manual. Los indicios de la primera máquina para serrar piedras se han encontrado en un relieve sobre el sarcófago de Marco Aurelio Amiano, que data del s. III d.C, en Hierápolis, Turquía. Consistía en una rueda hidráulica que se accionaba por unas palas movidas por el impacto del agua. Ésta tenía un movimiento continuo que alimentaba a una sierra de doble corte. También se han encontrado referencias directas de la utilización de máquinas para serrar piedra en los descubrimientos arqueológicos de Gerasa (Jordania) y Éfeso (Turquía), del siglo VI d.C. Tras una serie de excavaciones arqueológicas se encontraron columnas en habitáculos que parecen ser talleres, con claras marcas de cortes longitudinales (Grewe, 2010).

La continuidad tecnológica sufre un desarrollo desigual tras la caída del imperio romano. Aunque el empleo de la energía hidráulica continuó durante varios siglos, las invasiones musulmanas y las situaciones de inestabilidad durante los siglos VII y VIII frenaron su desarrollo y supusieron la introducción de aportaciones de las esas nuevas influencias. A partir del s. IX se intensifica en Europa el desarrollo de la energía hidráulica incorporando nuevos usos en los que se utilizaban (Sánchez Martínez, 2015). En cuanto a las tareas de aserrado y pulido, en cambio, habrá que esperar hasta el siglo XVII para volver a encontrar referencias.

El método de aserrado se ha considerado muy costoso a lo largo del tiempo. En el manual del cantero y marmolista (Sánchez Pérez, 2008) se recomienda recurrir a este método únicamente cuando el método ofrezca ventajas frente a la división con cuñas por trabajar con piedras muy blandas, cuando aun siendo duras se necesite un aprovechamiento máximo del material, o cuando se requieran obtener planchas de escaso espesor, como sería el caso de los revestimientos. En general, con piedras duras se utilizaban sierras con bastidor, donde la hoja se une a un marco en su parte superior con un alambre que la mantiene en tensión. Estas sierras de troncador evolucionan con el tiempo incorporando varias hojas de sierra al marco.

Aunque el trabajo manual prevalece hasta el siglo XIX, ha habido estudios e intentos de construir maquinaria para cortar y procesar mármol, como el marco diseñado por Leonardo da Vinci (Sánchez Martínez, 2015). En 1629 Giovanni Branca (Branca, 1629) presenta un modelo de sierra mecánica de vaivén, donde la fuerza motriz era hidráulica o de viento, de tal manera que el trabajo manual del operario de limitaba a incorporar el material abrasivo. En 1718 L. C. Sturm presentó una máquina de corte accionada con energía hidráulica que incorporaba un sistema automático de abastecimiento de abrasivo y un sistema de goteo de agua (Klaus, 2010). En 1799 Fernando Fernández Lara presenta una máquina para serrar movida por bueyes, que permite serrar hasta 4 bloques al mismo tiempo. Otra invención destacable para el posterior desarrollo de la maquinaria para el trabajo de la piedra es la construcción de la máquina de vapor de James Watt en el año 1765.

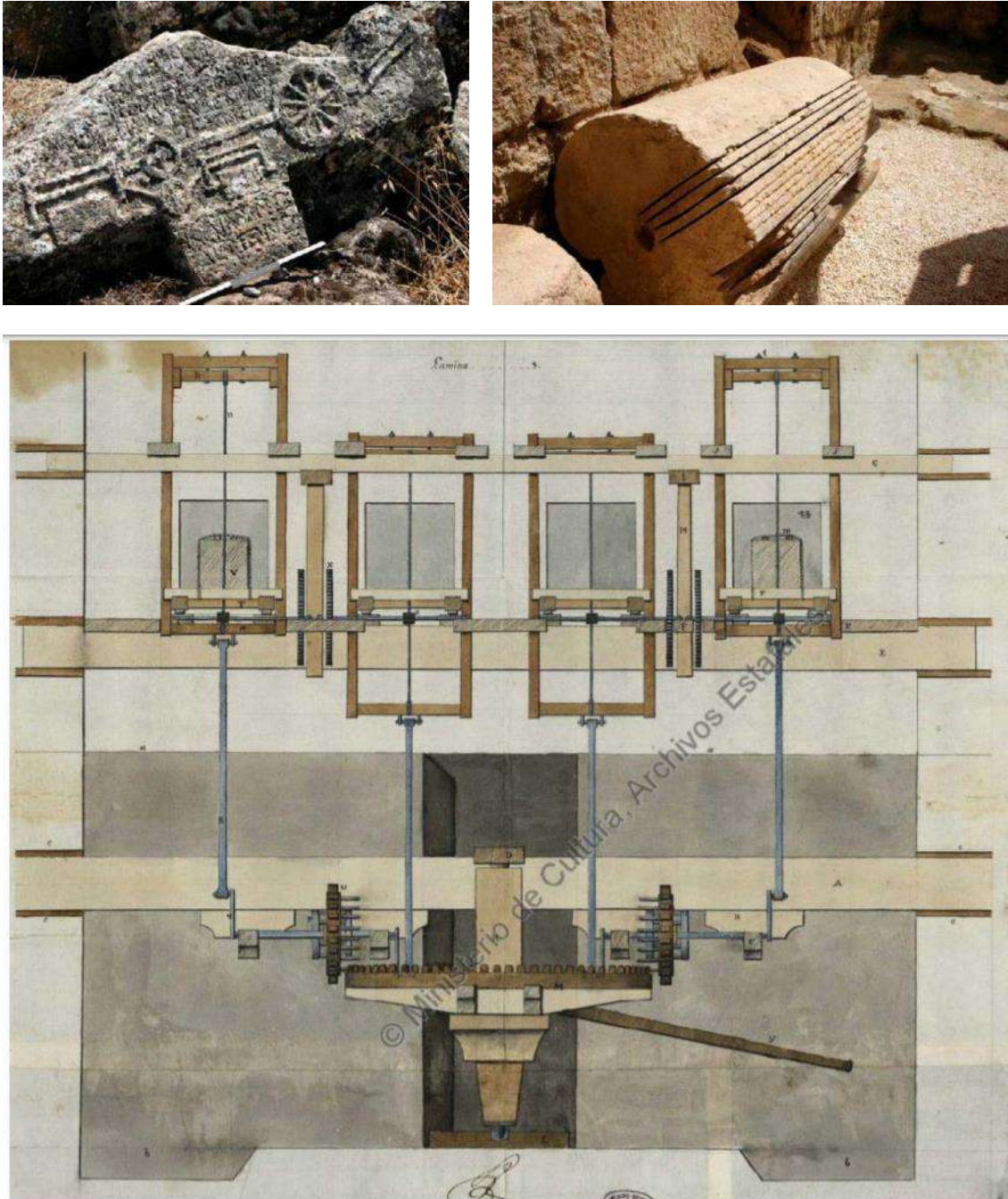


Figura 2.69 (arriba). Relieve sobre el sarcófago de Marco Aurelio Amiano en Hierápolis, s. III d.C. Está representada una sierra de doble corte para serrar piedras. Klaus Grewe (2010). La máquina romana de serrar piedras. Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana. Tr. Miguel Ordoñez, p. 381

Figura 2.70 (medio). Huellas en una columna antigua reutilizada, realizadas con una sierra de cuatro hojas de corte, probablemente tensadas en un marco múltiple, en Gerasa. S. IV d.C. Klaus Grewe (2010). Cit. 384

Figura 2.71 (abajo). Dibujo de una máquina de serrar movida por bueyes. 1799. Fernando Fernández Landa. Archivo general de Simancas.

## 2.6.2 EL DESARROLLO INDUSTRIAL DEL SIGLO XIX

A raíz de la revolución industrial, iniciada en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII y extendida posteriormente por Europa y Estados Unidos, se produjo un incremento de la producción industrial que derivó en la progresiva sustitución de la herramienta manual por la máquina, constituyendo un cambio fundamental en las condiciones técnicas de producción. Durante este siglo se produce una transición en la energía utilizada, con el tiempo se sustituye la energía hidráulica por el vapor hasta la introducción de la energía eléctrica.

En general, esta época se caracteriza por una combinación de la utilización de maquinaria con trabajos manuales realizados por operarios. En las últimas décadas de siglo el número de invenciones patentadas aumenta y se producen avances notables en los trabajos. Aunque su uso no es generalizado son varias las canteras y fábricas que incorporan la nueva tecnología y destacan en sus anuncios las bondades y ventajas de esta maquinaria en términos de eficiencia. La introducción de la maquinaria permite agilizar los procesos, trabajar con más bloques simultáneamente ya que la mano de obra necesaria para cada tarea es inferior y manejar bloques de mayores dimensiones.

De esta época se pueden destacar algunos avances como la incorporación de la tecnología neumática en la industria de la piedra, que resultó de utilidad en las tareas de extracción y de labra, al sustituir la fuerza manual por la neumática. Se comienzan a usar barrenos neumáticos para hacer las perforaciones en los bloques de cantera, reemplazando los taladros saltadores de punta plana golpeados con martillo, y herramientas neumáticas para las tareas de labra y acabado superficial. También destaca la introducción de taladros con punta de diamante, inicialmente en canteras de mármol de Inglaterra, y posteriormente extendidos por toda Europa. Poco después se van introduciendo en los trabajos de cantera la torre de perforación de vapor, el polipasto eléctrico y la grúa (Granite Quarries, 1906, tr. por Perazzo) y también se van incorporado canalizaciones para transportar los bloques con energía eléctrica (Allen Willey, 1907).

Tras una revisión presencial de los expedientes localizados en el archivo Histórico de Patentes Marcas (OEPM), que guarda todos los expedientes con fecha posterior a 1826 y una búsqueda en la Base de datos online Espacenet de la Oficina Europea de Patentes (OEP) se han localizado numerosas referencias de maquinaria relacionada con las tareas de corte y aserrado.

Se pueden destacar algunas invenciones, como el Privilegio de invención 62, presentado por Pedro Fábregas en 1830 con el nombre de "máquina para serrar con la mayor economía y brevedad posible los mármoles y toda clase de piedra", que permitían aserrar 4 bloques de piedra a la vez y, al mismo tiempo, realizar las tareas de pulido arrastrando las piezas ya cortadas. Unos meses después, Isidro Nicolau y Puig patenta el Privilegio de invención 69, con el nombre de "máquina para aserrar, alisar y poner en escuadra", que disponía de 4 bancos para el aserrado cada uno de los cuales incorporaba un bastidor con 5 hojas de sierra, además de otros 4 bancos de pulimentar. La máquina podía funcionar con tracción animal o sustituirla por energía de vapor o hidráulica para conseguir un mayor impulso.

En las memorias de las máquinas patentadas en la primera mitad del siglo XIX es común que el inventor destaque el interés por la productividad y la incorporación de mejoras para posicionarse junto a la maquinaria más avanzada del momento, como la italiana. Este tipo de máquinas se componían de varios bastidores en los que se aseguraban las hojas de sierra unidos a un elemento principal que proporcionada el movimiento de vaivén. En este periodo algunas máquinas incorporaban algún tipo de carril para la conducción del agua refrigerante, aunque el sistema de alimentación no era automático, por lo que un operario debía ocuparse de incorporar el agua y el abrasivo.

En la segunda mitad de siglo aparecen máquinas que ofrecen nuevas ventajas, que permiten ajustar el número y tipo de sierras en función del tipo de piedra y del corte deseado, maquinaria para escuadrar los bloques o para realizar varios cortes no paralelos a la vez, y máquinas que realizan canaladuras o ranuras en las piezas, como la “máquina para serrar las piedras duras, mármol, granito y toda clase de piedras” patentada en 1883 por Antoine Jeansaume.

Desde el descubrimiento del carbón “bort” conocido como “diamante negro”, al ser una sustancia de extrema dureza, se ha intentado aprovechar su valor para cortar sustancias duras, especialmente piedras de diversa textura y densidad. Los registros de la Oficina de Patentes en la década de 1870 muestran los esfuerzos por la incorporación de esta sustancia en la industria del corte y trabajo de la piedra en las sierras de disco. No obstante, los primeros intentos no obtuvieron el éxito esperado.

La invención de Joseph W. Branch ha sido uno de los éxitos más prácticos entre todas estas máquinas. La primera patente de Branch, fechada el 8 de junio de 1869, fue para la inserción del diamante en un soporte de acero o hierro hecho en dos partes, provista de cavidades para los diamantes. Esta sierra fue un éxito en el proceso de corte en sí, pero el sistema de fijación de los diamantes no era seguro y se desprendían con la velocidad centrifuga de la sierra. Con las mejoras producidas en el sistema, se describe como el mérito principal de esta invención la perfecta seguridad dada al diamante a cualquier velocidad y el fácil ajuste de la piedra en ángulo recto con la sierra. Las sierras funcionan a un promedio velocidad de 10,000 pies por minuto y la diferencia se debe a la densidad de la piedra a cortar. Las piedras blandas son aserradas a una velocidad de 6 a 36 pulgadas por minuto, y mármol y calizas a una velocidad de 3 a 18 pulgadas por minuto. Esta máquina se expuso en la exposición del centenario, atrayendo a muchos visitantes, aunque hasta mediados del siglo siguiente no se incorporaría esta tecnología a gran escala (Scientific American, Vol. XXXV, 1876, p. 191).

La expansión de la energía de vapor favoreció la incorporación de la sierra de alambre en las tareas de extracción de piedra, utilizando un bucle continuo de alambre que se enrollaba mediante la utilización de poleas y envolvía el bloque a extraer. El hilo metálico también se incorporó en la maquinaria de aserrado, y a finales de la década de 1880 ya se registra información del uso en ciertas canteras de una máquina para aserrar piedra a base de hilo de acero retorcido, movido alrededor de varias poleas. La Patente 1778 (1881), presentada por Pauline Gay, describe el funcionamiento de “una máquina continua, empleando hilo metálico giratorio para el aserrado de piedras, mármoles, granito y otras piedras”, en la que el corte se produce con un alambre movido por una serie de volantes sujetos en montantes correderos, que tiene dos movimientos continuos: uno de traslación y otro de rotación. Para acelerar el corte se echa arena de cuarzo, que va acumulándose en las espinas helicoidales de los alambres durante la operación y producen una acción de desgaste muy enérgica.

El aparato consta de dos marcos formado por dos columnas de hierro. En la parte superior, un bastidor formado por piezas de hierro con sección en forma de T soporta la transmisión. Un depósito en la parte superior del marco contiene el agua y la arena necesarias para aserrar. La alimentación se efectúa por medio de un tubo de goma que se sitúa sobre la abertura realizada por la sierra. Una pequeña bomba sobre el depósito recoge y eleva el agua, mientras que la arena se introduce a mano. Por otro lado, para aserrar el bloque en forma de placas, la memoria de la patente describe la posibilidad de realizar tantos cortes como se quiera en el mismo bloque y a la posibilidad de producir placas muy delgadas. A continuación, se muestra un extracto de la citada memoria: “Igualmente se pueden colocar tantos hilos como se quiera, los unos al lado de los otros, por medio de poleas-volantes paralelas o de un tambor acomodado porta-hilo, u otro accesorio análogo. [...] También se puede emplear un hilo de gran desarrollo o hilos múltiples semejantes para serrar en hojas muy delgadas, en cuyo caso lleva un carrito fijo y un carrito movable para la tensión automática por plano inclinado” (extracto de la memoria incluida en el expediente de la patente 1778, consultada en la OEPM).

En el suplemento de Scientific American Supplement, Vol. XX, No. 520, New York, del 19 de Diciembre de 1885, se publica el artículo "The Helicoidal or Wire Stone Saw" sobre la invención de Gay. Basándose en los principios de aserrado por desgaste y su relación con la dureza de la piedra y la velocidad de la acción mecánica aplicada, Gay idea una sierra helicoidal consistente en un cable sin fin formado por 3 alambres trenzados. El propio Gay plantea dos configuraciones diferentes de la máquina y por tanto dos usos asociados. Por un lado, se puede utilizar para el escuadrado de bloques y aserrado en grandes piezas, con un efecto más rápido que los procesos ordinarios y aplicable a piedras muy duras. Según se afirma, esta máquina corta la piedra a un ritmo mucho más rápido, alcanzando unas 24 pulgadas por hora en caliza blanda, poco más de 9 pulgadas por hora en mármol de carrara y casi 11 pulgadas por hora en granito. Según se ha localizado, hay constancia de la utilización de esta máquina en varias canteras de mármol belgas para cortar la roca del lecho de la cantera ahorrando tiempo y material (P. Merrill, 1889).

Otros avances en la maquinaria de aserrado van encaminados a la evolución de los antiguos bastidores simples con sierras de corte, que se convierten en telares de grandes dimensiones con un sistema de transmisión del movimiento al bastidor multisierra. Como se describe en la memoria de la Patente US105359A (1870), "abarca una combinación novedosa de dispositivos mecánicos para suspender y regular la alimentación del bastidor de la sierra, y para hacerla subir o bajar a diferentes velocidades, por lo que se asegura un control más efectivo y una acción perfecta para la máquina" (base de datos de la OEP). También son habituales las invenciones referentes a la construcción y combinación de ciertos dispositivos para alimentar arena y agua sobre un bloque de mármol, logrando por medios mecánicos un trabajo mecánico que aún se hacía a mano.

En estos diseños es notable el avance de los bastidores con hojas de sierra a los telares multisierra, que seguirán avanzando desde este momento hasta nuestros días. La utilización de varias sierras o flejes en un marco a la vez evolucionado en lo que conocemos como un telar de corte. El fundamento básico del funcionamiento de un telar se debe al movimiento pendular de un marco portaflejes que actúa sobre el bloque de granito. Para realizar el corte se adiciona un fluido compuesto de una mezcla abrasiva de materiales que provienen del propio proceso de corte o granalla. Esta mezcla denominada en el sector "fango" hace que el granito se vaya cortando por fricción, dando lugar a la obtención de tablas en los espesores deseados.

Otras mejoras destacables se producen en el campo de las tareas de acabado, con las máquinas para alisar o pulir. El método general de la época consistía en una lámina circular de hierro fundido a modo de lecho de rozamiento que gira alrededor del interior de un marco circular de madera. Las piezas de piedra se colocan en el lecho hasta que la superficie de la piedra esté lisa. La acción de pulido se consigue incorporando agua y arena (Barr y Fraser, 1892).

Varias invenciones combinaron partes que permiten un movimiento curvilíneo desde el eje central. No obstante, el invento más destacable es este campo sería la "Jenny Lind", una invención de principios de la década de 1880 en Estados Unidos, que consistía en un disco abrasivo compuesto por varios anillos unidos que lograban el efecto de pulido utilizando agua y arena (Stainer, 2009). El funcionamiento de la máquina se acciona con energía, de tal manera que el operario puede dirigir el disco con poco esfuerzo, moviéndolo en círculos en cualquier dirección con la ayuda de dos palancas. Con el avance de las máquinas de corte, que dejaban una superficie de corte mucho más lisa el abrasivo se sustituyó por uno mucho más fino.

En las dos últimas décadas de siglo ya hay referencias en ilustraciones de talleres que disponen de maquinaria trabajando a pleno rendimiento. En muchas fábricas se aprecia la convivencia de tareas de labrado artesanal que los operarios realizan a mano con tareas de corte y pulidos realizadas con novedosa maquinaria con motores a vapor bajo la supervisión de uno o dos operarios.

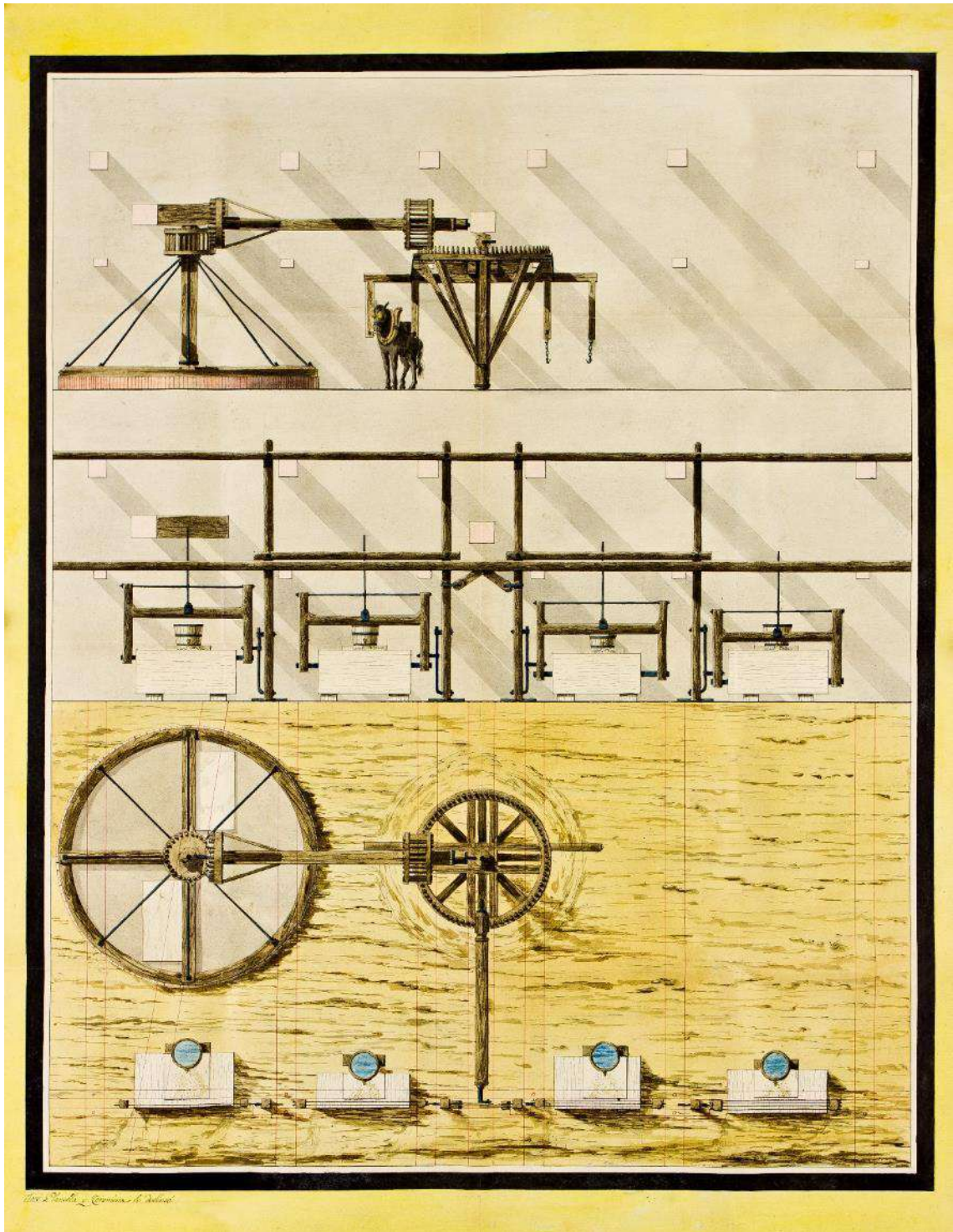
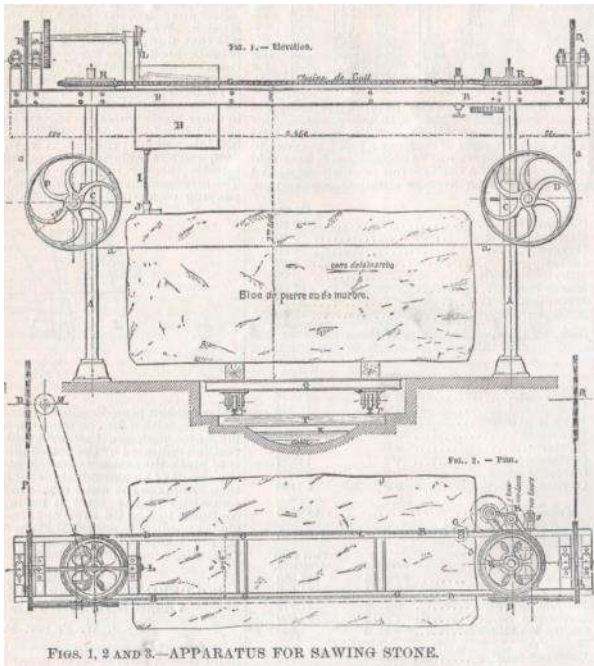
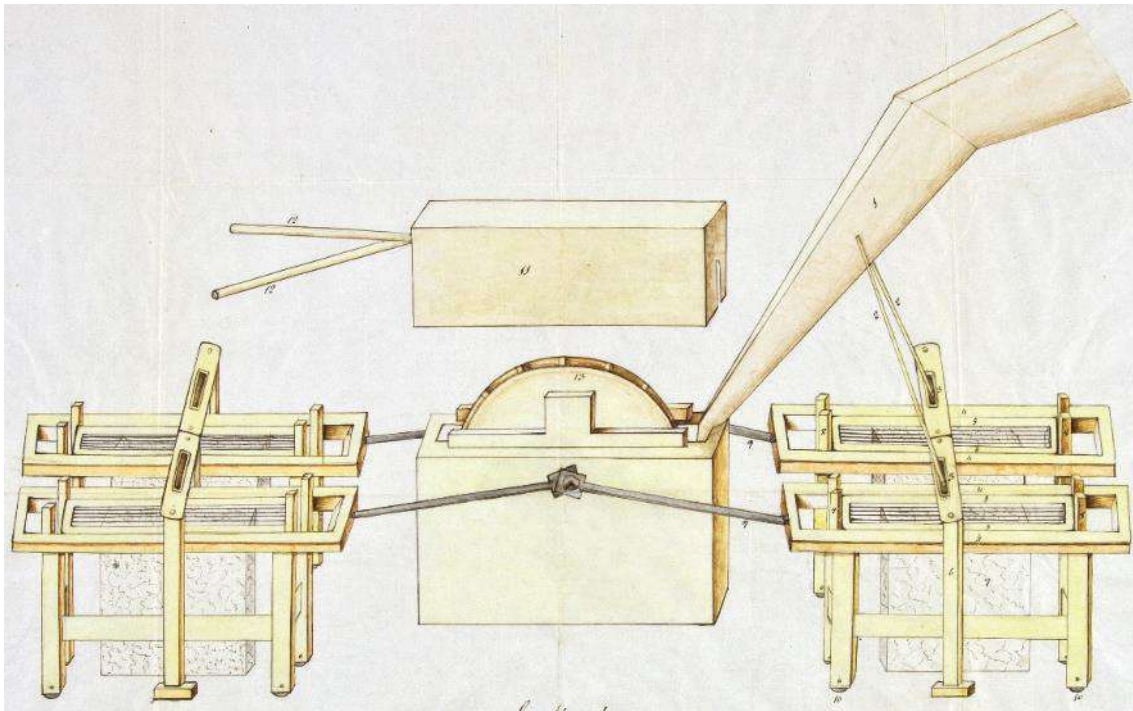


Figura 2.72. Privilegio de invención 62 "Máquina para serrar con la mayor economía y brevedad posible los mármoles y toda clase de piedra". Pedro Fábregas en 1830. Archivo histórico de patentes y marcas.



FIGS. 1, 2 AND 3.—APPARATUS FOR SAWING STONE.

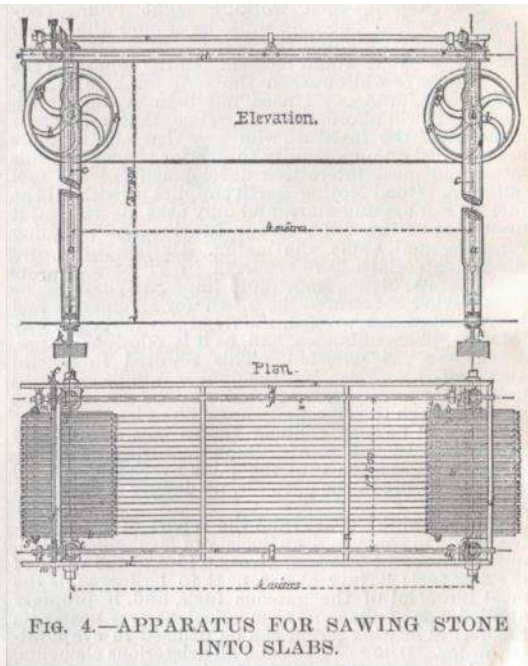


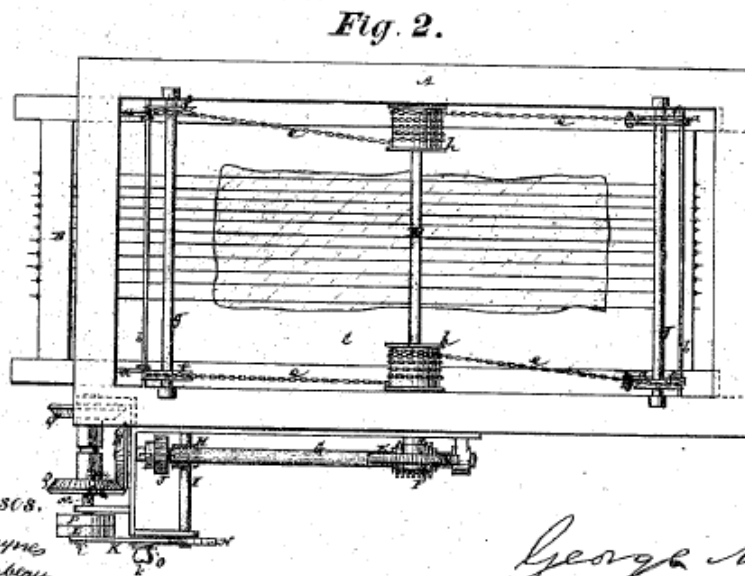
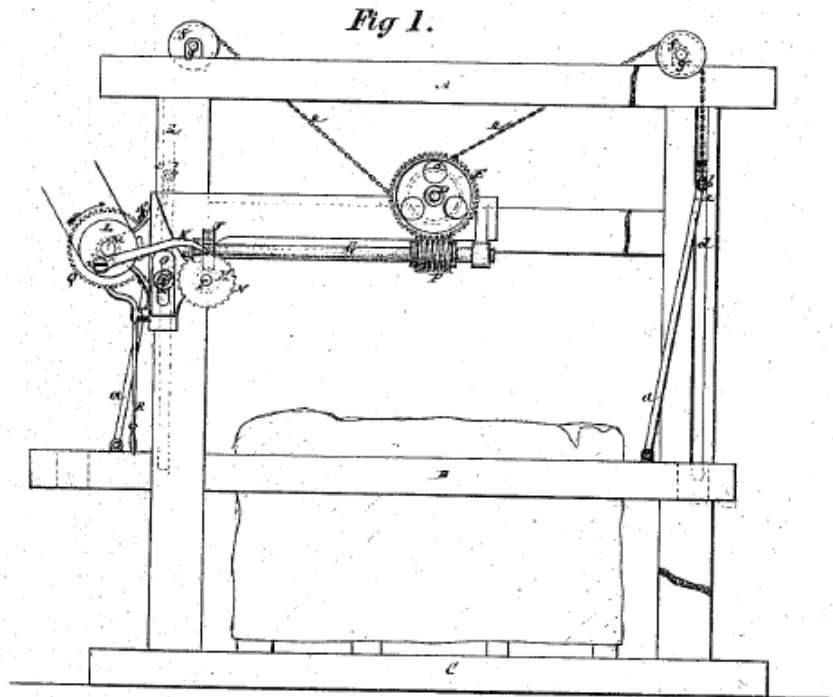
FIG. 4.—APPARATUS FOR SAWING STONE INTO SLABS.

Figura 2.73 (arriba). Máquina para aserrar piedras de todas magnitudes y grueso. Plano del privilegio de invención. D. Juan Gómez y Reyes (1854). Archivo histórico de patentes y marcas.

Figura 2.74 (abajo). "Máquina continua, empleando hilo metálico giratorio para el aserrado de piedras, mármoles, granito y otras piedras". Patente 1778. Pauline Gay (1881). Scientific American Supplement, Vol. XX, No. 520, New York, del 19 de Diciembre de 1885. "The Helicoidal or Wire Stone Saw," in Scientific American Supplement, Vol. XX, No. 520, New York, December 19, 1885.



*Sawing Stone.*  
*No. 105359.* *Patented July 12. 1870.*



*Witnesses.*  
*W.D. Haynes*  
*R. M. Adams*

*George Morgan*

Figura 2.75. Patente US105359A. "Máquina para serrar Piedra". George Morgan (1870). Base de datos European Patent Office.

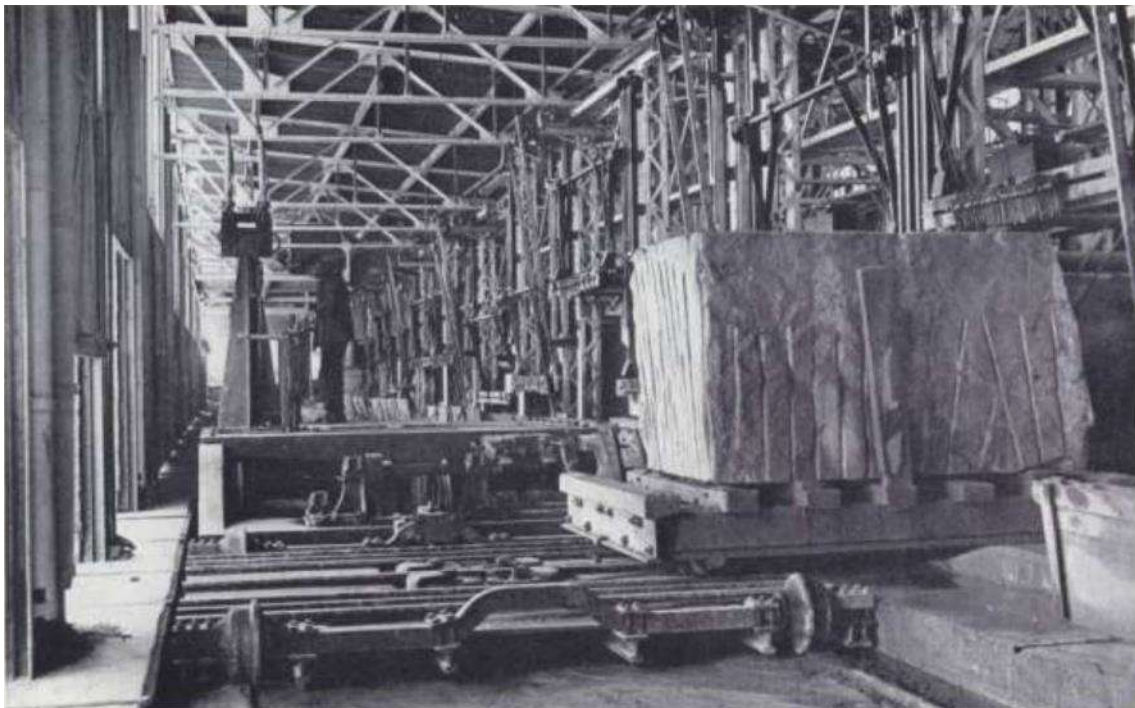


Figura 2.76 (arriba). Fotografía de la Jenny Lind en Excelsior Granite Works. Robert Gibb and Sons.1910. <https://emuseum.aberdeencity.gov.uk/objects/134718/photograph-of-jenny-lind-at-excelsior-granite-works> (Consulta el 17.11.2021)

Figura 2.77 (abajo). Ferrocarril elevado en el taller de corte de Vinal Haven para facilitar el manejo del granito, cuya configuración está pensada para que uno o dos hombres puedan trasladar y/o depositar fácilmente los bloques a cualquier parte del taller. Vermont Marble Company (1920s). The Book of Vermont Marble: a reference for Architects and Builders. Proctor, Vermont. Second edition. p.13

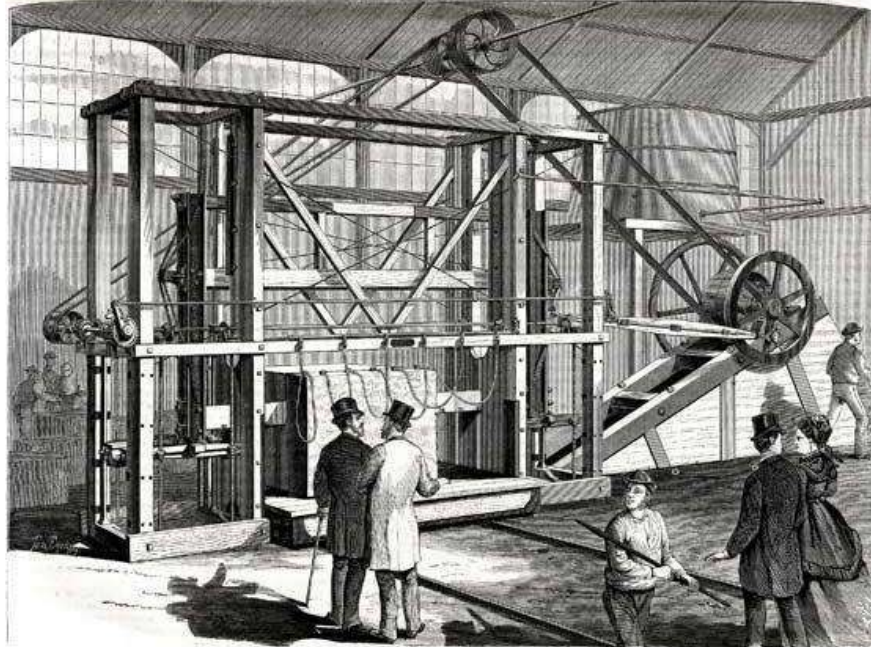
# SCIENTIFIC AMERICAN

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

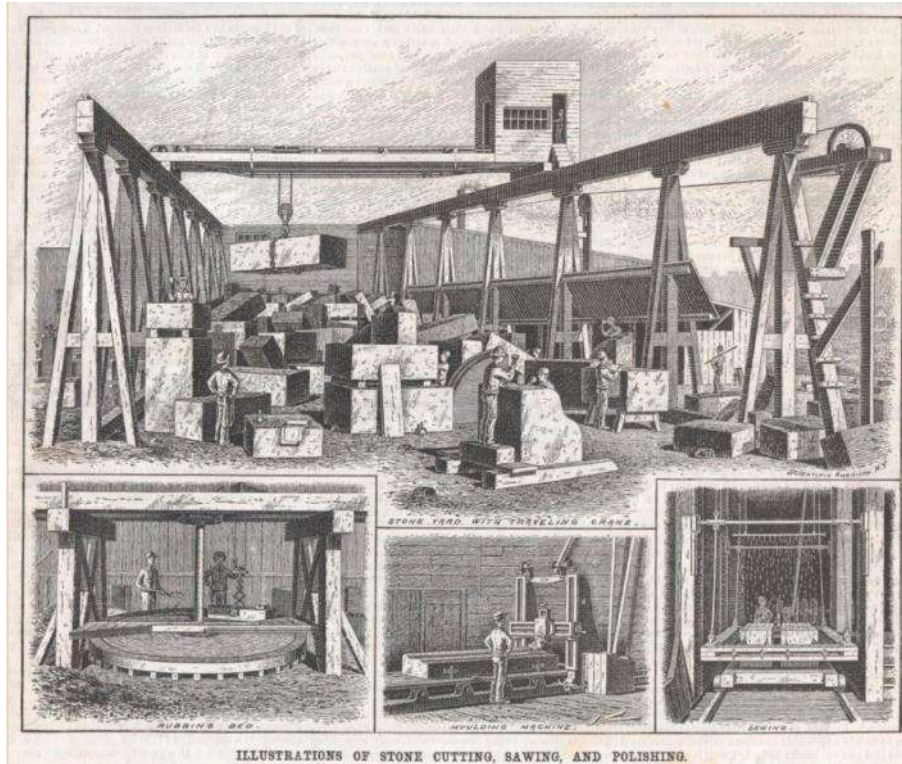
Vol. XXXII.—No. 5.  
(NEW SERIES.)

NEW YORK, JANUARY 30, 1875.

\$5.00 per Annum,  
Payable in Advance.



YOUNG'S DIAMOND STONE SAWING MACHINE



ILLUSTRATIONS OF STONE CUTTING, SAWING, AND POLISHING.

Figura 2.78 (arriba). Telares de grandes dimensiones con bastidor multisierra y sistema de transmisión del movimiento. Publicación en Scientific American (Enero de 1875) <http://www.magazineart.org/piwigo/index.php?category/178> (Consulta el 17.11.2021)

Figura 2.79 (abajo). Convivencia de tareas de labrado a mano con novedosa maquinaria que realiza tareas de aserrado, moldeo y pulido con motores a vapor bajo la supervisión de uno o dos operarios. Finales s.XIX. Fábrica de Nueva Jersey. Steam Stone Works. Scientific American, Vol. LXVI, No. 6, New York, February 6, 1892, p. 89

### 2.6.3 DESARROLLO A PARTIR DEL SIGLO XX

A lo largo del s. XX se incorpora la maquinaria de una forma más generalizada en las canteras y en las fábricas. Muchas canteras y fábricas, que a mediados del siglo XIX aún realizaban todos los trabajos a mano, adquieren maquinaria moderna para mecanizar los procesos y atender a la alta demanda de piedra. Para mediados de la década de 1920 muchas habían incorporado la energía eléctrica. En este periodo se producen notables avances tecnológicos.

En las patentes revisadas en las primeras décadas de siglo es habitual encontrar referencias a las mejoras aplicadas en los telares de corte multisierra, en la estabilidad de la máquina o en los sistemas de engranaje. A partir de 1900 muchas de las patentes se refieren al bastidor en el que se insertan las hojas de corte, destacando aspectos como mejoras en el sistema de unión de las hojas, mejoras en el funcionamiento de las sierras ubicadas en los bordes, mejoras para la posibilidad de introducir más o menos sierras, mejoras para conseguir que la línea de corte se mantenga estable y recta o mejoras en la posición de las sierras para evitar que se dañen los bordes de los bloques. En estas invenciones los objetivos están encaminados a conseguir máquinas más eficientes, seguras y con más durabilidad, cortes más rápidos y menos desperdicio de material. También destacan las mejoras referidas al sistema o mecanismo de alimentación para la aplicación del abrasivo o del refrigerante, enfocadas a la protección de las sierras de corte para asegurar su durabilidad en buenas condiciones.

También se han localizado numerosas invenciones sobre las hojas de serrar, en las que destacan aspectos como la eficiencia, el coste de producción o configuraciones que incluyen ranuras o canales para evitar que el abrasivo quede atascado. Algo a destacar en las invenciones consultadas es que generalmente se han diseñado enfocadas al corte de variedades en función de su dureza, encontrando diferencias en la posición y número de dientes, forma de los mismos, espesor y dirección con respecto al plano de la hoja. Varias invenciones exponen un sistema de dientes desmontables, que prevé la posibilidad de utilizar más o menos dientes en función de las necesidades.

En los trabajos de extracción en canteras destaca la introducción de las máquinas perforadoras cortabloques, como evolución a las anteriores torres de perforación, incorporadas con barrenos neumáticos a distancias regulares. La canalizadora eléctrica se desplaza sobre una pista desmontable que se coloca en el suelo de la cantera. Al golpear continuamente el mármol, esta máquina hunde una ranura estrecha hasta una profundidad de varios pies, lo que permite sacar bloques de forma y tamaño uniformes. El corte se realiza mediante cinco brocas con punta de cincel, unidas en una fila y unidas al extremo de una barra de acero (Perazzo, 2013).

En la década de 1930 se inventa en Francia la lanza térmica. Se introdujo en las tareas de extracción en canteras compuestas por rocas ígneas porque lograba separar los bloques con menor esfuerzo que con barrenos. No obstante, las desventajas asociadas a este sistema hacen que décadas después su uso vaya en retroceso a favor de otros sistemas como las máquinas rozadoras para piedras duras y las discos para las blandas.

La invención de la sierra radial de disco por Raimon Walt en 1923 supuso una revolución en la industria del corte de la piedra. El corte de piedra se realizaba mediante la técnica abrasiva o utilizando discos con un revestimiento de carburo de silicio.

Posteriormente se sustituirían estas sierras por discos con puntas de diamante. La tecnología del diamante supuso otra gran revolución en el tratamiento de la piedra. El hilo diamantado ha revolucionado el corte de la piedra natural desde la extracción a la elaboración aumentando el rendimiento, disminuyendo el coste y

mejorando las condiciones laborales del sector. Aunque se han localizado algunas referencias anteriores de sierras con disco de diamante, como la patente US47255A (1865) en la que E.S. Drake, propone una sierra "en cuya placa o cuerpo, o en sus dientes o salientes del cuerpo, se fijará permanentemente una pequeña piedra preciosa de gran dureza (se prefieren los diamantes)" su uso resultaba demasiado caro.

A pesar de estas primeras experiencias esta tecnología no se introdujo realmente hasta comienzos de la década de los años 50, cuando las grandes compañías comenzaron a fabricar diamante sintético para su aplicación a la industria. A partir de este momento las sierras con incrustaciones de diamante han ido reemplazando a los anteriores discos por ser hojas más eficientes y con más durabilidad, aportando ventajas que se notaron de manera especial en el corte de rocas duras.

La lentitud del aserrado en las antiguas fábricas se resolvió gracias a la colocación en los flejes de la sierra unas puntas de diamante, que consiguen un rendimiento mucho mayor y un espesor mucho más preciso que con las técnicas abrasivas de carburo de silicio que se venían utilizando hasta la fecha. Los discos diamantados, compuestos por una aleación de acero con segmentos de diamante soldados en su periferia, también consiguen un corte mucho más eficiente que las sierras utilizadas hasta el momento.

Aunque la adaptación a las nuevas tecnologías ha sido desigual en las canteras, hacia los años 60 lo habitual era que las canteras contaran con instalación de suministro eléctrico y de aire comprimido, pudiendo hablar de una explotación industrial a gran escala. Hacia 1.970 estas tecnologías ya se habían incorporado en los flejes de los telares, en las sierras de disco y en las sierras puente multihilo.

A finales del siglo XX van tomando forma nuevas tecnologías derivadas de los avances en la informática y en la electrónica que iniciarán la transición a las nuevas oportunidades del sector en el siglo XXI. En la década de 1970 se empieza a investigar en la tecnología de control numérico, aunque por aquel momento la tecnología era muy novedosa y cara.

Otro invento de interés es el corte con agua a presión, ideado por el Dr. Mohamed Hashish cuando, en 1979, incorpora abrasivos en el chorro de agua. Esta tecnología se aplica inicialmente en industrias como la aeroespacial y a partir de la década de 1990 se empieza a hacer popular su uso en canteras con aplicaciones en las tareas de extracción de piedras duras, ya que producía un corte muy limpio y preciso y con poco desperdicio de material (López Jimeno, 2012).

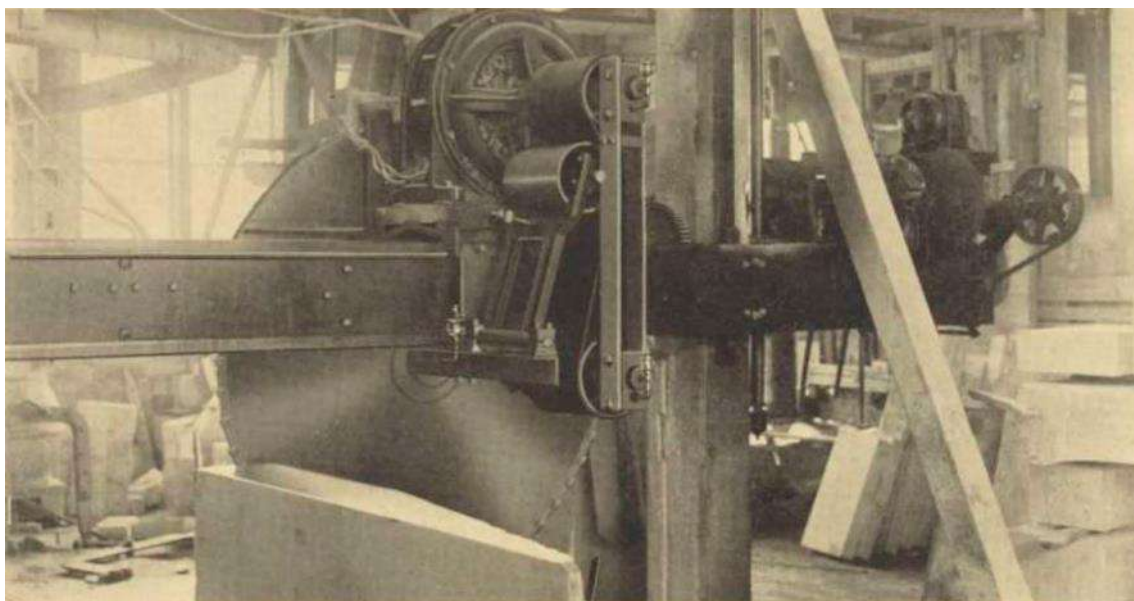
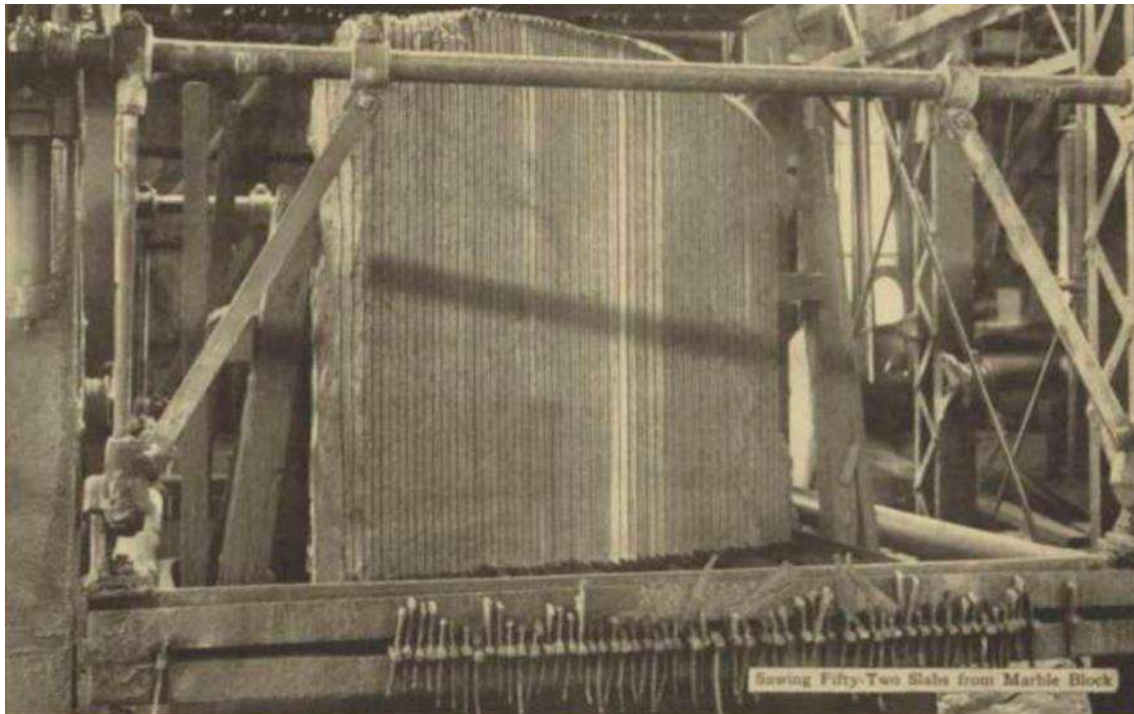


Figura 2.80 (arriba) Telar que permite el corte de 52 placas de piedra de manera simultánea. Roxbury, Vermont – the Vermont Marble Company's Verde Antique Quarry History (from "The Romance of Verde Antique," by Basil B. Walsh, in *The Vermonter*, Vol. 31, No. 9, 1926, pp. 130-136)

Figura 2.81 (abajo). Sierra de diamante, Vermont Marble Company (1929). *The Book of Vermont Marble: a reference for Architects and Builders*. Proctor, Vermont. Second edition. Recuperado de [https://archive.org/details/TheBookOfVermontMarbleAReferenceBookForTheArchitecturalProfession\\_424](https://archive.org/details/TheBookOfVermontMarbleAReferenceBookForTheArchitecturalProfession_424) (Consulta el 17.11.2021)

## 2.6.4 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL SIGLO XXI

En los últimos años se está produciendo una nueva revolución tecnológica en la industria que poco a poco va llegando al sector de la piedra, que apuesta por las últimas innovaciones que ofrecen la industria 4.0 y las nuevas tecnologías BIM aplicadas al medioambiente, para incrementar la capacidad logística y productiva, y mejorar su posicionamiento y competitividad en el ámbito internacional en comparación con otros materiales.

La progresiva introducción de programas informáticos y de gestión de los procesos y etapas de trabajo están posibilitando la mejora de la eficiencia, la productividad y el aprovechamiento de los recursos. Las herramientas de digitalización y diseño del corte de las tablas, el control de stock y ventas, así como de producción permiten a marmolistas programar, planificar y monitorizar las diferentes fases de ejecución del proyecto, desde la concepción hasta la entrega al cliente.

Aunque no tan rápida como en otros sectores, de una manera progresiva y con la puesta en marcha del programa de subvenciones para la adaptación a la industria 4.0 en el sector de la piedra natural, además de las subvenciones autonómicas, las empresas progresan en su transformación y adaptación digital. Este plan de ayudas forma parte de la “ESTRATEGIA EUROPA 2020” con la que la Comisión Europea pretende reafirmar la política industrial como una de las prioridades estratégicas de Europa. Se están trabajando en una serie de nuevas tecnologías:

- Desarrollo de nuevos sistemas de corte y acabado.
- Mejoras medioambientales
- Investigación enfocada en el desarrollo de nuevos productos y de ensayos no destructivos.
- La automatización de los procesos de producción y sistemas de gestión.
- Fabricación de nueva maquinaria más eficiente y con menor consumo energético.
- Adaptación a BIM (Building Information Modelling).

La automatización en los procesos de transformación de la piedra implica un gran avance. Las máquinas de CCN y de corte por chorro de agua dan una gran versatilidad al proyectista, permiten generar nuevos despieces, cortes, ranurados o mecanizados de manera precisa. También se está incorporando la robotización de ciertos procesos de tal manera que se agilizan algunas fases que seguían siendo lentas y se mejora la productividad al controlar los parámetros monitorizados a tiempo real y al posibilitar la simultaneidad de tareas.

La introducción de máquinas tecnológicamente más avanzadas ha producido aumentos en la productividad y en la seguridad. El desarrollo tecnológico también permite aumentar la sostenibilidad ambiental, la optimización de procesos y la optimización de recursos. Todos estos nuevos procesos permiten una cadena de producción más eficiente y rentable en cuanto a recursos materiales, humano y en tiempos.

En el estudio recientemente publicado sobre “Oportunidades Industria 4.0 en Galicia”, impulsado por el Instituto Gallego de Promoción Económica (IGAPE) y la Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia (ATIGA), se concluye que el porcentaje de empresas adaptadas a estas nuevas tecnologías es aún escaso. A pesar de ello sí se han detectado las principales ventajas asociadas, fundamentalmente mayor eficiencia en los sistemas productivos y los sistemas de gestión como una motivación para su implantación. En el estudio han participado empresas extractoras, transformadoras y de producto final, mediante encuestas basadas en el sistema DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades).

Las debilidades detectadas son:

- Sector tradicional.
- Escasez de sistemas de gestión integrales.
- Costes salariales altos en comparación con países asiáticos.
- Escasez de mano de obra cualificada.
- Si bien el nivel tecnológico de las empresas del sector es alto, no lo es en relación las nuevas tecnologías.
- Escasa utilización de las TIC en las empresas.
- Las empresas no conocen ni utilizan los recursos que ponen a su disposición los agentes del sistema de innovación.
- Las exportaciones de piedra en bruto siguen siendo altas, perdiéndose valor añadido.
- Desconocimiento del producto entre prescriptores y consumidores finales (sector de la construcción).
- Las empresas trabajan con tecnologías maduras que se consideran válidas. La incorporación de avances tecnológicos se realiza sin asunción de riesgos, es decir, cuando la maquinaria está ya probada.
- La presencia de personal técnico cualificado en las empresas es reducida, lo que dificulta la conexión con el entorno científico tecnológico.
- La utilización de programas de I+D+i no es una práctica generalizada.

Los problemas o amezanas son:

- Defectos de la materia prima, grietas, manchas, etc., propios de su calidad natural que generan problemas durante los procesos de transformación y mermas en la calidad de los productos.
- Proceso de selección manual de calidades, en el caso de la pizarra.
- Planificación y control de la producción.
- Falta de profesionales cualificados. Las empresas del sector manifiestan que los actuales planes de formación se quedan muy lejos de sus necesidades haciendo que las empresas tengan que invertir recursos propios para la formación de los trabajadores.
- La competencia en un mercado global donde países como los asiáticos disponen de un coste de mano de obra inferior, provoca que el sector compita en condiciones muy duras.”

Las principales motivaciones y fortalezas del sector para su adaptación a las nuevas tecnologías son:

- El incremento de la eficiencia de los sistemas productivos.
- El incremento de los beneficios de la empresa.
- El incremento de la eficiencia de los sistemas de gestión

Las oportunidades tecnológicas de mejora detectadas son, entre otras:

- Profesionalización del sector
- Formación del trabajador
- Mejoras en la planificación de la producción
- Mayor automatización de procesos
- Capacitación tecnológica
- Implantación de tecnologías 4.0
- Colaboración con centros expertos en tecnologías 4.0



## 2.6.5 PRODUCCIÓN DE PLACAS PARA SU APLICACIÓN EN FACHADAS TRASVENTILADAS

Las fases de transformación y elaboración de placas de piedra para su aplicación en revestimientos de fachadas son:

### 1.- EXTRACCIÓN DE BLOQUES

#### EXTRACCIÓN

- En canteras a cielo abierto
- En canteras subterráneas: se ha ido haciendo más habitual la utilización de este tipo de explotaciones en algunos países fundamentalmente por razones medioambientales.

Los métodos de extracción empleados varían de unas explotaciones a otras en función de las características naturales de la roca. Los métodos de extracción más habituales son mediante rebanadas verticales o mediante bancos, pudiendo estos ser altos o bajos.

Las técnicas de extracción se engloban en dos grandes grupos: con equipos mecánicos o con voladuras, este último a día de hoy más reservado en el caso de canteras de áridos. Los equipos mecánicos suelen ser.

- Rozadoras de brazo: se trata de un brazo móvil y orientable con cadena de dientes cortantes, que se desplaza sobre carriles dispuestos en la dirección de corte. Este sistema se aplica en macizos rocosos de dureza media a baja y con bancos no muy altos.
- Corte con disco: se trata de un disco de dientes de diamante movido por un motor, montado en un equipo móvil que se desplaza a través de carriles. El uso de este sistema permite obtener desde el principio, los bloques sin necesidad de recurrir a las sucesivas etapas de división, aunque presenta limitaciones por la escasa profundidad del corte, por lo que es apto para el caso de bloques de pequeñas dimensiones.
- Corte con hilo diamantado: se trata de un motor que acciona la polea sobre la que corre un hilo de acero continuo. El plano de corte puede tener cualquier orientación, aunque las más habituales son las posiciones horizontal y vertical. El hilo diamantado consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzadas perlas diamantadas.

#### CLASIFICACIÓN Y TRANSPORTE

- Clasificación de los bloques extraídos: se clasifican en función de aspectos como tamaño, tono, número de vetas, manchas o fisuras...
- Recepción de los bloques a los talleres / fábricas: clasificación en función del uso que se le vaya a dar.
- Almacenaje

## 2.- TRANSFORMACIÓN

### ASERRADO

- Telares: el corte en telares produce menos desperdicio de material. En función de las necesidades puedes ser telares con flejes de acero o con hilo diamantado.
- En cortabloques con disco diamantado: produce mayor desperdicio de material y se suele utilizar con bloques muy irregulares

### TRATAMIENTO SUPERFICIAL

En función del acabado que se quiera proporcionar a las placas se utiliza maquinaria específica.

### CORTE

Se realizan cortes longitudinales y transversales en las placas para obtener las dimensiones y formato del producto.

### ACABADO

En esta etapa se realiza el mecanizado en las placas en función del sistema de fijación que vaya a utilizarse.





Figura 2.82 (arriba). Clasificación y almacenamiento de bloques a su llegada. Granilouro. Fotografía de la autora.  
Figura 2.83 (abajo). Corte para dividir un bloque de grandes dimensiones. Granilouro. Fotografía de la autora.



Figura 2.84 (arriba). Corte con disco de diamante. Granilouro. Fotografía de la autora.  
Figura 2.85 (abajo). Corte con hilo diamantado. Granilouro. Fotografía de la autora.

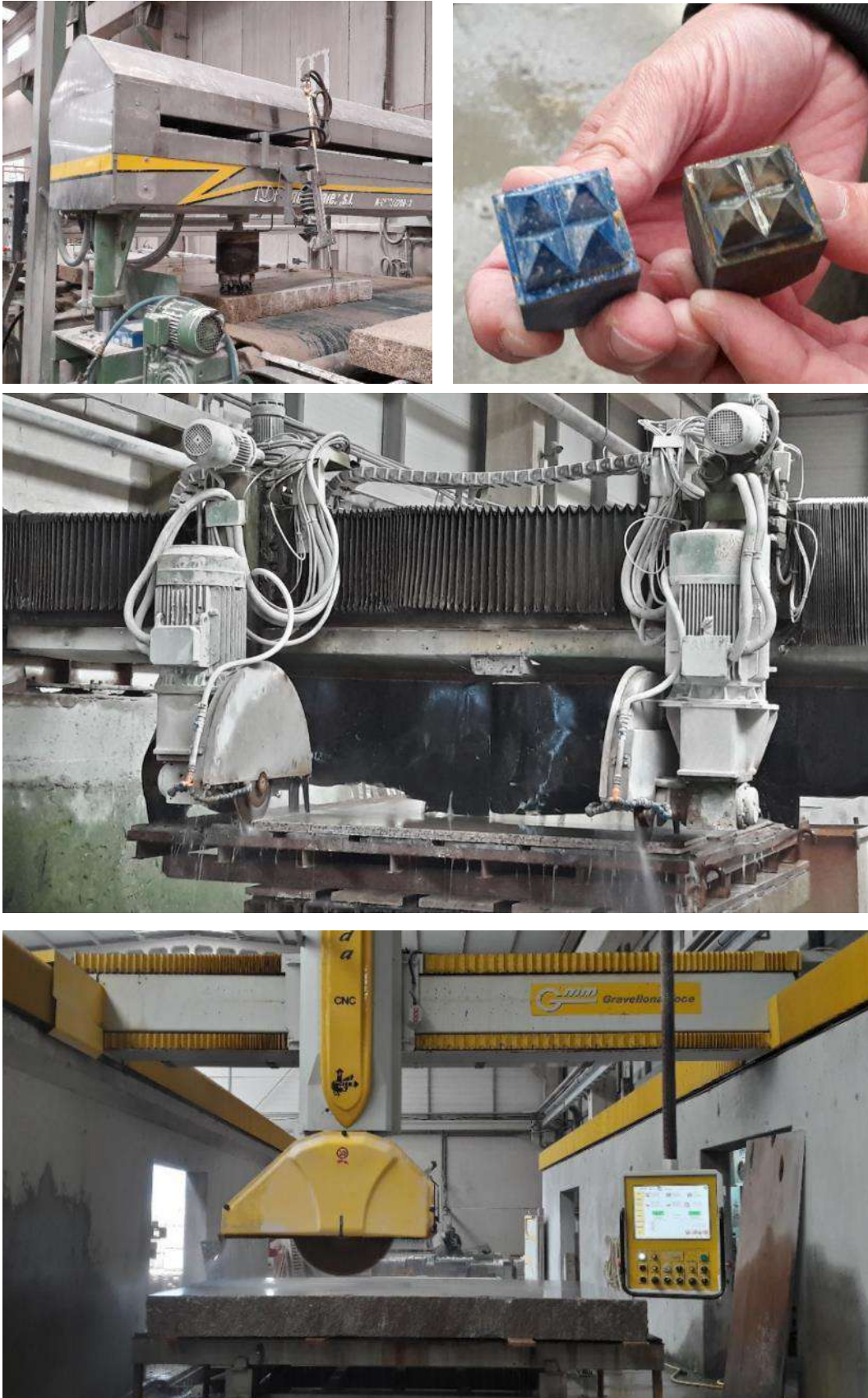
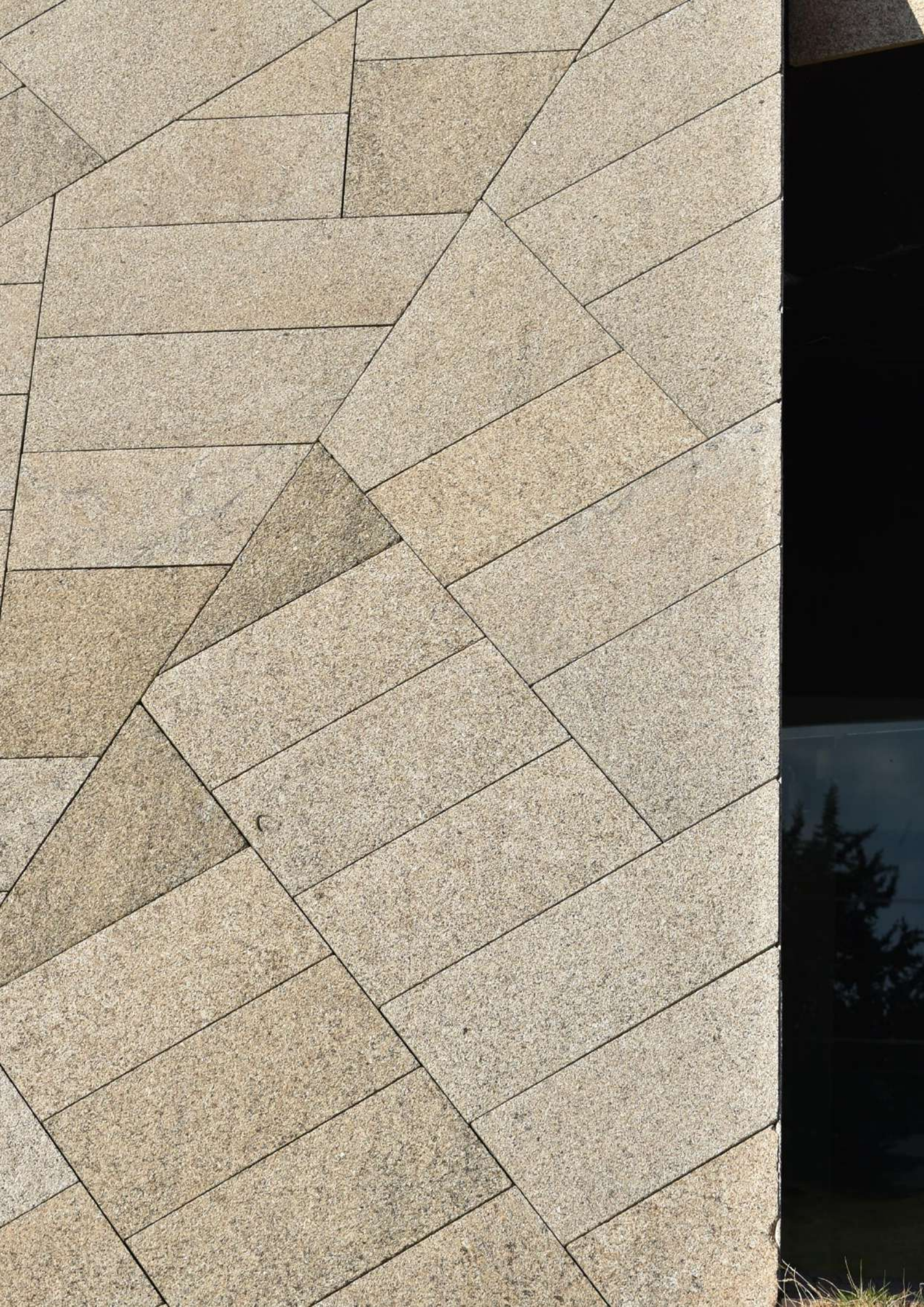


Figura 2.86, 2.87 (arriba). Acabado superficial de placa. Granilouro. Fotografía de la autora.  
Figura 2.88 (abajo). Corte longitudinal y transversal de la placa. Granilouro. Fotografía de la autora.  
Figura 2.89. Corte por control numérico. Granilouro. Fotografía de la autora.



### **3. La piedra natural como material de revestimiento**





### 3.1. LA PIEDRA NATURAL COMO ARGUMENTO PROYECTUAL

---

Una circunstancia común que se da en los casos de estudio revisados y que diferencia a la piedra natural de otros materiales utilizados en revestimientos de fachadas es que su utilización forma parte de la idea generadora del proyecto, hasta el punto de que en muchas ocasiones el concepto del proyecto gira en torno al material. La belleza y la singularidad que aporta el uso de piedra natural a las fachadas de las edificaciones es en muchas ocasiones el punto de partida para el proyectista a la hora de concebir una edificación integrada en el entorno.

La piedra natural tiene una extraordinaria capacidad para definir conceptos, reforzando la idea del proyecto, gracias a las posibilidades que ofrece la gran variedad de texturas y colores, sus distintos formatos o las múltiples posibilidades de posición de las placas. Además de sus características constructivas se ha usado en numerosas ocasiones por sus cualidades poéticas y evocadoras, capaces de generar un diálogo con el paisaje.

La decisión de utilizar piedra natural va a influir de una manera determinante en todo el proceso del proyecto, desde la concepción y desarrollo de la idea hasta la definición del proyecto. Como veremos a lo largo del presente capítulo, son numerosos los condicionantes ligados al uso de este material. De manera general se pueden destacar las siguientes características como premisas básicas a la hora de seleccionar el material:

- La piedra natural es un material heterogéneo, por lo que es importante conocer las diferentes variedades de piedra natural que ofrece el mercado.
- Los productos se identifican por su denominación comercial y petrográfica, composición mineralógica, comportamiento mecánico, riesgo de alterabilidad, color y lugar de origen. Los laboratorios garantizan el cumplimiento de las necesidades de la piedra natural, por medio del Documento de Declaración de prestaciones y los datos característicos de la variedad de piedra
- Se debe asegurar un uso adecuado a cada variedad de piedra natural, de tal manera que la selección de la misma debe basarse en sus características o propiedades, y no atendiendo exclusivamente a su color o textura.
- Para asegurar una selección adecuada del sistema de fijación y del acabado se requiere un dimensionado previo del espesor de la placa.
- Distintas variedades de un mismo tipo de roca pueden ofrecer valores muy diferentes, por lo que es fundamental la importancia de realizar una completa caracterización y evaluación del material antes de su aplicación en la fachada.
- Cuando se utilizan variedades con anisotropía se recomienda utilizar los valores de laboratorio más desfavorables para evitar fallos de comportamiento una vez colocado en obra. En casos de fuerte anisotropía o lechos de cantera con muchas vetas se debe valorar su idoneidad con expertos y, en su caso, rechazar su utilización.



Figura 3.1 (de izquierda a derecha y de arriba abajo). Granito silvestre, Granito Warwick, Marmol blanco carrara, Mármol crema marfil, Pizarra negra, Pizarra multicolor negra, Arenisca niwala, Caliza blanca capri. <https://www.levantina.com/es/producto/> (Consulta 23.03.2021)

### 3.2. DENOMINACIÓN

Los productos de piedra natural se identifican por su denominación comercial y petrográfica, composición mineralógica, comportamiento mecánico, riesgo de alterabilidad, color y lugar de origen, de acuerdo con las normas UNE-EN 12407, UNE-EN 12440 y UNE-EN 1469. El fabricante debe incluir en su descripción los siguientes datos.

- Nombre de la piedra natural (nombre tradicional) (UNE-EN 12440): el nombre bajo el que se comercializa la piedra natural correspondiente a un tipo de roca particular y con un lugar de origen determinado, debiendo evitarse los nombres petrográficos que no estén relacionados con el verdadero lugar de origen.
- Familia petrográfica: se utilizará el nombre científico de acuerdo a la clasificación establecida en la norma UNE-EN 12670, que se explicará más adelante.
- Color característico (UNE-EN 12440): rango de colores de una o más muestras secas en bruto observadas en sombra con la luz natural. Se deben indicar las condiciones de observación, ya que pueden afectar a la impresión visual (humedad, polvo, acabado superficial,...)
- Lugar de origen (UNE-EN 12440): la ubicación de la zona o cantera será lo más precisa posible, debiendo indicar, al menos, ciudad o pueblo, municipio o comunidad, condado, provincia o departamento y país, pudiendo utilizarse coordenadas geográficas.

Aunque habitualmente se emplea el término “piedra natural” de forma generalizada, hay que diferenciar las palabras “roca” y “piedra”. El término roca se utiliza para designar cualquier formación geológica formada naturalmente. El término piedra, en cambio, se relaciona con la denominación comercial y se podría definir como el producto apto para su utilización en las construcciones, una vez extraída la roca y transformada de acuerdo al uso que se le va a dar.

### 3.3. CLASIFICACIÓN

Las piedras naturales son materiales poco homogéneos que en muchos casos presentan discontinuidades y anisotropías. Debido al número de variables que intervienen en su comportamiento es compleja su clasificación, por lo que es común hacerlo en base a criterios genéticos, es decir, familias con similares características petrográficas y propiedades físicas (Esbert, et al..., 1997).

#### 3.3.1. CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA

La clasificación científica de familias/grupos petrográficos utilizados en la construcción de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 12670 es:

ROCAS IGNEAS	ROCAS PLUTÓNICAS	
	Familia de los granitos	granitoides ricos en cuarzo
		granitos con feldespato alcalino
		granito
		granodiorita
		tonalita
	Familia de las sienitas	sienita con cuarzo y feldespato alcalino
		sienita con feldespato alcalino y feldespatooides
		cuarzosienita
		sienita
		sienita con feldespatooides
		cuarzomonzonita
		monzonita
		monzonita con feldespatooides
	Familia de las dioritas	monzodiorita cuarcífera
		monzodiorita
		diorita con feldespatooides
		cuarzodiorita
		diorita
	Familia de los gabros	monzogabro cuarcífero
		monzogabro
		monzogabro con feldespatooides
		cuarzogabro
		norita
		norita olivínica
		norita clinopiroxénica
		gabronorita
		gabronorita olivínica
gabro ortopiroxénico		
gabro		
gabro olivínico		
troctolita		
gabro piroxénico hornbléndico		
gabro hornbléndico		
gabro con feldespatooides		
Familia de las anortositas	cuarzoanortosita	
	anortosita	
	Anortosita con feldespatooides	
Familia de las sienitas con feldespatooides	sienita con feldespatooides	
	monzosienita con feldespatooides	
Familia de las dioritas con feldespatooides	diorita con feldespatooides	

		monzodiorita con feldespatoideos	
	Familia de los gabros con feldespatoideos	gabro con feldespatoideos	
		monzogabro con feldespatoideos	
	Familia de las feldespatooiditas	feldespatooiditas	
	<b>ROCAS ULTRAMÁFICAS</b>		
	Familia de las periodotitas		
	Familia de las piroxenitas		
	Familia de las horblenditas		
	<b>ROCAS VOLCÁNICAS</b>		
	Familia de las riolitas		
	Familia de las traquitas		
	Familia de las andesitas		
		Familia de los basaltos	basalto
		Familia de las fonolitas	
Familia de las basanitas			
Familia de las tefritas			
Familia de las feldespatooiditas			
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>			
	Familia de las rocas silíceas	rocas silíceas	
	Familia de las areniscas	cuarzarenita	
		cuarzograuvaca	
		subarcosa	
		arenita sublítica	
		arenita sulfatada	
	Familia de las arcosas		
	Familia de las grauvacas		
	Familia de las arcillas		
	Familia de las margas		
	Familia de las calizas	caliza	
		caliza dolomítica	
		caliza micrítica	
		caliza esparítica	
caliza oolítica			
Familia de las dolomías	dolomía		
	caliza dolomítica		
	dolomías		
Familia de las evaporitas			
<b>ROCAS METAMÓRFICAS</b>			
Familia de las cuarcitas	cuarcita		
Familia de los gneises	gneis		
	migmatita		
	anatexita		
Familia de las felsitas			
Familia de las serpentinitas	serpentinita		
Familia de las granulitas			
Familia de las pizarras y esquistos	esquisto		
Familia de los mármoles	micaesquisto		
	filita		
	pizarra		
	mármol calcítico		
	mármol calcodolomítico		
	mármol dolocalcítico		
	mármol dolomítico		
oficalcita			
Familia de las eclogitas			

Tabla 3.1. Clasificación científica. Elaboración propia a partir de UNE-EN 12670.

### 3.3.2. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA

De acuerdo a sus características petrográficas los materiales pétreos se clasifican de la siguiente manera (Esbert, et al..., 1997):

Características texturales				
ROCAS CRISTALINAS	Textura cristalina	Granos minerales en contacto unos con otros	Variedades masivas	Granitos
	Medios fisurados			Mármoles
			Variedades foliadas	Pizarras
ROCAS CEMENTADAS	Textura detrítica	Cemento entre los granos minerales	Areniscas, Calizas, Dolomías, Conglomerados	
	Medios porosos			

Tabla 3.2. Clasificación de rocas en función de sus características texturales. Esbert, et al...(1997)

Las rocas cementadas suelen presentar una alterabilidad mayor que las cristalinas. Otras características destacables en relación con la textura son las anisotropías, el sistema poroso de la roca, entendiéndose por este la presencia de huecos abiertos, volumen total de huecos y características de los mismos (tamaño, forma, conectividad entre poros) y el sistema de fisuras (tipo, volumen, dimensiones, conectividad entre fisuras).

Por otro lado, la composición mineral es relevante ya que los minerales presentes en su composición, especialmente los que aparecen en porcentajes apreciables (más del 5%) pueden ser significativos de cara a su comportamiento. Los minerales más abundantes son:

Cuarzo Feldespato Micas	Granitos, Areniscas, Pizarras
Calcita Dolomita	Mármoles, Calizas, Dolomías

Tabla 3.3. Clasificación de rocas en función de su composición mineral. Esbert, et al...(1997)

En función de su composición química pueden establecerse dos grandes grupos de rocas:

Rocas silíceas Compuestas por sílice junto a silicatos de diverso tipo.	Granitos, Areniscas, Pizarras
Rocas carbonatadas Compuestas por carbonatos mayoritariamente.	Mármoles, Calizas, Dolomías

Tabla 3.4. Clasificación de rocas en función de su composición química. Esbert, et al...(1997)

### 3.3.3. CLASIFICACIÓN COMERCIAL

La clasificación comercial de rocas atiende a ciertos criterios técnicos, de tal manera que cada uno de los tipos engloba varias rocas con características similares, especialmente aquellas directamente relacionadas con su aptitud de cara a la transformación para la elaboración de productos (aptitud al labrado, corte, acabado...).

Por ejemplo, el granito engloba variedades que petrográficamente no se identifican con este, como basaltos o gabros, pero se comportan de manera similar y admiten su explotación en forma de bloques. De forma análoga el mármol incluye variedades de calizas o dolomías.

Esta clasificación es la más habitual y la que emplean generalmente los proyectistas.

COMERCIAL		CIENTÍFICA				
		Composicional	Genética			
			Rocas Igneas		Rocas Metamórficas	Rocas Sedimentarias
		Plutónicas	Volcánicas			
GRANITO	Granito Claro	Rocas silíceas	Granitos Granodioritas Pegmatitas		Gneises	
	Granito Negro		Gabros Monzonitas Tonalitas Doleritas Peridotitas			
	Basalto			Andesitas Basaltos		
PIZARRA					Esquistos Filitas Pizarras	
MÁRMOL	Rocas verdes	Rocas carbonatadas		Serpentinas Anfibolitas Peridotitas		
	Mármoles				Mármoles	
	Calizas Travertinos					Calizas Dolomías Travertinos
OTRAS ROCAS	Arenisca	Otras rocas				Areniscas Conglomerados
	Alasbastro					Yeso Anhidrita Alabastro
	Pumita			Ignimbritas Tobas Pumitas		
	Cuarcita					Cuarcitas

Tabla 3.5. Clasificación técnico-comercial de rocas. Cerdeño del castillo, Francisco Javier (2007). La piedra natural en la arquitectura contemporánea. Aitemin, Centro Tecnológico, Toledo. p.26

### 3.4. PROPIEDADES FÍSICAS

Los materiales pétreos presentan diversas propiedades desde el punto de vista físico. Dependen de las características petrográficas, aunque en ocasiones es difícil establecer la relación. Esbert, et al...(1997) proponen la siguiente agrupación de propiedades:

Propiedades físicas	Aspecto	Color
		Densidad
		Porosidad
	Propiedades mecánicas	Dureza
		Resistencia a la abrasión
		Resistencia al choque
		Resistencia: compresión, flexión, tracción
	Propiedades hídricas	Absorción y desorción de agua
		Absorción de vapor de agua: higroscopicidad
		Succión capilar
		Permeabilidad al vapor de agua
		Expansión hídrica
	Propiedades térmicas	Calor específico
		Conductividad térmica
		Expansión térmica
	Propiedades dinámicas	Velocidad de propagación de ondas

Tabla 3.6. Propiedades físicas de las rocas. Elaboración propia a partir de Esbert, et al...(1997)



### 3.4.1. ASPECTO

#### COLOR

El color es una de las características más apreciadas a la hora de proyectar la fachada. Se puede determinar mediante observación visual, cartas de colores o instrumental específico. Hay varios factores que influyen en el color de la roca:

- Factores intrínsecos: composición petrográfica, acabado. Los minerales presentes, su proporción y su distribución van a determinar el color de la roca y su uniformidad o contraste.
- Factores extrínsecos: iluminación, humedad. La radiación solar y el efecto de la humedad sobre la roca puede alterar la percepción visual del espectador, además de alterar su color con el paso del tiempo.

#### DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de la roca influye en sus propiedades higrotérmicas, acústicas y en el peso propio. Forma parte de la información a incluir en la declaración de prestaciones y el marcado CE. Cada tipo de roca tiene unos valores de densidad característicos, que se obtienen mediante ensayos en laboratorio. La densidad aparente depende de la porosidad de la roca, siendo valores inversamente proporcionales, además de su composición. Las variedades utilizadas en los revestimientos de fachadas trasventiladas suelen ser rocas de baja porosidad, compactas y una resistencia más alta a la compresión, con valores por encima de los 2500 kg/m<sup>3</sup>.

Se pueden obtener algunas cifras de referencia del informe técnico CEN/TR sobre prescripciones de uso de piedra natural:

Tipo de roca	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Caliza compacta	> 2500
Otras calizas	< 2500
Arenisca	1900 a 2700
Pizarra - Lutita - Esquistos	2600 a 3000
Mármol	2600 a 2900
Gneis	2400 a 2700
Granito	2400 a 3000
Basalto	2550 a 3000

Tabla 3.7. Especificaciones para el módulo de rotura ASTM C99 (equivalente a la flexión bajo carga concentrada) en las normas ASTM. Molina Molina (2017). Guía técnica de la piedra natural. Requisitos y control de recepción. Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales. p.24

#### POROSIDAD

La porosidad abierta de una roca se refiere al volumen de poros abiertos y conectados y la porosidad total se refiere al volumen total de poros abiertos y cerrados. Aunque no forman parte de la información a incluir

en la declaración de prestaciones y el marcado CE es una característica relevante en el caso de placas en revestimientos adheridos y también tienen importancia en el caso de revestimientos trasventilados.

Las rocas con mucha porosidad, especialmente poros abiertos, tienen un peor comportamiento frente a la absorción de agua y las heladas. Algunas variedades, especialmente en el caso de mármoles, tienen muchos canales de poros abiertos, por lo que no son adecuadas para utilizarse en ubicaciones con alta humedad o con muchas variaciones de temperatura en los ciclos día-noche. En estos casos se puede dar el problema de la entrada de agua en los poros que al congelarse aumenta de tamaño y puede producir fracturas en la roca.

## ACABADOS

Uno de los aspectos que diferencia la piedra natural de otros materiales es la amplia variedad de acabados superficiales que se pueden aplicar a las placas. Distintos acabados en una misma placa influyen en la percepción visual y sensorial de la misma. Algunos acabados, como el proceso de pulido, mejora el comportamiento de la placa frente al agua, al cerrar los poros superficiales dificultando la entrada de agua.

Algunos de los acabados más habituales para su aplicación en fachadas trasventiladas son:

- Acabado apomazado: se realiza mediante muelas de distinta granulometría por abrasión a la superficie. Este acabado no se recomienda en rocas con poca dureza. El resultado es una superficie lisa y mate.
- Acabado pulido: se realiza mediante muelas de grano fino por abrasión a la superficie. El resultado es una superficie lisa y brillante, sin poro y con una mayor resistencia a los agentes externos.
- Acabado abujardado: se realiza mediante un martillo percutor provisto de una bujarda en su punta que golpea repetidamente la placa. golpean repetidamente con un martillo provisto en su punta de una bujarda con pequeños dientes piramidales. El resultado es una superficie rugosa con pequeñas oquedades. En función de la bujarda que se utilice las oquedades se presentarán en mayor o menor proporción y con mayor o menor tamaño.
- Acabado arenado o granallado: se realiza mediante un conducto con boquilla que proyecta partículas de arena de sílice o granalla a gran velocidad y presión. El resultado es una superficie con pequeñas oquedades uniformes. Al igual que el caso anterior, se pueden obtener distintos tamaños en las oquedades en función de la presión aplicada.
- Acabado flameado: se realiza en mediante una lanza térmica que alcanza temperaturas muy altas de hasta 2500°C y desprende pequeñas lascas de la superficie. El resultado es una superficie rugosa. En los últimos años este acabado se ha hecho bastante popular.
- Acabado serrado: es el resultado del corte de las placas mediante sierras de hilo o disco diamantado, sin aplicación de otro acabado posterior. El resultado es una superficie algo rugosa y mate, con poros abiertos, con cierto aspecto industrial. No se recomienda en ubicaciones húmedas.
- Acabado cepillado: se realiza mediante cepillos de púas metálicas que cepillan la superficie con un movimiento rotatorio. El resultado es una superficie rugosa pero suave al tacto.

- **Acabado lajado o natural:** se realiza de forma manual, mediante herramientas en cuña que abren la piedra por los planos de esquistosidad o sedimentación. Este acabado se aplica en rocas con planos de esquistosidad, como pizarras o cuarcitas. El resultado es una superficie que presenta pequeños escalones con un aspecto natural.
- **Acabado ranurado:** aunque este acabado no está contemplado en la norma UNE, es posible mecanizar la superficie de las placas creando un ranurado sobre la misma. Este acabado, no obstante, dificulta la limpieza cuando las ranuras son horizontales, al acumularse agua y suciedad.

No todas las variedades de rocas admiten cualquier acabado. En la siguiente tabla se incluyen los acabados más habituales en función del tipo de roca según indicaciones de distintos fabricantes de productos.

Tipo de roca	Desbastado	Apomazado	Pulido	Abujardado	Punteado	Cincelado	Granallado	Partido	Rallado	Serrado	Cepillado	Flameado	Chorro de arena	Natural
Granito	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Basalto		X	X	X	X	X				X		X	X	
Arenisca cuarcítica	X	X	X		X	X		X	X	X	X			
Arenisca	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Caliza	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
Travertino	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
Cuarcita		X	X	X						X		X	X	X
Mármol	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	
Pizarra		X	X	X		X						X		X

Tabla 3.8. Tratamientos más habituales según indicaciones de los fabricantes. Elaboración propia.

El acabado superficial debe extenderse uniformemente hasta las aristas de la placa de tal manera que las superficies tengan una apariencia regular. La identificación y definición de los acabados recomendados se incluyen en la norma UNE-EN 12670: 2020 sobre Terminología.

**Superficies obtenidas mediante desbastado (UNE-EN 12670).** Tratamiento superficial mediante un abrasivo para eliminar las principales irregularidades superficiales.

- Superficies de grano grueso, obtenidas mediante un agente de pulido grueso, por ejemplo, carburo de silicio F.60.
- Superficies de grano medio, obtenidas mediante un agente de pulido medio, por ejemplo, carburo de silicio F.120.
- Superficies de grano fino, obtenidas mediante un agente de pulido fino, por ejemplo, carburo de silicio F.220.
- Superficies de acabado mate, obtenidas mediante un agente de grano fino, por ejemplo, carburo de silicio F.400, para obtener un acabado muy plano, pero no pulido.
- Superficie pulida. Tratamiento superficial, por ejemplo, mediante un disco o fieltro de pulido, que produce un acabado de elevado brillo.

Superficies obtenidas mediante herramientas de impacto:

- Superficies abujardadas (UNE-EN 12670). Acabado obtenido mediante una bujarda, herramienta de percusión que dispone de un cabezal cuadrado provisto de dientes o puntas piramidales, o una máquina automática de abujardar, que consta de rodillo de alimentación y una viga colgante que soporta un martillo neumático de abujardar.
- Superficies punteadas, amartelinada (UNE-EN 12670). Acabado semirugoso que se obtiene utilizando una bujarda de cuatro puntas redondeadas.
- Acabado cincelado (UNE-EN 1469). Acabado obtenido mediante un cincel y una maza o una máquina de escafilado.
- Acabado estriado (UNE-EN 1469). Acabado a base de ranuras semicilíndricos talladas, obtenido mediante un cincel acanalado o una máquina de disco.
- Acabado granallado (UNE-EN 12670). Acabado por impacto que implica el lanzamiento de bolas de granalla de hierro o acero contra la superficie del material produciendo marcas punteadas.

Superficies obtenidas mediante otras operaciones de acabado:

- Acabado partido (UNE-EN 12670). Acabado superficial natural de la roca al extraerla.
- Acabado rallado (UNE-EN 12670). Acabado superficial formado por acanaladuras paralelas excavadas en la roca.
- Acabado serrado (UNE-EN 12670). Acabado resultante de serrar los bloques mediante sierra, cortadora de bloques o telar de flejes diamantados, sin tratamiento posterior.
- Acabado cepillado (UNE-EN 12670). Acabado superficial mediante un tipo especial de abrasivos flexibles.
- Acabado mediante flameado (UNE-EN 12670). Acabado obtenido por tratamiento térmico de la piedra utilizando una llama de alta temperatura.
- Acabado mediante chorro de arena (UNE-EN 12670). Acabado mate resultado del impacto de la arena u otro grano abrasivo impulsado por un aparato de chorro de arena.
- Acabado mediante chorro de agua a alta presión (UNE-EN 1469). Acabado mate obtenido exponiendo la superficie a un chorro de agua constante a presión.
- Acabado apomazado (UNE-EN 12670). Acabado superficial que produce una superficie mate o poco pulida.
- Acabado natural (UNE-EN 12670). Acabado en rocas metamórficas, como la pizarra y la cuarcita, resultado del lajado o separación de láminas de piedra mostrando su cara natural.



Figura 3.2 (de izquierda a derecha y de arriba abajo). Acabado natural, Acabado serrado, Acabado punteado, Acabado abujardado, Acabado cepillado, Acabado flameado, Acabado apomazado, Acabado pulido. García de los Ríos Cobo, Báez Mezquita (2001) La piedra en Castilla y León Junta de Castilla y León. 2ª edición. pp. 137-147

### 3.4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

En términos constructivos y refiriéndonos concretamente al modo de trabajo de las placas en el sistema de fachada trasventilada, podemos resumir las características más importantes del material en resistencia a la flexión y resistencia de rotura para anclajes. A la hora de definir el proyecto, el proyectista tendrá que conocer y tener en cuenta estos datos. En zonas expuestas también se debe tener en cuenta la resistencia al impacto.

#### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión que tienen las rocas depende de su estructura y composición interna, siendo los materiales más heterogéneos los que tienen una resistencia inferior. La declaración de este valor es obligatoria y forma parte del contenido de la declaración de prestaciones y marcado CE.

Este valor constituye un dato de referencia para determinar el espesor de la placa de piedra y para evaluar su comportamiento frente a las acciones medioambientales. Se debe determinar el Valor Inferior Esperado (ViE) siguiendo las indicaciones del anexo A de la norma UNE-EN 22203 y el valor medio de la resistencia a la flexión del material de acuerdo a la norma UNE-EN 12372 o UNE-EN 13161 cuando la línea de rotura en el ensayo se produce a una distancia del centro de la probeta superior a un 15% de la distancia entre apoyos. Cuando se consulte este dato por parte del fabricante se debe comprobar el espesor con el que se ha hecho el ensayo, y en caso de utilizar en proyecto un espesor inferior se debería repetir el ensayo.

En revestimiento exteriores que vayan a estar sometidos a heladas se recomienda obtener el valor después del número de ciclos de hielo/deshielo apropiado. Cuando se utilizan rocas con contenido de arcillas, como algunas variedades de calizas o areniscas, puede ser conveniente determinar el valor de la resistencia a la flexión con la placa saturada de agua (Molina Molina, 2017).

Algunos valores mínimos pueden consultarse, a modo de referencia, en las normas ASTM.

Tipo de roca	R (MPa)
Mármol (ASTM C503)	7
Caliza densa > 2560 kg/m <sup>3</sup> (ASTM C568)	6,9
Caliza densidad media 2160 - 2560 kg/m <sup>3</sup> (ASTM C568)	3,4
Caliza baja densidad 1760 - 2160 kg/m <sup>3</sup> (ASTM C568)	2,9
Granito (ASTM C615)	8,3
Areniscas (ASTM C616)	2,4
Cuarcitas (ASTM C616)	13,9
Serpentinas (ASTM C1526)	6,9
Travertinos para exteriores (ASTM C1527)	6,9
Travertinos para interiores (ASTM C1527)	4,8
Pizarras para exteriores (ASTM C629)	62,1
Pizarras para interiores (ASTM C629)	49,6

NOTA En la anterior tabla, debe entenderse que el término "mármol" incluye tanto a mármoles s.s. como a calizas densas capaces de alcanzar un buen pulido. La norma UNE-EN 12670 ofrece las siguientes definiciones:

- 1) Definición científica: Roca metamórfica que contiene más de un 50% de carbonatos (calcita o dolomita), formada por recristalización metamórfica de una roca carbonatada.
- 2) Definición comercial: Piedra natural compacta y que admite el pulido, utilizada en decoración y construcción, compuesta fundamentalmente por minerales con dureza entre 3 y 4 en la escala de Mohs (tales como calcita, dolomita y serpentinita).

Tabla 3.9. Especificaciones para el módulo de rotura ASTM C99 (equivalente a la flexión bajo carga concentrada) en las normas ASTM. Molina Molina (2017)

## RESISTENCIA DE ROTURA DE LOS ANCLAJES

La carga de rotura se determina mediante el ensayo correspondiente en función del tipo de anclaje utilizado. En el caso de anclajes de tipo bulón o pivote la determinación de la carga de rotura está incluida dentro de la información requerida en declaración de prestaciones y del marcado CE. La carga de rotura para anclajes se determina mediante la norma de ensayo UNE-EN 13364.

El resto de subsistemas de anclajes no están contemplados en la norma UNE-EN 1469 y por tanto no hay una norma específica de ensayo para determinar el valor de resistencia de rotura. En estos casos se debe hacer un ensayo tecnológico realizando una prueba específica de carga sobre un dispositivo similar al que se vaya a utilizar. Los fabricantes suelen optar por un sistema de evaluación Evaluación Técnica Europea (ETE) para declarar las prestaciones del sistema y sus componentes, tanto las placas de piedra como los elementos de fijación.

## RESISTENCIA AL IMPACTO

La resistencia al impacto influye en el espesor de las placas de revestimiento. Este dato es especialmente relevante cuando se utilizan algunas variedades de mármoles y calizas, que tienen valores de resistencia inferiores. También es relevante para determinar el espesor de las placas en el caso de los zócalos, que en algunos casos deben ser superiores a las del resto del revestimiento de la fachada.

El valor de la resistencia al impacto se determina de acuerdo a la norma UNE-EN 14158 como ensayo de identificación. Se debe realizar un ensayo tecnológico con el espesor requerido de la placa para comprobar que resiste a las sollicitaciones de impacto requeridas.

## DUREZA

La dureza de una roca se puede definir como la resistencia que ofrece el material al rayado o a la penetración de otro cuerpo. Tradicionalmente se ha utilizado la escala de Mohs, ideada por el geólogo alemán Friedrich Mohs, para determinar la dureza de los minerales, que los clasifica en una escala que va del 01 al 10, aunque este dato es más fiable en el caso de rocas homogéneas. Algunas variedades de mármoles, areniscas y calizas presentan valores diferentes de dureza en función de su porosidad y composición.

De cara a la definición de proyecto se suele hablar de tres grupos de rocas en función de su dureza:

- Rocas duras: rocas ígneas y metamórficas que se desagregan con más dificultad, además de algunas rocas sedimentarias compactas. Por ejemplo: granitos, cuarcitas, areniscas cuarcíticas
- Rocas medias: mármoles y calizas
- Rocas blandas: rocas sedimentarias. Por ejemplo: areniscas y calizas porosas

### **3.4.3. PROPIEDADES HÍDRICAS**

#### **ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

La absorción de agua de una roca se refiere a la cantidad de agua que es capaz de absorber. Incluye principalmente en el incremento de peso de la placa del revestimiento en función del peso de agua que absorba y en el comportamiento frente a las heladas. Cuando este valor es muy elevado no se recomienda su uso en zonas muy húmedas y en las que se produzcan heladas.

Este valor indica datos relevantes de referencia sobre la durabilidad de las placas, predisposición a la alteración, comportamiento frente al hielo y facilidad de limpieza. Se debe determinar de acuerdo a la norma UNE-EN 13755. Cuando el valor resultante sea superior al 6% la placa no es apta para su sujeción con fijaciones mecánicas.

#### **ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD**

La porosidad abierta de la roca se determina de acuerdo a la norma UNE-EN 1936. Cuando este valor supere el 1% y las placas de piedra se coloquen en zonas de riesgo de ascensión capilar se debe realizar un ensayo de absorción de agua por capilaridad de acuerdo a la norma UNE-EN 1925. Con carácter general y para espesores de aplacados estándares el coeficiente de capilaridad deberá ser inferior a  $4\text{g/m}^2\text{s}^{0.5}$ .

#### **CRISTALIZACIÓN DE SALES SOLUBLES**

Cuando la porosidad indicada en el punto anterior supere el 5% se debe realizar un ensayo de resistencia a la cristalización de sales solubles de acuerdo a la norma UNE-EN 12370, no pudiendo superar los valores máximos indicados.

#### **ENSAYO DE NIEBLA SALINA**

Se debe realizar de acuerdo a la norma UNE-EN 14147, con el objeto de detectar alteraciones cromáticas. La pérdida de masa como resultado del ensayo no puede ser superior al 1%.

#### **HELADICIDAD**

La heladicidad se refiere al comportamiento de la roca frente a las heladas. Aunque no forma parte de la declaración de prestaciones y el marcado CE los cambios producidos en una placa de revestimiento sometida a heladas son relevantes. Las heladas producen el aumento de volumen del agua que se ha introducido en los poros de la roca, pudiendo llegar a producirse fracturas en la roca. Las rocas que mejor se comportan frente a las heladas son las que tienen una menor porosidad y mayor resistencia a la compresión.

Se debe determinar de acuerdo a la norma UNE-EN 12371. El número de ciclos de hielo/deshielo a realizar en casos específicos depende de las condiciones climáticas, riesgo de saturación y número de años de exposición del material (recomendable considerar 40 años). Con este valor se calcula el ViE antes mencionado para determinar la resistencia a flexión. Para la identificación del producto se deben realizar 12 ciclos de hielo/deshielo.



### 3.4.4. PROPIEDADES TÉRMICAS

#### EXPANSIÓN TÉRMICA

Cuando las piedras naturales se exponen a un aumento de temperatura se dilatan, aumentando su longitud. a piedra natural se expanden a una tasa específica. La dilatación térmica depende de factores como la temperatura, la porosidad de la roca o la composición, por lo que el coeficiente de expansión térmica varía en función de la variedad de roca.

Malaga, Schouenborg y Grek (2008) hicieron un estudio por medio del cual analizaron aproximadamente 100 tipos distintos de mármol para determinar los mecanismos de la dilatación, la combadura y la pérdida de resistencia que provocaban la degradación de los revestimientos. Tras los ensayos realizados concluyeron que el principal factor intrínseco es la granulometría irregular de los mármoles y el principal factor extrínseco es la temperatura elevada en presencia de un gradiente de humedad. Los resultados demostraron que cada tipo de mármol tiene una estructura diferente y responde de manera distinta frente a las acciones climatológicas. El estudio determinó que el mármol puede emplearse como revestimiento exterior, pero se debería analizar cuidadosamente el tipo seleccionado para ver su comportamiento.

El subsistema de anclaje elegido debe ser, por tanto, compatible con el tipo de piedra utilizado en las placas. Una vez colocado el sistema, el anclaje únicamente debe permitir el movimiento de las placas en su propio plano. Es importante comprobar el coeficiente de dilatación térmica a la hora de seleccionar el material del revestimiento y evitar variedades con coeficientes muy elevados, ya que pueden derivar en deformaciones excesivas o roturas generalizadas en los anclajes (Cerdeño del Castillo, 2007).

Ejemplo de ello es el caso del Arco de La Defensa de París (1985-1989), donde las placas originales de mármol blanco de Carrara se empezaron a deteriorar a los pocos años de su construcción debido a la rotura granular del material, acelerado por el calor, las heladas, la humedad y la contaminación atmosférica, poniendo en riesgo la resistencia del sistema de anclaje. Entre los años 2015 y 2018 se ha llevado a cabo la reconstrucción del sistema de fachada, sustituyendo las placas originales por granito blanco.



Figura 3.3. Dilatación de placas de mármol con resultado de combaduras cóncava y convexa. Malaga, Schouenborg y Grek (2008)

## CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica de la roca no es una de las propiedades más características, pero puede influir en la capacidad de aislar térmicamente. Se puede definir como la capacidad conductora o aislante del material.

## RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO

Esta característica está relacionada con la durabilidad de la piedra. Tampoco forma parte del contenido de la declaración de prestaciones y el marcado CE, pero es un dato relevante en algunas variedades de rocas. Algunas situaciones reflejadas en la Guía técnica de la piedra natural. Requisitos y control de recepción (Molina Molina, 2017):

- Algunos tipos de granitos, mármoles, calizas o pizarras sufren fenómenos de oxidación por la existencia de sulfuros u óxidos, lo que produce manchas en el material.
- Algunas variedades de rocas porosas como calizas o areniscas pueden sufrir fenómenos de desprendimiento de grano por disolución.
- Las variedades que contienen ciertos tipos de arcillas y otros filosilicatos expansivos pueden sufrir una desestabilización física por el contacto con agua.
- Las rocas que contienen ciertos sulfatos, cloruros u otras sales solubles, pueden sufrir además formación de depósitos en la superficie.
- Algunos tipos de calizas y mármoles pueden contener materia orgánica carbonosa cuya oxidación en la superficie puede alterar el color.
- Las rocas formadas por minerales laminares, como las pizarras, tienen tendencia a la exfoliación, pudiendo sufrir desprendimiento de lascas.
- Las rocas volcánicas que contienen vidrio pueden sufrir cambios de aspecto o deterioro de las propiedades mecánicas en contacto con el agua.
- Las placas con superficies pulidas pueden perder con el tiempo parte del brillo o sufrir alteraciones de color producidos por alteraciones físicas a escala micrométrica.

La sensibilidad de la piedra a los cambios producidos por ciclos térmicos se determina mediante ensayo con el objeto de evaluar los fenómenos de oxidación de la piedra que contenga minerales metálicos, cambios en la tonalidad en el caso de mármoles o calizas y cambios estructurales para determinar la facilidad de lijado, roturas, microfisuraciones o hinchamientos. Se debe determinar de acuerdo a la norma UNE-EN 14066.

### 3.4.5. CARACTERÍSTICAS DE REFERENCIA

En la tabla a continuación se muestran las propiedades características de variedades de piedra natural de la región, habitualmente utilizadas en revestimientos de fachadas.

Denominación comercial		Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad abierta (%)	Absorción a presión atmosférica (%)	Absorción de agua por capilaridad (g/m <sup>2</sup> s(0.5)	Resistencia a la flexión bajo carga concentrada (MPa)	Variación flexión tras 12 ciclos Heladicidad (%)	Variación flexión tras 48 ciclos Heladicidad (%)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia al impacto (J)	Resistencia a los andajes (N)	Variación de masa choque térmico (%)
ARENISCA	Arenisca de Villamayor	1860	29,2	13,6	69,62	0,6-1,4	1,8		28,5		1095	-2,32
	Dorada Sierra de la Demanda	2270	14,9	5,1	27	3,5	20	25,7 1	48	4,51	400	-0,04
	Arenisca del Duero	2200	16,8	5,4	66,05	4,7	9,1		35	4,7	750	0,05
CALIZA	Piedra de Campaspero	2450	8,4	3,1	10,8	14,8	1,4		101	2,45	1350	0,29
	Caliza Alcor	2400	10,3	3,4	16,99	7,2		4,8	45		1750	0,14
	Crema Castilla	2200	20,9	7,2	54,44	8,9		8,5	57		1150	0,07
CUARCITA	Cuarcita de Bernardos	2650		0,53		8,4			24		1973	0,04
	Cuarcita de Ferreruela	2640	1	0,02	0,605	20,3	0,0	25,4	137	5,49		-0,14
GRANITO	Rojo Sayago	2500	4	0,8		10,4	7	6	108		1700	0,03
	Gris los Santos	2660	1	0,3	0,82	14,3			135	5,98	2081	-0,03
MÁR MOL	Verde Monreal	2750	0,16			14,8	0,0		139		2824	0,03
PIZARRA	Gris de Bernardos	2770	1,2	0,23		49,41			105		3979	0,05
	Filita de Franvi	2770		0,16		69,60		0,16	47,9 5		2626	

Tabla 3.10. Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Pinacal, Asociación de productores de Piedra Natural en Castilla y León.

### 3.5. CONDICIONANTES DE CARA AL PROYECTO

#### 3.5.1. CONDICIONANTES CONSTRUCTIVOS

##### ESPESOR

- Todas las soluciones requieren de un cálculo del espesor mínimo de la placa teniendo en cuenta las solicitaciones sobre la placa, según el método indicado en el punto anterior.
- El predimensionado mediante sistema de espesores equivalentes puede resultar de utilidad para el proyectista.
- En el caso de rocas con isotropía el espesor se calcula en condiciones más desfavorables.
- La norma establece valores mínimos independientemente del valor resultante (UNE: 22202:2011). Granitos, pizarras: 20 mm; Mármoles: 25 mm; Calizas, areniscas, travertinos: 30 mm
- Se debe evaluar el espesor necesario de las placas del revestimiento en función de tipo de anclaje utilizado.
- El empleo de anclajes que requieran perforación de la placa, rebajes o ranurados exigen espesores mínimos de piedra de 30 mm. en piedra poco porosa y homogénea y espesores de 40 mm. en piedras poco compactas, con fracturas o poco uniformes en su masa, aunque esta clase de piedra debería ser evaluada previamente a su empleo (Vera Soriano, 1998. pp.11-14).
- En caso de utilizar espesores inferiores se recomienda la utilización de anclajes vistos o por destalonado de fondo si la variedad de piedra lo permite.
- También en el caso de utilizar variedades de piedra con tendencia a la exfoliación se recomienda la utilización de espesores mínimos de 30 milímetros. En este tipo de rocas, especialmente pizarras, se ha comprobado una disminución significativa de la resistencia a la flexión cuando la carga es paralela a los planos de esquistosidad. Por este motivo los anclajes puntuales de pivote únicamente se admitirían en aplicaciones cercanas al suelo y en el norte (con menor exposición al sol y, por tanto, menores gradientes de temperatura). En el resto de aplicaciones se recomienda la utilización de anclajes vistos o por destalonado de fondo (Vera Pires, P.M. Amaral, L.G. Rosa, R.S. Camposinhos, 2011).
- En caso de piedra porosas, menos homogéneas, o con líneas de fractura es preferible evitar los anclajes puntuales.

La siguiente tabla se incluye como herramienta de utilidad de cara a un primer tanteo del espesor de las placas. Se incluye una serie de valores de referencia en función del tipo de roca, comparando densidad, resistencia a la flexión y módulo de rotura. Paralelamente se incorporan espesores equivalentes.

Hablando en términos generales, una placa de granito de 25 milímetros de espesor puede alcanzar valores similares de resistencia de resistencia a la flexión que una placa de mármol de 30 milímetros o una de arenisca de 52 milímetros. Aunque para la elaboración de un proyecto habrá que conocer los valores de cálculo concretos, estos datos son interesantes de cara a la propuesta inicial de despiece.

Características de referencia según el tipo de roca						
Tipo de roca	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Especificaciones para resistencia a la flexión (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>				Especificaciones para el módulo de rotura (MPa) <sup>c</sup>
		Rf (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>	Espesor equivalente			
			30 mm	40 mm	45 mm	
Granito	2400-3000	10,3	25	33	37	8,3
Cuarcita	2400-2600	13,8	22	29	32	13,9
Pizarra	2600-3000	49,6	11	15	17	62,1
Mármol	2600-2900	7,1	30	40	45	7
Caliza	> 2500	3,4	43	58	65	6,9 (densidad alta)
	< 2500	2,9	47	63	70	3,4 (densidad media)
Arenisca	1900-2700	2,4	52	60	77	2,4

Tabla 3.11. Características de referencia según el tipo de roca. a Cifras de referencia del informe técnico CEN/TR 17024 sobre prescripciones de uso de piedra natural. b Valores mínimos recomendados según espesor y espesor equivalente (Guía de la piedra natural, VVAA, 2010). p.86. c Según norma ASTM

## MECANIZADO DE PLACAS

Las placas que se coloquen con sistemas de anclaje ocultos requerirán una mecanización en sus cantos o en su reverso que permitan su correcta instalación. Las opciones de mecanizado habituales son taladro, ranura puntual o ranura continua. Las perforaciones de ranura pueden ser estándar o destalonadas. El fabricante del sistema de anclaje facilitará las instrucciones, medidas y detalles constructivos necesarios para asegurar la compatibilidad y fijación segura de las placas. La variedad de piedra seleccionada, junto con el espesor de la placa, van a influir en las posibilidades de mecanizado de las mismas.

- En caso de piedras con tendencia a la exfoliación se debe evitar la mecanización de sus cantos (Vera Pires, P.M. Amaral, L.G. Rosa, R.S. Camposinhos, 2011) y utilizar anclajes vistos o tacos de presión en el reverso de la placa si la variedad lo permite.
- En el caso de perforaciones en la placa del revestimiento para anclajes de bulón o de ranura, el orificio o canaladura debe ser más profundo que la longitud del anclaje (UNE 22203:2011).
- Las piedras con tendencia a la exfoliación no admiten mecanizado de cantos.
- En piedra porosas o poco homogéneas no se recomiendan anclajes puntuales de pivote.
- Las soluciones de fijación con ranura continua permiten que se reduzcan las tensiones en la placa al descansar sobre una mayor superficie, pero requieren asegurar el control del mecanizado de las ranuras para asegurar un reparto de cargas adecuado y un mayor cuidado y control en la puesta en obra.
- Las perforaciones o ranuras deben coincidir exactamente con la posición de los pasadores o regletas de sustentación, no siendo recomendable manipular las placas en obra para ajustarla a la posición del anclaje (Vera Soriano, 1998).



Figura 3.4 (de izquierda a derecha). Posibilidades de mecanización de las placas para su fijación a los anclajes o grapas. Bulón o pivote perpendicular al plano del canto, Ranura puntual perpendicular al plano del canto, Ranura continua perpendicular al plano del canto, Perforación cónica en el reverso de la placa para anclaje por destalonado, Ranura puntual inclinada en el reverso de la placa, apta para grapas inclinadas de trasdós para la fijación de placas de cuelque. Elaboración propia

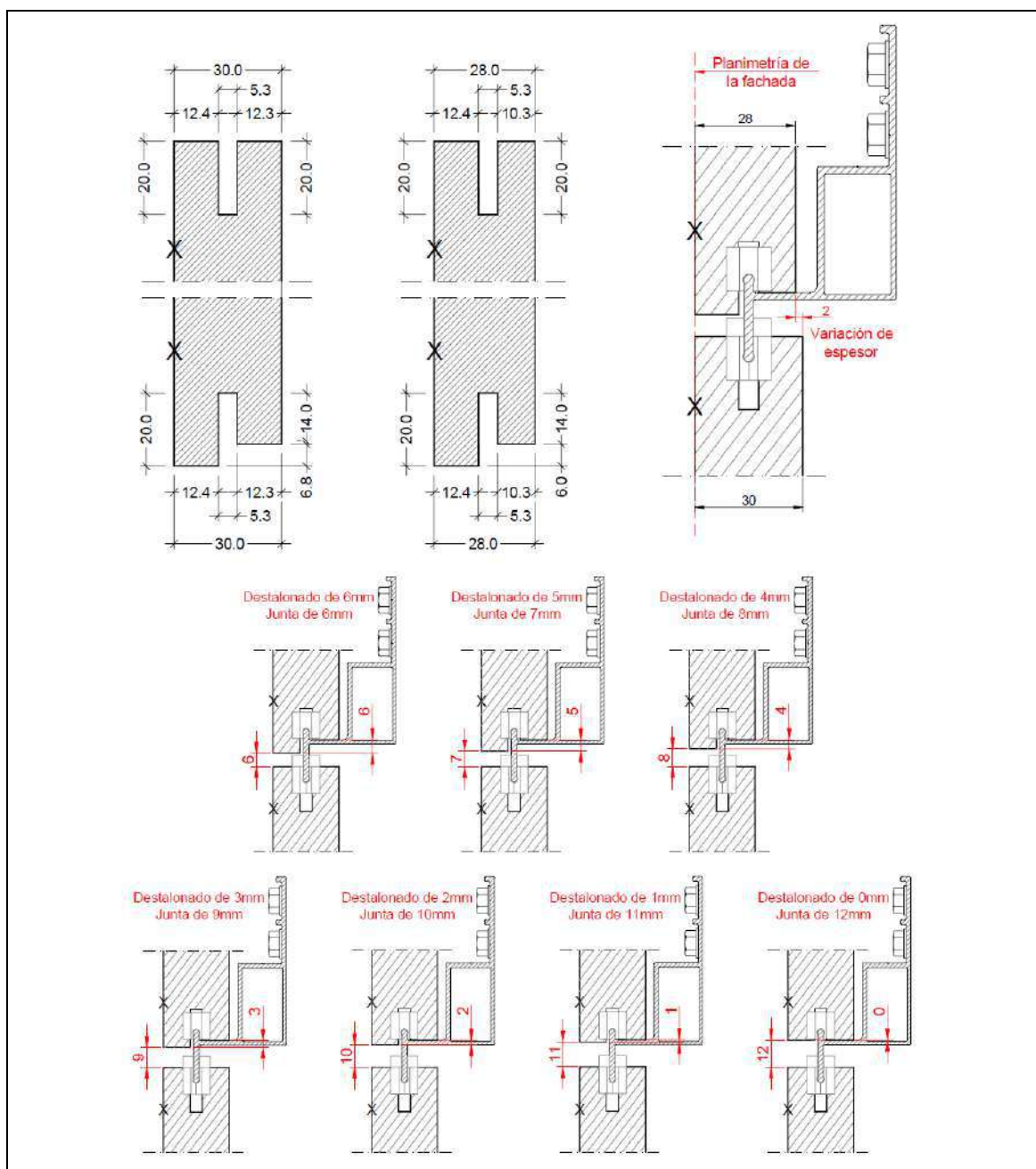


Figura 3.5. Indicaciones para la mecanización de ranuras continuas, facilitadas por Sistema Masa.

### 3.5.2. CONDICIONANTES HISTÓRICO – SOCIO – CULTURALES

A la hora de elegir este material, los condicionantes históricos, sociales y culturales del contexto en el que se va a ubicar el edificio, adquieren un especial protagonismo cuando la piedra natural forma parte de la memoria histórica del lugar. Su utilización juega un papel importante en la integración con el entorno, tanto en casos de recuperación o rehabilitación de enclaves históricos, como en la construcción de nuevas edificaciones o en la intervención sobre paisajes culturales o edificaciones preexistentes.

La arquitectura, por su condición de nueva construcción, modifica de algún modo el contexto en el que se integra. A veces puede contribuir a mejorar el espacio urbano con edificios que, además de integrarse, puedan mejorar las condiciones funcionales y sostenibles. La integración armónica de un edificio dependerá de las relaciones que se establezcan entre este y los elementos que le rodean. En algunos casos las relaciones se deben a condiciones físicas o urbanísticas. En otros casos, serán condiciones propias del material a utilizar y del volumen del edificio. Estas relaciones también pueden deberse a cualidades intangibles, como las derivadas de la relación entre el edificio y los usuarios. En estos casos entran juego relaciones históricas, sociales y culturales que, pese a pasar desapercibidas, tienen mucha importancia para la integración de la edificación.

Uno de los criterios al que se suele recurrir en estos casos es el arraigo, es decir, que el nuevo edificio utilice los elementos que son más comunes en su entorno. El ejemplo más inmediato y evidente es la utilización de piedra del lugar. Estamos acostumbrados a identificar pueblos, zonas e incluso ciudades en las que se un determinado tipo de piedra se repite en muchas fachadas, al ser una piedra disponible en yacimientos cercanos. Algunas muestras representativas son la caliza de Campaspero en la provincia de Valladolid, la pizarra de la comarca de Aliste en la provincia de Zamora, el mármol blanco macael de Almería o el granito gallego. Otro ejemplo del arraigo es recurrir a aspectos relacionados con técnicas o costumbres del lugar, ya sea técnicas constructivas u otras tradiciones en dicha región, ciudad o municipio relacionadas con la piedra natural.

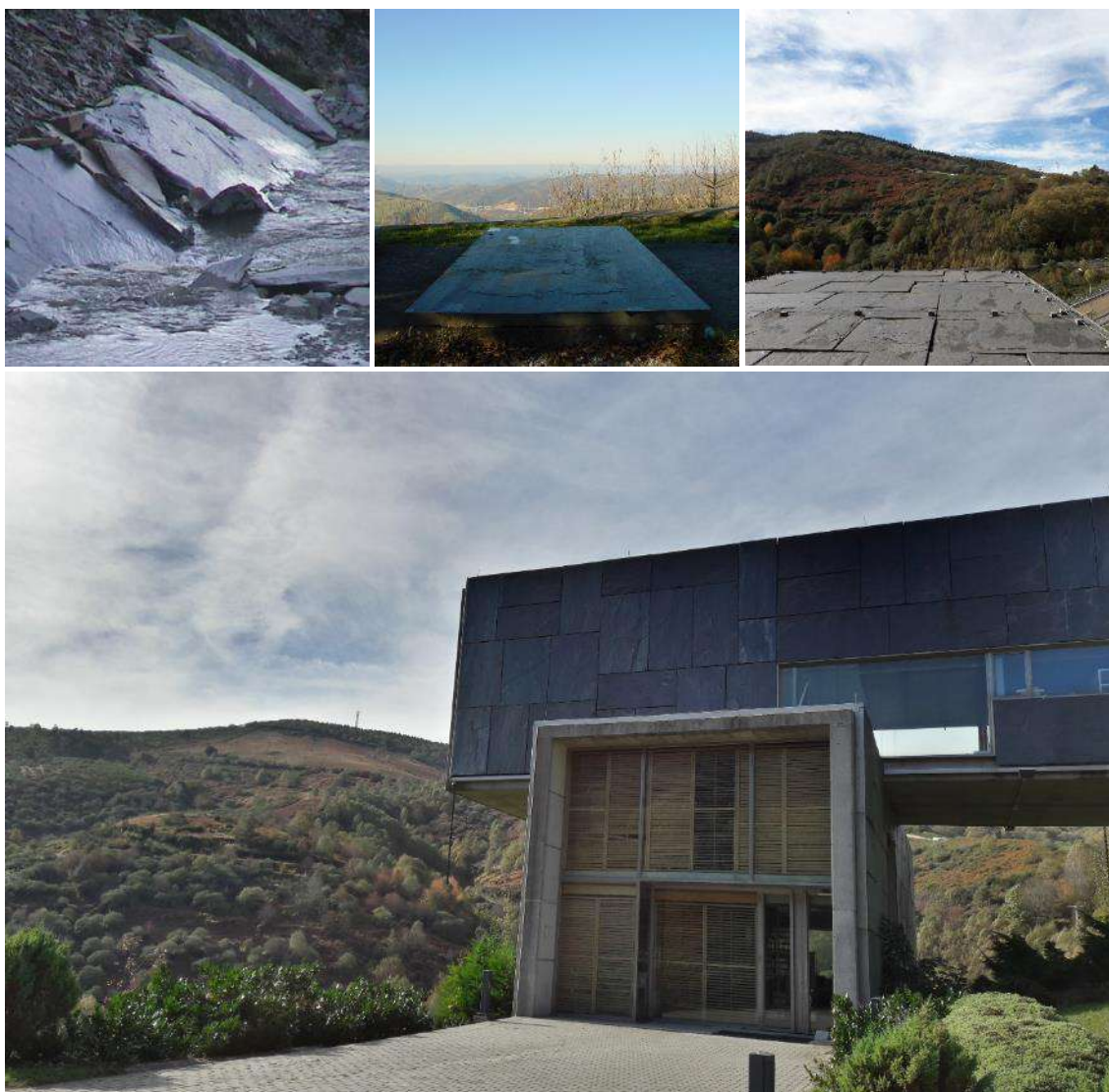
Otro recurso habitual para la integración con el entorno es la utilización de un determinado despiece que hace alusión o reinterpreta técnicas constructivas concretas o despieces históricos o tradicionales en las edificaciones del entorno.

En relación con la integración en el entorno natural, el concepto de la piedra está ligado al de la inalterabilidad y a la permanencia en el tiempo, inevitablemente vinculado al paisaje y a la naturaleza. Además de cuestiones bioclimáticas de diseño y de aprovechamiento de recursos, se busca que la forma y volumen del edificio sea funcional y totalmente integrado con el entorno, de tal manera que se perciba como parte integrante del conjunto. Los recursos más habituales en estos casos consisten en entablar un diálogo con el entorno y formar parte de su identidad, crear una armonía.

En muchos casos se recurre a una combinación de varias de las estrategias mencionadas. A continuación se repasan a través del análisis de varios ejemplos concretos. Los casos mostrados, excepto la Ópera de Oslo, han sido visitados para observar el contexto y alcance de las características planteadas.

Centro de Control de los Túneles de Piedrafita (Lugo, 2001-2002). El arquitecto coruñés Arturo Franco Taboada apostó por la pizarra gallega como aspecto simbólico en referencia a las piedras utilizadas en el Cebreiro para para tumbas en camposantos. Destacan las siguientes estrategias:

- Herencia ideológica: la proximidad al antiguo santuario del Cebreiro, punto de peregrinación en la ruta del camino de Santiago, influyó en la concepción del proyecto. Se utilizan grandes placas de pizarra en recuerdo a las grandes losas utilizadas y veneradas por los paisanos del lugar para las tumbas en el viejo camposanto del Cebreiro.
- Piedra del lugar: placas de piedra en gran formato y acabado natural
- Despiece: utilización de placas en distintos formatos dispuestos en una combinación que se asemeja a losas cogidas del suelo e instaladas en la fachada sin modificarlas. Además, la diferencia en cuanto a tamaños entre placas se ha debido a las dimensiones máximas posibles en función de los bloques extraídos, de tal manera que se intenta desperdiciar el mínimo material.



Figuras 3.6 (arriba izquierda). Cantera. Cedida por Arturo Franco Taboada.

Figura 3.7 (arriba centro). Tumba en el camposanto del Cebreiro. Cedida por Arturo Franco Taboada.

Figuras 3.8, 3.9. Centro de Control de los Túneles de Piedrafita. Fotografías de la autora.



Centro Municipal de Exposiciones y Congresos de Ávila (Francisco Mangado, 2005-2009). El entorno y la proximidad de la muralla condicionan la configuración, despiece y volumetría del edificio. El condicionante topográfico del suelo y el paisaje, rodeado de granito, han prestado las referencias necesarias como hilo conductor. Destacan las siguientes estrategias:

- Tipo de piedra: granito en tonos tierra y anaranjado que respecta las tonalidades de los granitos grises y ocres utilizados en la construcción de la muralla.
- Despiece: se utiliza un despiece a base de placas de granito de anchura variables, dispuestas con juntas horizontales continuas y juntas verticales discontinuas, influenciado por la técnica constructiva de la muralla medieval.
- Integración con el entorno: los distintos volúmenes del edificio y el juego de llenos y vacíos generan una densidad topográfica que recuerda a la mineralogía y topografía que definen el paisaje y simulan ser rocas de granito que emergen del suelo y miran frente a frente al trazado de la muralla.



Figuras 3.10, 3.11 y 3.12. Centro Municipal de Exposiciones y Congresos de Ávila. Fotografías de la autora.

Nuevo edificio de la Diputación de Zamora (María Antonia Fernández Nieto y Pilar Peña Tarancón, 2011). La concepción ideológica del proyecto gira en torno a la implantación en un entorno histórico en el centro de la ciudad, la plaza de Viriato. Para encajar en esta localización, el edificio se configura como una cuarta fachada para la plaza, completando el conjunto formado por el Hospital de la Encarnación, el Teatro Ramos Carrión y el Palacio de los Condes de Alba y Aliste. Destacan las siguientes estrategias:

- Piedra de la zona: piedra arenisca de canteras de la zona, obtenida de las mismas canteras que las de los edificios contiguos. Esta piedra presenta una tonalidad muy característica con combinación de colores ocres, terrosos, anaranjados y ferrosos.
- Integración con el entorno: la integración con el entorno de la plaza se resuelve mediante la utilización de una fachada de arenisca que cierra la plaza y al mismo tiempo permite que conecte visualmente con un patio interior, al que se orientan los espacios que necesitan una mayor iluminación. El edificio completa el entorno de una forma respetuosa y armoniosa, utilizando un volumen sencillo y dejando el protagonismo a la tremenda expresividad de la fachada.



Figura 3.13. Nuevo edificio de la Diputación de Zamora. Fotografías de la autora.

Figura 3.14. Nuevo edificio de la Diputación de Zamora. Cedida por Ángel L. Gallego.

Edificio Domus en La Coruña (Arata Isozaki y César Portela, 1995). Despiece a base de placas de pizarra verde solapadas, que hace referencia a las texturas marinas, y un volumen curvilíneo según una línea clozoide que recuerda a una ola y da la impresión de estar afectada por los vientos oceánicos. Destacan las siguientes estrategias:

- Piedra de la zona: pizarra verde de canteras gallegas.
- Despiece: referencias y alusiones marinas.
- Integración con el entorno: el edificio resuelve, por un lado, su posicionamiento elevado frente al mar, que es visto desde todos los puntos de la bahía. Por otro lado, resuelve el macizo rocoso del que emerge, así como la integración armoniosa con la ciudad, con la que se encuentra por su parte trasera.



Figura 3.15 y 3.16. Museo Domus. Fotografías de la autora.

Centro de interpretación de Arte Rupestre, Pontevedra (RVR arquitectos, 2009). El edificio se integra en un escenario natural dentro de un área arqueológica y forma con ella un proyecto unitario de intervención en el paisaje, encaminado a la recuperación de toda el área y a la comprensión de la relación simbólica y topológica de los grupos de gravados con el territorio en que se ubican. Destacan las siguientes estrategias:

- Piedra de la zona: granito gris de canteras gallegas.
- Despiece: el despiece con solapes en distinta orientación en función de la orientación de la fachada se ha seleccionado teniendo en cuenta la climatología de la zona y los vientos predominantes.
- Integración con el entorno: el edificio se implanta interpretando el paisaje y respetando la vegetación existente con la voluntad de formar parte del espacio natural.

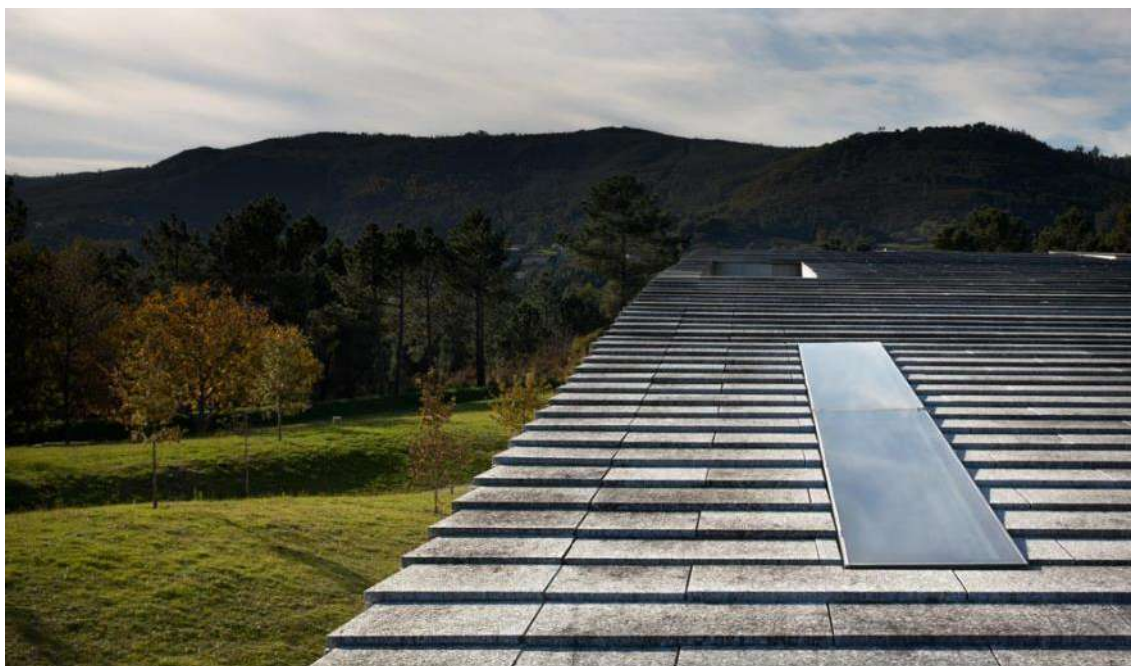


Figura 3.17 (arriba). Centro de interpretación de Arte Rupestre. Fotografía de Aitor Muñoz. <https://veredes.es/blog/parque-y-centro-interpretacion-del-arte-rupestre-rvr-arquitectos/> (Consulta el 03.11.2016)

Figura 3.18 (abajo). Centro de interpretación de Arte Rupestre. Fotografía de la autora.

Centro de Recepción de Visitantes del conjunto arqueológico de Baelo-Claudia (Ensenada de Bolonia, Tarifa, Cádiz, Guillermo Vázquez Consuegra, 2003-2007). Tiene una localización privilegiada, entre el mar y la tierra. Se dispone en una zona elevada del paisaje, a extramuros del yacimiento y frente al mar. Por tanto, se parte de la idea que desde esta posición estratégica el edificio ve y es visto. Destacan las siguientes estrategias:

- Piedra: se utilizan grandes placas de travertino, cuyo color y las marcadas vetas que simulan ser grietas, se relacionan con la ruina junto a la que se asienta.
- Integración con el entorno: el edificio se integra con el entorno resolviendo su implantación y la unión con el resto de los elementos de la ruina de una forma solemne y respetuosa. Como el autor lo define se entiende el edificio como una puerta a otro tiempo.



Figura 3.19 (arriba). Fotografía de Vázquez Consuegra. <https://www.vazquezconsuegra.com/centro-de-recepcion-de-visitantes-del-conjunto-arqueologico-de-baelo-claudia/> (Consulta el 10.08.2019)

Figura 3.20 (abajo). Centro de Recepción de Visitantes del conjunto arqueológico de Baelo-Claudia. Fotografía de la autora.

Ópera en Oslo (Snøhetta, 2008). Busca convertirse en un hito en la ciudad mediante la interpretación de su relación con el entorno y la creación de nuevos espacios públicos que conectan la ciudad con el mar. El edificio se plantea como un gran espacio público que se hunde en el mar, logrando una interesante relación y continuidad con el paisaje. Destacan las siguientes estrategias:

- Piedra: se ha utilizado una piedra blanca que recuerda a la nieve que cada año cubre la plaza y cubiertas accesibles del edificio.
- Integración con el entorno: el edificio es parte de la estrategia de revitalización de la ciudad para convertir un espacio industrial en un nuevo espacio público enfocado al uso de la población, que crea un enlace visual entre varias zonas de la ciudad. La integración con el entorno se resuelve convirtiéndose en el vínculo entre la ciudad y el mar, de tal manera que el edificio es arquitectura, espacio público y paisaje al mismo tiempo.



Figura 3.21. Ópera de Oslo. Fotografía de Snøhetta. <https://snøhetta.com/project/42-norwegian-national-opera-and-ballet> (Consulta el 19.05.2017)

### 3.5.3. CONDICIONANTES ESTÉTICOS Y SENSORIALES

Otra característica singular de la piedra, derivada de su condición de material natural obtenido directamente de la tierra, es su heterogeneidad. En términos sensitivos y sensoriales esta singularidad aporta numerosas posibilidades al proyectista para enfatizar la idea de proyecto. Las distintas opciones pueden clasificarse en estrategias intrínsecas, cuando derivan de características propias de la piedra utilizada, y extrínsecas cuando dependen de la forma en la que utilizamos la piedra.

#### ESTRATEGIAS INTRÍNSECAS

Las estrategias proyectuales relacionadas con los rasgos intrínsecos y distintivos de la piedra natural se centran en 3 aspectos principales: color, poros / vetas y textura / acabado superficial. Las posibilidades, por tanto, son tan amplias como las muchas variedades de piedra disponibles. Se muestran a continuación algunos ejemplos revisados.

Biblioteca pública de Boston (Machado y Silvetti Asociados, 1998-2001): la tonalidad y las vetas de las placas de piedra juegan un papel protagonista en la percepción de la fachada. Se utiliza una pizarra de Vermont con un llamativo color heterogéneo en la que destacan tonalidades púrpuras, rojizas y ocre. El acabado natural de las placas enfatiza aún más la belleza de material al dejar a la vista los estratos naturales sobre su superficie.

Ampliación de la Staatsgalerie en Stuttgart (James Stirling y 1979-1983): se combinan bandas de placas de mármol travertino y arenisca. Pese a ser de la misma familia cromática, la diferencia de color entre materiales acentúa la disposición del despiece en hiladas horizontales, enfatizado aún más por la diferencia de textura vetada del travertino frente a la textura uniforme de la arenisca.

Palacio de Festivales de Santander (Francisco Javier Saénz de Oiza, 1987-1991): se proyectaron inicialmente bandas de mármol y hormigón prefabricado, aunque, a petición del Ayuntamiento de Santander, fueron sustituidas por mármol blanco Macael y piedra caliza de textura gruesa (Bermejo Lorenzo, 2016). La tonalidad de este mármol, que presenta un característico fondo blanco con vetas claras grises, contrasta con el color de fondo más ocre y rosado de la caliza. En ambos casos se ha utilizado el acabado pulido, que aporta brillo y una mayor definición del color.

Ciudad de la Cultura de Santiago de Compostela (Peter Eisenman, 2011): se combinan placas de caliza, pero de distinta tonalidad, de tal manera que la diferencia de color se utiliza para enfatizar distintos planos en las envolventes y crear el efecto de caminos que simulan un plano urbanístico a pequeña escala.

Edificio para la Banca de Alzate Brianza en Como (Adolfo Natalini, 1978-1983): se combinan distintos acabados, de tal manera que se utiliza la textura superficial para resaltar aún más la diferencia de tonos. Se utilizaron placas de granito de dos variedades diferentes: una de tonalidad azulada en acabado pulido, que le proporciona un acabado con brillo y resalta el subtono azul de la piedra y otra en tonalidad gris en acabado flameado mate.



Figura 3.22. Biblioteca pública de Boston. Fotografía de Machado Silvetti estudio. <http://www.machado-silvetti.com/PORTFOLIO/allston/index.php> (Consulta el 10.05.2016)





Figura 3.23 (arriba). Ampliación de la Staatsgalerie. Fotografía de Hendrik-Bohle. <https://thelink.berlin/2018/10/stuttgart-architektur-hauptbahnhof-tagblatturm-steigenberger-graf-zeppelin-rathaus-liederhalle-staatsgalerie-kunstmuseum-stadtbibliothek-dorotheenquartier-schmohl-stoherer-gutbrod-behnisch-stirling-yi/> (Consulta el 12.02.2021)

Figura 3.24 (abajo). Palacio de Festivales en Santander. Fotografía de la autora

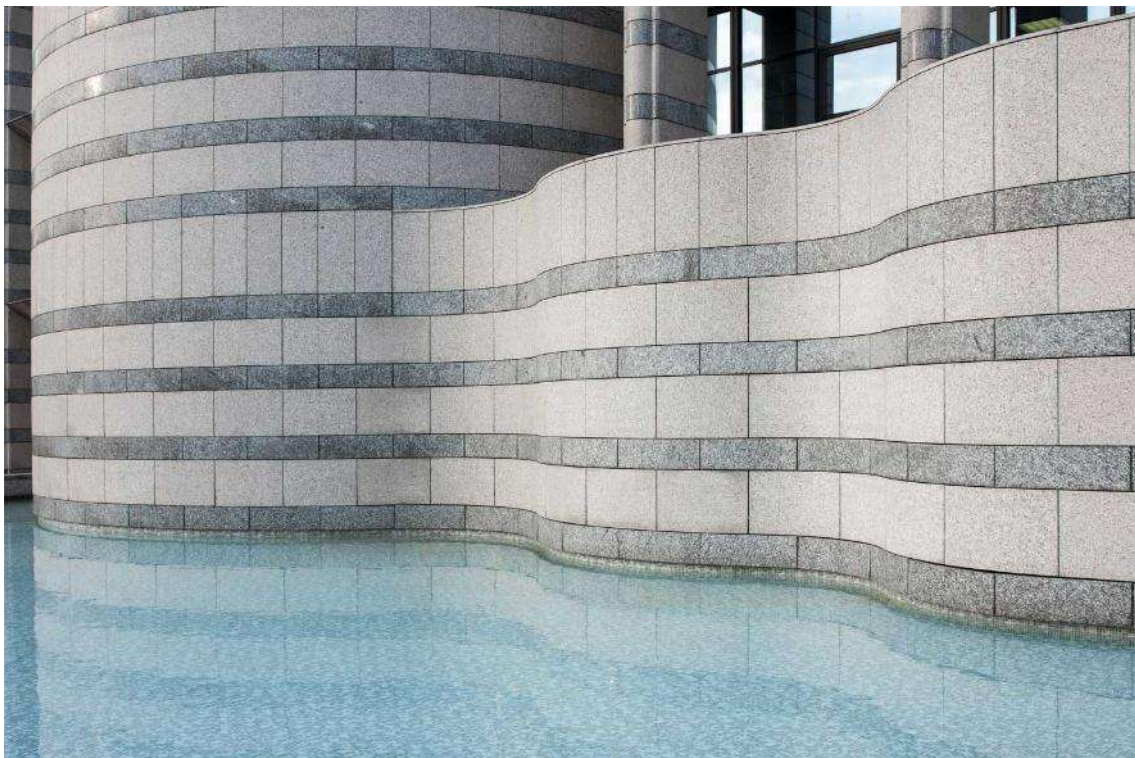


Figura 3.25 (arriba). Ciudad de la Cultura de Santiago de Compostela. Fotografía de la autora  
Figura 3.26 (abajo). Edificio para la boca de Alzate Brianza. Fotografía de Nessi & Majocchi.  
<https://www.nessimajocchi.it/realizzazioni/banche/item/163-cassa-rurale-alta-brianza>. (Consulta el 21.03.2020)

## ESTRATEGIAS EXTRÍNSECAS

Las características extrínsecas son muy amplias, ya que van a depender de la manera en la que utilizemos y coloquemos las placas de piedra. Dentro de la amplia variedad podemos clasificarlas en dos grandes grupos. Por un lado, aprovechando los recursos naturales, por ejemplo, el efecto producido por la incidencia de la luz sobre la superficie del material. Esta característica suele ir ligada a la elección de la textura o acabado vista anteriormente, ya que el efecto va a ser muy diferente sobre una textura natural o sobre una superficie pulida. También será diferente el efecto de la radiación solar dependiendo del color de las placas. Algunas placas tienen una tonalidad, debido a su composición, que produce efectos diferentes dependiendo de la forma en que la luz incide sobre ella.

En el edificio conocido como Torre Triana la propia existencia de vetas irregulares en las placas aporta diferentes percepciones de color, dando la sensación de que se trata de diferentes materiales. Además, la fuerte radiación solar en la ciudad de Sevilla provoca un efecto muy bello en el mármol vetado de la fachada, que se torna de un color dorado.

Otro aspecto a tener en cuenta es el efecto que produce la humedad en las placas y el agua de lluvia, habitualmente considerada como el mayor agente de alteración de la piedra, y que provoca cambios en su tonalidad. En este sentido podemos destacar varias situaciones. Mientras llueve, cuando se trabaja con placas pulidas, se puede dar el caso de que se produzca un aumento del brillo similar a un efecto espejo. En acabados mates, por el contrario, la placa se torna más apagada. En las placas con poros abiertos se va a distinguir más el cambio de color y el oscurecimiento. En algunos casos, la humedad puede generar unas marcas de distinta tonalidad en las zonas ocupadas por los anclajes.

En un ambiente normal, una vez se seca la placa, recupera su tono habitual. En ambientes húmedos o con placas porosas, en cambio, se van acumulando ligeros cambios de color que empeoran con el tiempo. Aunque un cambio de tono con el paso del tiempo es normal en todos los revestimientos de piedra, en localizaciones como Galicia estas diferencias se producen de una forma mucho más rápida y acusada, llegando a verse cambios significativos en pocos años.

En el edificio de Formación de Nuevas Tecnologías en Santiago de Compostela (Francisco Mangado, 2004-2008), por ejemplo, la exposición continuada a una climatología húmeda ha provocado un cambio de color en las placas de granito ocre de la fachada, apreciándose una evidente diferencia de color entre las placas expuestas y no expuestas. Para conservar y recuperar la tonalidad se requieren trabajos periódicos de limpieza y mantenimiento.

También la contaminación atmosférica en áreas urbanas y la aparición de microorganismos vivos provocan alteraciones o cambios de color en las placas.

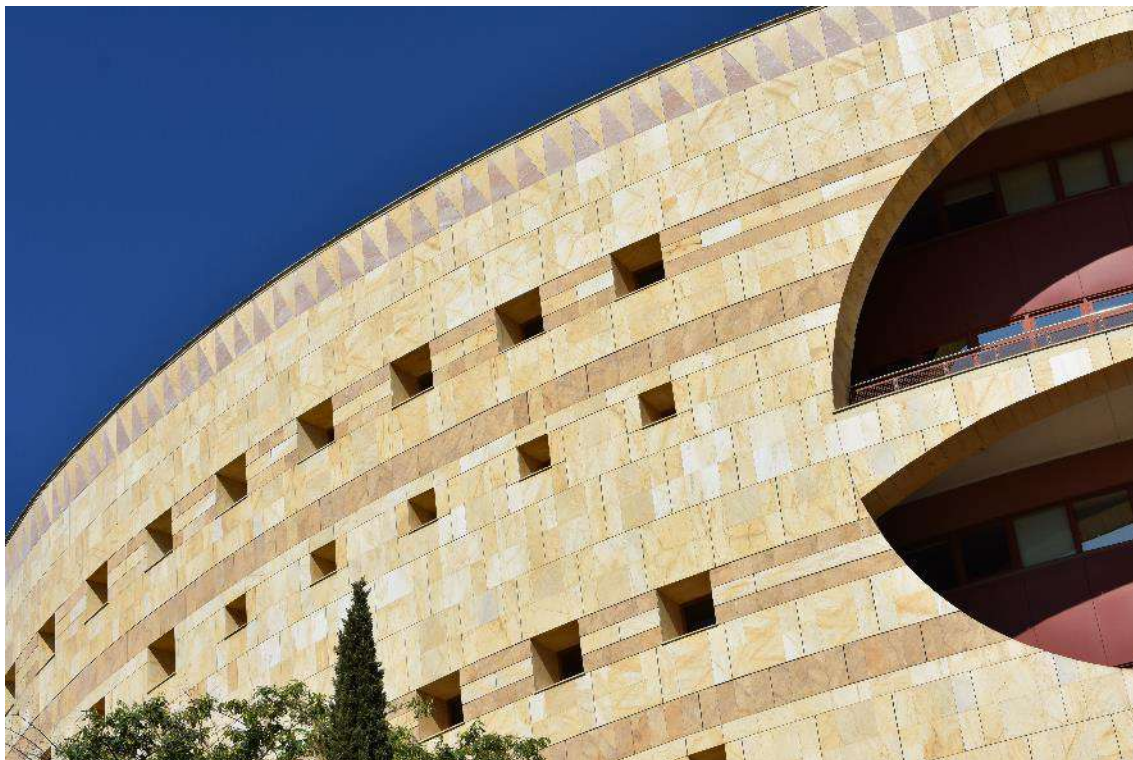


Figura 3.27 (arriba). Torre Triana. Fotografía de la autora

Figura 3.28 (abajo). Edificio de nuevas Tecnologías en Santiago de Compostela. Fotografía de la autora



Figuras 3.29 y 3.30. Museo Domus. Imágenes tomadas a distintas horas del día. Fotografías de la autora

Por otro lado, la forma en la que se resuelven la juntas entre placas y su relación con el despiece de la fachada influyen en la manera en que la percibimos. Al trabajar con una junta abierta partimos de la base de que se va a distinguir como una línea oscura o una sombra. En función de sus dimensiones y de la distancia desde la que miremos al edificio se van a percibir en mayor o menor medida.

El diseño de juntas puede formar parte de la idea de proyecto mediante la combinación de juntas de distintos espesores. En estos casos, la anchura de las juntas en la que se ubiquen los anclajes o grapas vendrá determinada por la anchura de estos, mientras que aquellas en las que no hay anclajes tienen una mayor libertad, pudiendo ir colocadas a junta mínima con efecto de casi a hueso hasta juntas anchas que den un mayor efecto de profundidad.

La combinación de juntas con distintos espesores va a definir la forma en que se lee la composición general de la fachada, destacando líneas, secciones y direcciones visuales. Cuando se utiliza el recurso de juntas más anchas se puede recurrir al lacado de la perfilera en color negro para evitar que la perfilera brille y sea vista desde el exterior. En ocasiones se busca incorporar un elemento vertical en las juntas verticales para conseguir un efecto de elemento separador que enfatiza más la idea de bandas. Se puede lograr este efecto utilizando dos perfiles de montantes entre los que se fija la pletina vertical.

En algunos casos en los que se quiere utilizar una junta excesivamente ancha, que no sería recomendable por la exposición a la entrada de agua, se puede utilizar el recurso de la junta destalonada en el canto, de tal manera que la junta de contorno se percibe con un ancho superior al real. Otro recurso es la utilización de una junta falsa, es decir, mediante un rebaje en la placa, o bien en el interior de la placa. En estos casos el rebaje no puede ser muy profundo para evitar generar puntos débiles en la placa. En general, no se recomienda dejar espesores mínimos en la placa inferiores a 2,5 centímetros. Esta estrategia no debe utilizarse en todas las variedades de piedra, queda reservada a las que tienen mayor compacidad, fundamentalmente granitos. Otro recurso utilizado en varios ejemplos es la disposición de placas de forma solapada, de tal manera que el cambio de plano genera una sombra más marcada.

Otro grupo de estrategias entraría dentro de lo que denominamos la resolución de puntos singulares, fundamentalmente esquinas y cambios de plano. La manera en que se resuelva la fijación de estas placas va a incluir en la percepción de pesadez o ligereza de la fachada. En función de la idea de proyecto se tiende a dejar el canto de la piedra visto o a ocultar su verdadero espesor. Al igual que sucede con las esquinas, la resolución de los encuentros con huecos o carpinterías, el encuentro con falsos techos o los remates superior e inferior, admiten una amplia variedad de posibilidades que el proyectista puede valorar para que todos los aspectos vayan focalizados en la misma línea ideológica.

En relación con el despiece podemos hablar del formato de las placas (dimensiones y espesor) y de la posición entre ellas, además de los distintos efectos producidos por la selección del espesor de las placas y la posibilidad de mostrar u ocultar dicho espesor. La manera en la que utilizemos el despiece, por otro lado, tiene la capacidad de crear juegos visuales que engañen al visitante, abriéndose un campo prácticamente infinito de posibilidades en manos de la habilidad del arquitecto para crear sensaciones.

Se indican a continuación algunos ejemplos revisados.

Ampliación de la Staatsgalerie en Stuttgart y Universidad de Cornell en Ithaca (James Stirling y Michael Wilford, 1983-1988): se utilizan juntas muy pronunciadas que dibujan una sombra negra muy marcada y definida. La sensación que provoca en el espectador es de ligereza y suspensión de las placas.

Arco de La Defensa en París (1985-1989): el despiece se basa en el concepto de jerarquía visual. Las juntas más anchas van a ser más visibles y van a crear una línea más definida. Las juntas más estrechas, en cambio, pasan más desapercibidas al espectador.

Torre en memoria de John Hejduk en Santiago de Compostela (Antonio Sanmartín y Elena Cánovas, 2002-2003): se utiliza una solución de juntas falsas para crear la impresión de que todas las placas tienen la misma dimensión y posición.

Museo de Arte Moderno de Viena, Mumok (Ortner & Ortner, 2001): se juega con juntas falsas a varias profundidades. Cada una de las grandes placas que componen la fachada presenta varias juntas en dirección vertical simulando la utilización de numerosas placas de poca anchura.

Centro cultural Kyushu Geibunkan en Fukuoka, Japón (Kengo kuma, 2008-2012) dispone las placas de piedra en varias posiciones no paralelas al plano del soporte, de tal manera que generan distintas sombras entre sí, creando un efecto de fachada fluida que recuerda a los juegos de origami.

Edificio para el Nuevo Parlamento de Malta (Renzo Piano, 2007-2015): las placas irregulares de piedra caliza se obtienen a partir de un bloque al que se practica varios cortes, y proporcionan funciones añadidas de control de soleamiento a la fachada. La forma de las piezas se diseñó teniendo en cuenta la orientación de la luz solar más desfavorable. Las fachadas con elementos solapados o salientes tienen la característica añadida de ser cambiantes, ya que la sombra va a variar en función de la hora del día, produciendo distintos efectos sobre la superficie de la fachada.

Centro de salud en Monterroso (Ábalo Alonso arquitectos, 2013): las fijaciones vistas suelen ser elementos diseñados de tal manera que pasen desapercibidos al ojo del espectador. Pero en algunos casos como en este ejemplo, se busca precisamente el efecto contrario, potenciar la presencia de estos elementos. En algunos casos el elemento visto de los anclajes se convierte, además, en elemento principal del diseño al generar un ritmo visual que se repite de forma periódica o aparentemente aleatoria. Estas soluciones, que generan una cierta imagen industrial y tecnológica del conjunto, son habituales en placas que no admiten mecanizado, como pizarra o algunas cuarcitas.

Centro Gallego de Arte Contemporáneo, CGAC (Santiago de Compostela, 1993): los remates inferiores se resuelven con dinteles a base de vigas de acero estructural con secciones en L invertida o en C que ocultan el canto de las placas de piedra. En las esquinas también se esconde el espesor de las placas. Esta solución interesante utiliza el doble juego de la pesadez y la ligereza creando una confusión en el espectador, que no tiene claro el espesor de las placas.

Cuando se quiere ocultar el espesor de las placas se suele recurrir a una corte en forma de inglete en las placas de borde, de tal manera que se genera una imagen de continuidad. En algunos casos se ha recurrido a bloques vaciados para crear esquinas continuas con apariencia de bloque. Esta solución, no obstante, ha resultado tener un mal comportamiento al generarse tensiones en la placa en direcciones opuestas, por

lo que su uso en la actualidad no es habitual. En otros casos la esquina se resuelve con un perfil metálico o de otro material de tal manera que se genera un aspecto de planos independientes.

Mumok (Ortner & Ortner, 2001): cada una de las placas tiene una altura mayor respecto a la placa inferior, creando el efecto óptico en el que se invierte la perspectiva natural dando la sensación de una fachada curva, aspecto que se enfatiza aún más con las piezas curvas empleadas en las esquinas.

Centro de las Artes de Sines (Aires Mateus, 2001-2005): la fachada hacia la parte moderna de la ciudad se presenta como una superficie con huecos mínimos y con un despiece que aporta un enorme peso y densidad al conjunto.

Museo Jumex (David Chipperfield, 2013): la elevación del plano de fachada hasta planta primera, junto con la incorporación de cambios de plano salientes a medida que asciende el edificio y el singular encuentro dentado con la cubierta para incorporar lucernarios, consigue convertir al edificio en una pieza escultórica de piedra.



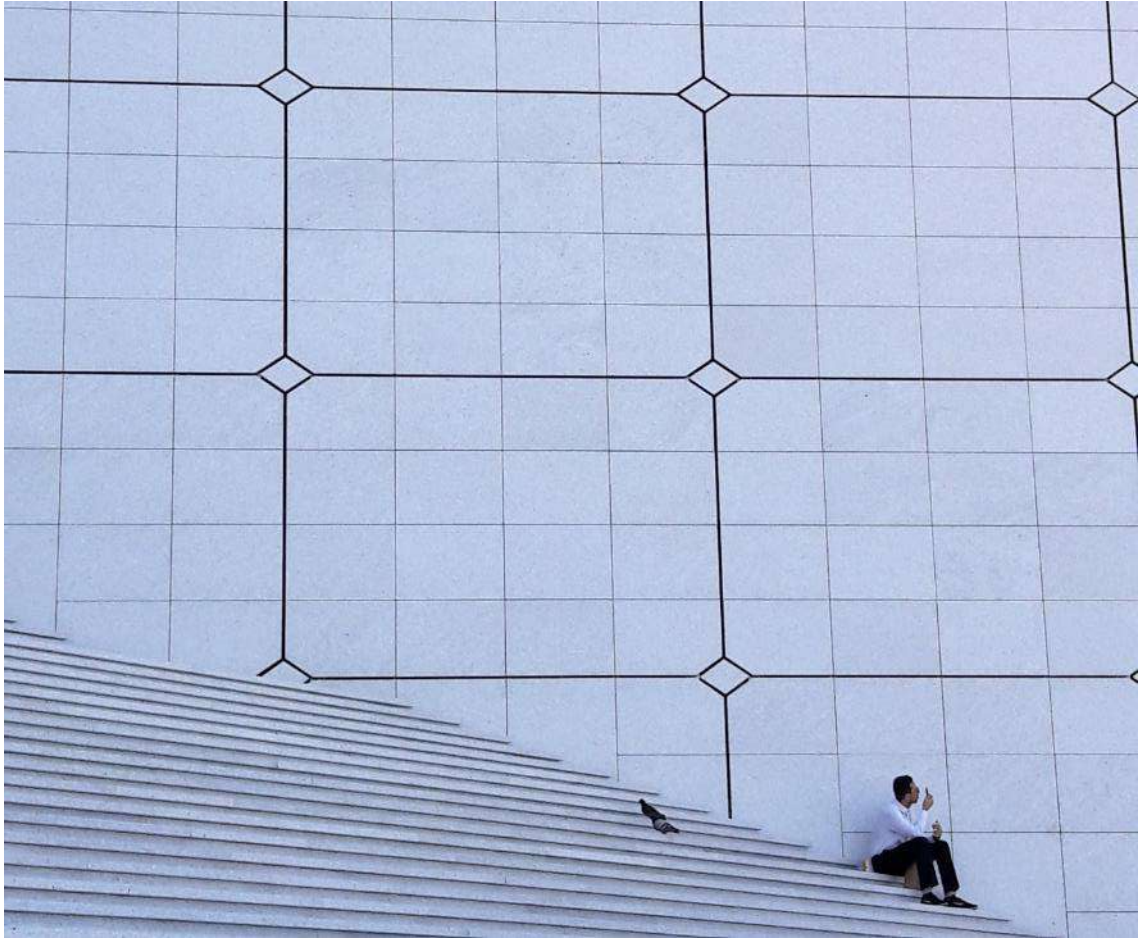


Figura 3.31 (arriba). Arco de la Defensa. Juntas de distintos grosores. Fotografía de la autora  
Figura 3.32 (abajo). Torre en memoria de John Hejduk. Juntas falsas. Fotografía de la autora



Figura 3.33 (arriba). Teatro Auditorio de San Lorenzo de El Escorial. Fotografía de la autora

Figura 3.34 (abajo). Museo de Almería. Juntas con perfiles que delimitan secciones. Fotografía Luis Asín.  
<https://archello.com/es/project/archaeology-museum-in-almeria> (consultado el 24.10.2017)



Figura 3.35 (arriba) Centro de interpretación de Arte Rupestre. Placas solapadas. Fotografía de la autora

Figura 3.36 (abajo). Centro Cultural Kyushu Geibunkan. Placas en varios planos. Fotografía de Erieta Attali. <https://arquitecturaviva.com/obras/centro-cultural-kyushu-geibunkan> (Consulta el 06.08.2020)

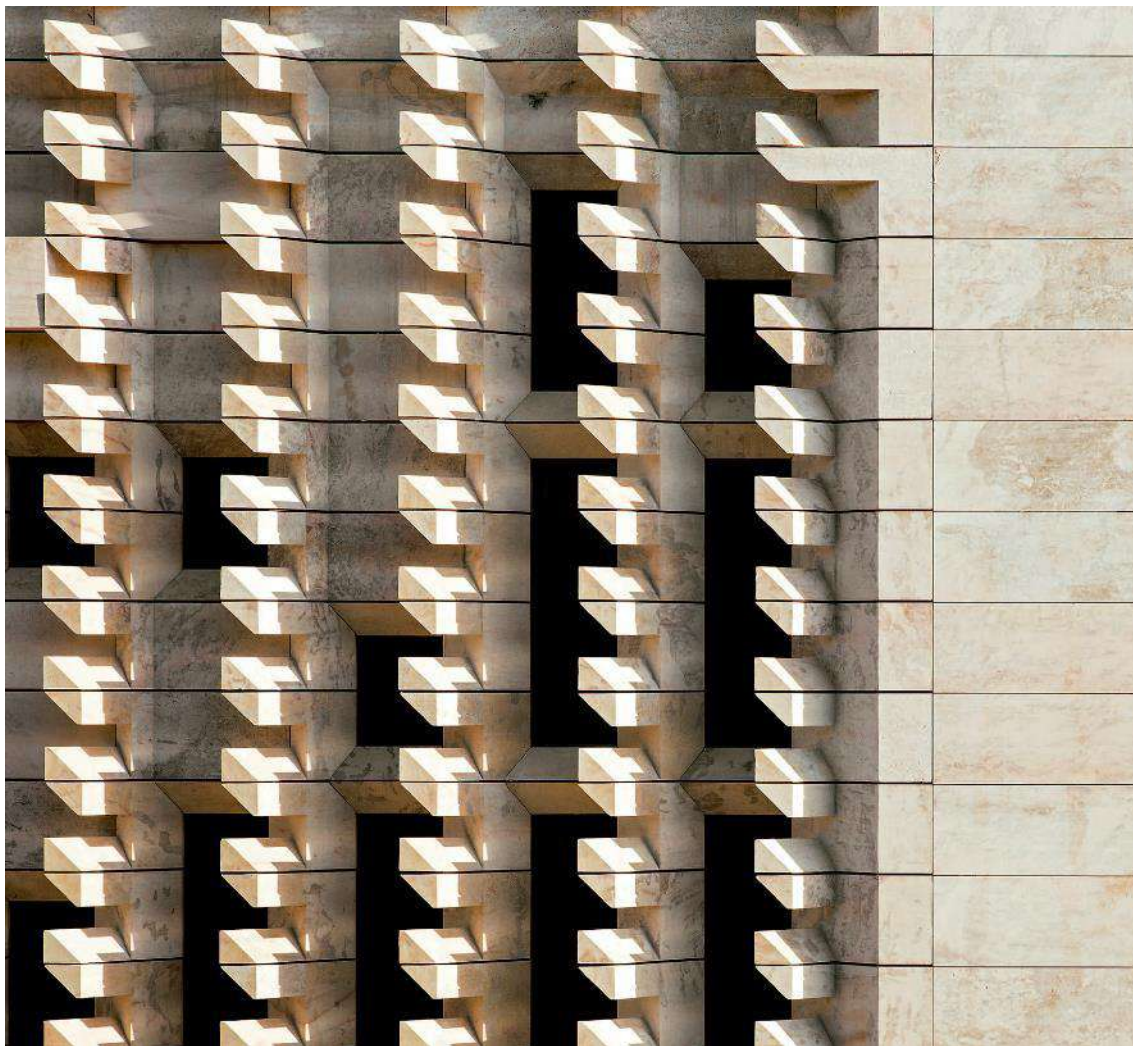


Figura 3.37 (arriba). Edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. Placas volumétricas con funciones de soleamiento. Michel Denancé. <https://arquitecturaviva.com/obras/puerta-de-la-valeta>. (Consulta el 08.09.2020)  
Figura 3.38 (abajo). Centro de salud en Monterroso. Fijaciones vistas. Fotografía de la autora



Figura 3.39 (arriba). Centro Gallego de Arte Contemporáneo. Remate inferior que juega con la dualidad entre pesadez y ligereza. Fotografía de la autora

Figura 3.40 (abajo). Sede de los Juzgados de A Coruña. Esquinas resultas con perfiles que delimitan los planos. Fotografía de la autora

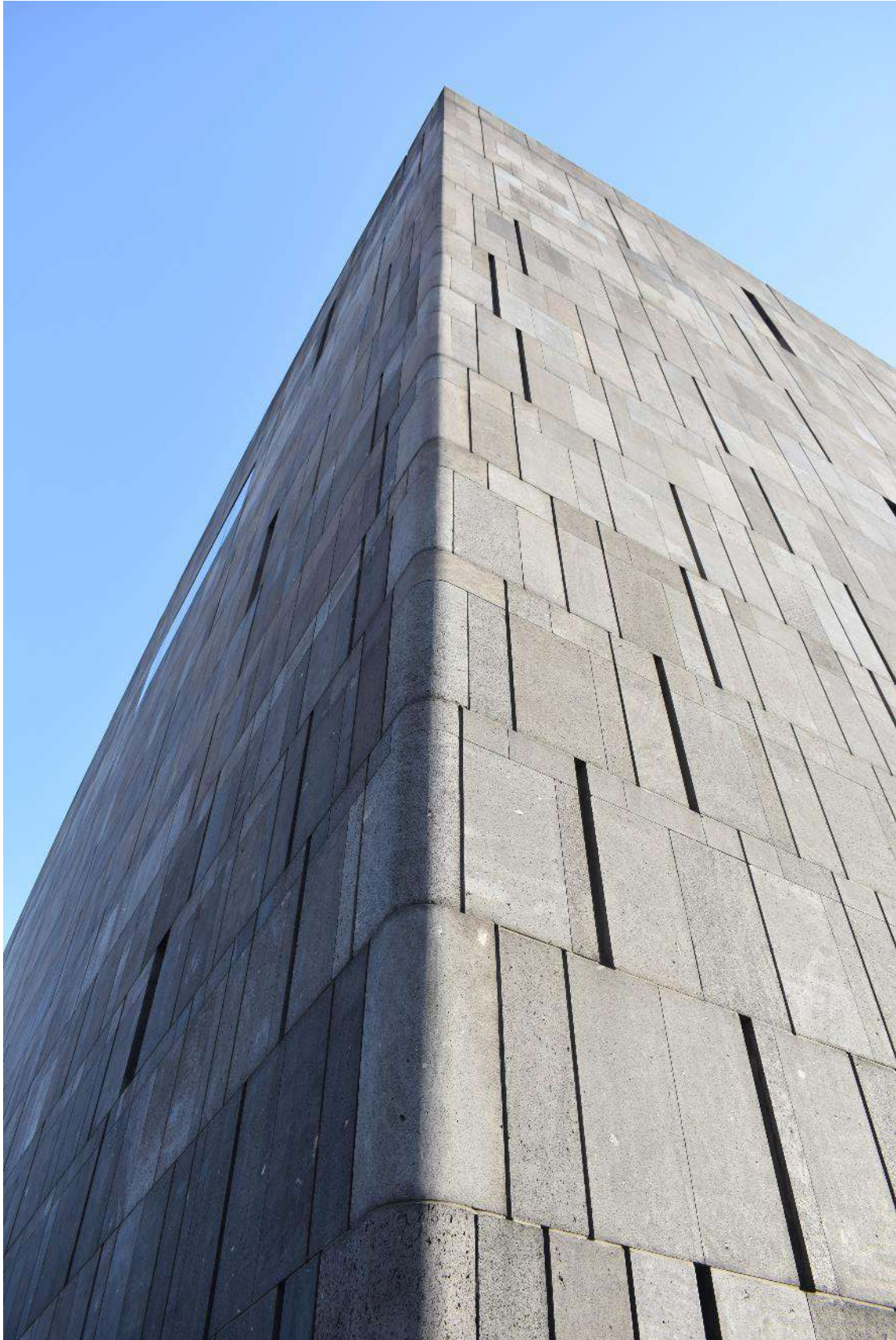


Figura 3.41. Mumok. Esquina moldeada y efecto óptico de perspectiva. Fotografía de la autora



Figura 3.42 (arriba). Centro de las Artes de Sines. Fachada que refleja pesadez y densidad. Fotografía de Daniel Malhão <https://arquitecturaviva.com/obras/centro-de-arte-sines> (Consulta el 23.02.2022)

Figura 3.43 (abajo). Museo Jumex. La fachada crea un efecto de pieza escultórica. Fotografía de Simon Menges. [https://davidchipperfield.com/project/museo\\_jumex](https://davidchipperfield.com/project/museo_jumex) (Consulta el 08.05.2020)

### 3.5.4. CONDICIONANTES FÍSICOS

#### DISTRIBUCIÓN GEOLÓGICA

En España contamos con una extraordinaria variedad geológica y una amplia distribución de yacimientos de rocas ornamentales de calidad. Sólo en Castilla y León hay más de 200 variedades. En los últimos años el sector se ha ido recuperando de la fuerte brecha derivada de la crisis en el sector de la construcción y se está produciendo un aumento en los datos de exportación a otros países.

Según datos del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, en su "Informe de Estadística minera de España", la extracción de roca ornamental está presente en la mayoría de las comunidades autónomas, pero Galicia y Castilla y León representan el 64% del valor de la producción nacional. Otras comunidades donde el peso de la extracción de ornamentales destaca sobre el resto son Comunidad Valenciana (7,6%), Extremadura (7%), Andalucía (5%) y Murcia (4,8%).

De manera genera podemos identificar las siguientes localizaciones principales.

- Granitos: predominan en Galicia, Sierra Morena Sistema Central, Ávila, Toledo y Madrid. También en puntos de Extremadura, Sevilla y Huelva.
- Mármoles: predominan en las provincias de Almería, Granada y Málaga. También en puntos de Tarragona, Valencia, Castellón y Murcia.
- Pizarras: predominan en Galicia, León, Zamora y Segovia.
- Cuarcitas: predominan en Extremadura y Sierra Morena. También en puntos de Asturias, León y Extremadura.
- Calizas: predominan en Cantabria, Asturias, Valladolid y Palencia.
- Areniscas: predominan en las provincias de Ávila, Salamanca, Zamora, Cáceres, Badajoz, Toledo y Madrid.

Para conocer con mayor exactitud la distribución de las variedades de rocas ornamentales se pueden utilizar bases de datos o cartografía geológica. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) realiza y actualiza periódicamente cartografía geológica y temática, constituyendo una plataforma de conocimiento de interés. El IGME ofrece mapas a distintas escalas, además de un visor online <https://info.igme.es/visor/?Configuracion=igme> y un mapa digital de acceso abierto desde su página web. <https://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=6f81b3f3451547879f5e274d75e351bd>

Como mapas principales el IGME actualiza las siguientes series:

- MAGNA 3ª Serie - Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (3ª Serie)
- Mapa Geológico de España a escala 1:200.000 (2ª Serie)
- Mapas geológicos a escala 1:1.000.000 e inferiores

Las búsquedas se pueden hacer por mapa de distribución o mediante la selección de hojas. También hay disponibles mapas geológicos regionales, así como de diversas temáticas.



## **IDENTIDAD Y UBICACIÓN**

Hay varias características que pueden influir en la decisión de la variedad a utilizar y que se deben tener en cuenta en función de la ubicación de proyecto. A la hora de seleccionar una u otra variante de piedra natural, se pueden destacar dos posibilidades: selección de piedra del lugar o de proximidad; y selección de piedra de procedencia lejana en base a otras cuestiones estéticas o constructivas.

Aunque esta segunda opción tiende a ser muy habitual, hay que tener en cuenta que la roca procedente de una determinada distribución geográfica tiene una identidad propia y está indiscutiblemente ligada en cuanto a propiedades, comportamiento y resistencia a dicha ubicación. Además de tener en cuenta el incremento de costes por el transporte, se debe verificar que la variedad de piedra proporcione unas características aptas para la nueva ubicación, comprobando su comportamiento en localizaciones similares. En ambientes húmedos se recomienda utilizar piedras de la zona para evitar problemas de saturación, generación excesiva de hongos o microorganismos, dilataciones excesivas o tensiones indeseadas en la placa.

## **DISPONIBILIDAD PIEDRA**

Otro aspecto importante que debe tener en cuenta el proyectista es garantizar suministro suficiente para las necesidades del proyecto. Se debe asegurar que hay suficiente disponibilidad. Pese a parecer algo evidente se han dado casos de construcciones que se quedan sin suministro a mitad de la instalación, debiendo en estos seleccionar una nueva cantera que ofrezca características similares y compatibles.

## **CARACTERÍSTICAS DE LA CANTERA**

Se debe asegurar que el tipo y variedad concreta de la piedra a utilizar es compatible con el formato de las placas que se van a utilizar. Previo a la aceptación de la piedra se debe comprobar el lecho del que procede. En algunos casos se han seleccionado canteras que por sus condiciones y característica de cara a la extracción han supuesto mayor dificultad y, por tanto, incremento del coste. En los casos en que se vayan a utilizar placas de grandes dimensiones o piezas tridimensionales se deben hacer pruebas in-situ. Es habitual que tras varios intentos de extracción se detecte que la características o vetas del rocoso no permiten obtener los formatos solicitados en proyecto. Cuando se dan estas situaciones se debe tomar la decisión de modificar el diseño del despiece o de buscar otra localización de cantera. Por este motivo, en proyectos con revestimientos muy singulares se recomienda la participación de un consultor o asesor de piedra natural.

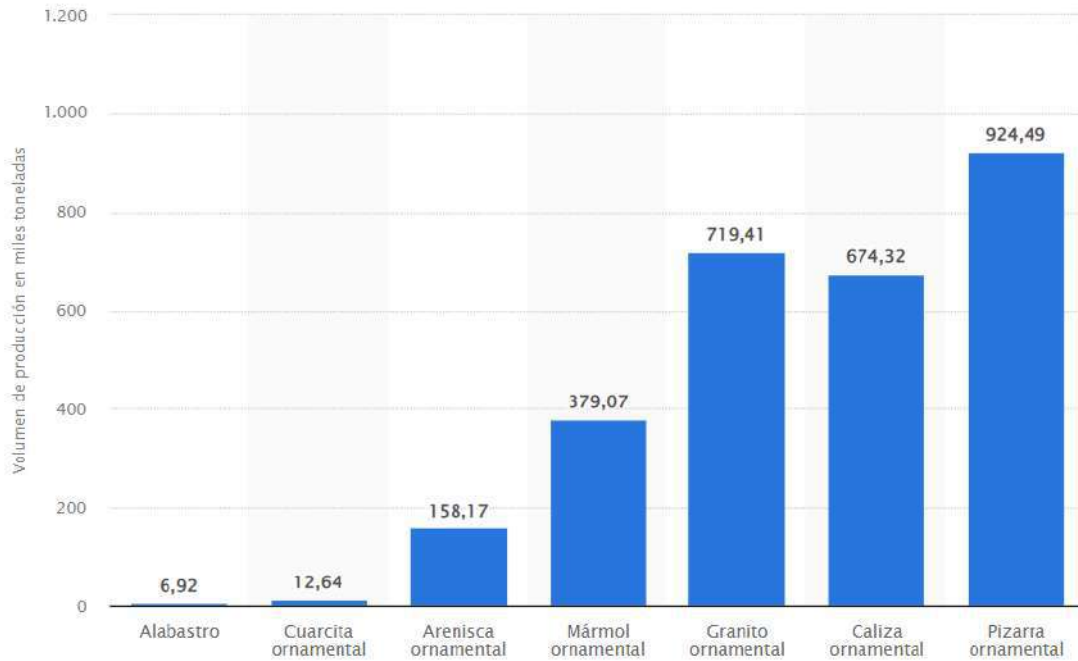


Figura 3.44 (arriba). Volumen de producción de rocas ornamentales en España en 2019, por tipo. Publicado por Statista Research Department, 29 sept 2021. <https://es.statista.com/estadisticas/884048/volumen-de-produccion-de-rocas-ornamentales-por-tipo-en-espana/>

Figura 3.45 (abajo). Distribución porcentual del valor de la producción minera por comunidades autónomas. Informe "Estadística minero de España". Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, p.15.

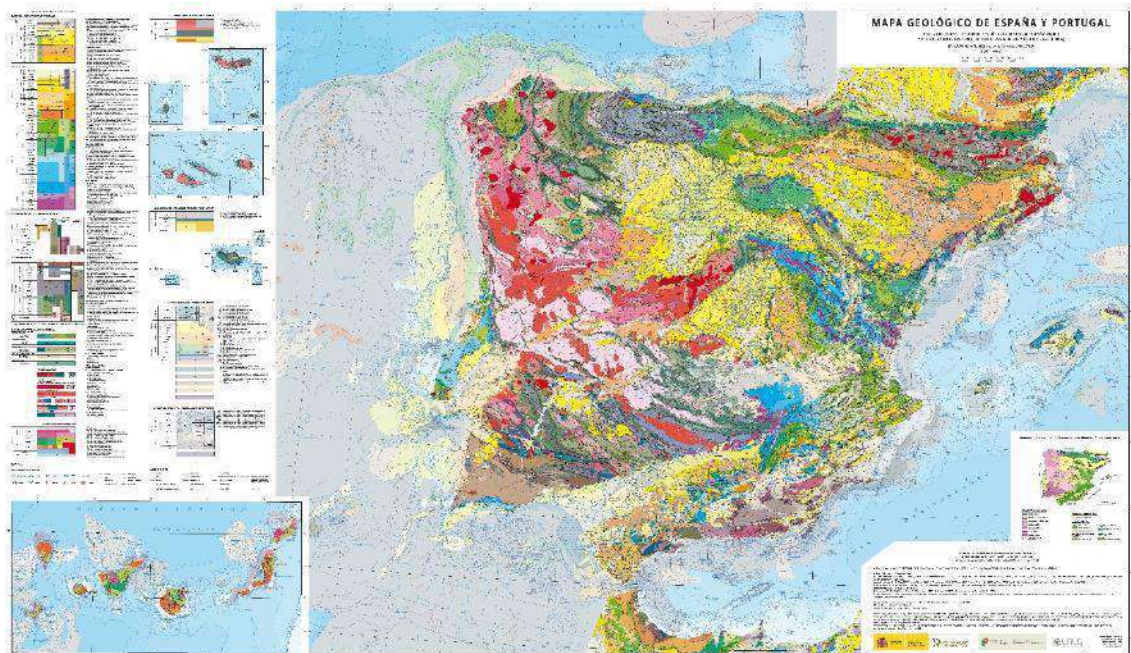
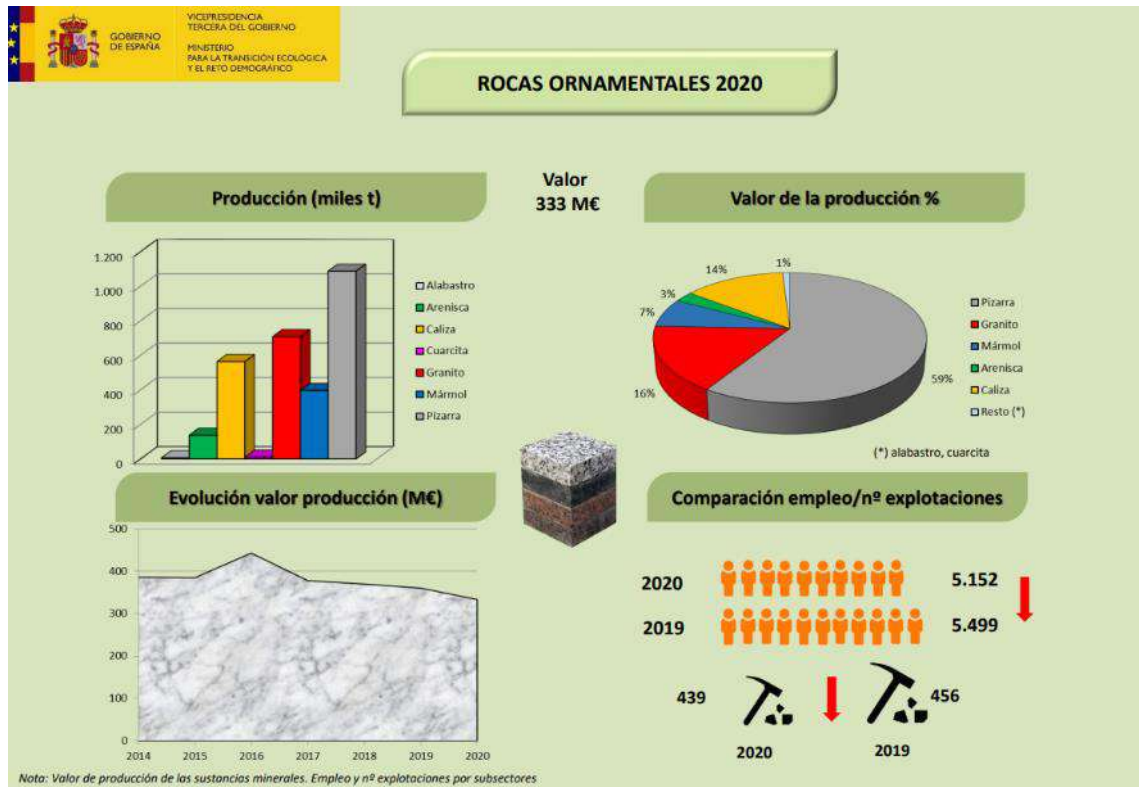


Figura 3.46 (arriba). Estadística producción de rocas ornamentales 2020. Informe “Estadística minero de España”. Cit. p.27

Figura 3.47 (abajo). Mapa geológico de España y Portugal. IGME.

[http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000\\_\(2015\)/jpgs/EditadoG1000\\_\(2015\).jpg](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_(2015)/jpgs/EditadoG1000_(2015).jpg)  
(Consulta el 20.03.2022)



### 3.5.5. CONDICIONANTES ECONÓMICOS

En las fachadas trasventiladas de piedra natural el material del revestimiento es uno de los elementos más importantes a la hora de calcular el precio del sistema. Su coste por metro<sup>2</sup> supera en muchos casos el precio del subsistema de anclaje. En el caso concreto de la piedra natural, además, hay varios condicionantes que pueden suponer diferencias importantes en el precio final.

#### VARIEDAD DE PIEDRA

Hay variedades desde 50 euros/m<sup>2</sup> hasta más de 200 euros/m<sup>2</sup> en el caso de materiales de importación, sin contar la mano de obra. Algunas variedades de importación consideradas muy singulares por sus colores o veteados pueden llegar hasta los 3000 euros/m<sup>2</sup>, especialmente algunos tipos de mármoles o cuarcitas. Estas variedades tienen un precio superior por sus características estéticas, pero no tienen unas características constructivas más propicias para la construcción en comparación con otras más habituales y económicas, por lo que suelen quedar relegadas a su uso en diseño interior.

Otro aspecto que influye en el precio es la procedencia de la cantera y la necesidad de transporte. Por este motivo, las variedades de importación pueden duplicar o triplicar el precio respecto a las disponibles en canteras de cercanía debido al incremento de coste del traslado de los bloques. Una selección adecuada de la cantera o del lecho puede evitar incrementos de costes no previstos. No es poco frecuente seleccionar una ubicación para la extracción de bloques y tener que modificarla posteriormente al detectar líneas de fractura o capas estratigráficas que dificultan la extracción o no aseguran el cumplimiento de las especificaciones necesarias. Aunque en algunos casos estas situaciones son impredecibles por las propias características heterogéneas del material, es recomendable que la selección del banco rocoso de extracción no se base exclusivamente en criterios visuales.

El precio de la piedra también fluctúa en función de la disponibilidad del material por parte del distribuidor y de las modas, por lo que no es sencillo localizar buscadores de precios actualizados, ya que suelen basarse en baremos o rangos de precios. No obstante, sí conviene al proyectista tener una referencia a la hora de seleccionar la variedad de piedra. Una primera opción es buscar en bases de precio de construcción, ya que son herramientas rápidas y útiles. Algunos ejemplos son el Generador de precios de la construcción del CYPE Ingenieros, la Base de Precios del Granito elaborada por la Fundación Centro Tecnológico del Granito de Galicia o la base de precios de la construcción del Gobierno de Extremadura. Estas bases suelen contener las variedades más comunes, por lo que si se busca una variedad de importación o más singular es posible no localizarla. Tampoco permiten elegir entre una variedad de formatos o espesores. En estos casos es recomendable contactar con empresas distribuidoras para obtener el precio y características.

#### DIMENSIONES Y FORMATO

Las dimensiones de la placa influyen en el coste final del producto y de la unidad constructiva del sistema de fachada. De manera general, aunque el material admite la producción de placas a medida, la utilización de dimensiones distintas a las estandarizadas supondrá un incremento en el coste de producción. Por un lado, las placas de dimensiones muy reducidas requieren más trabajo de transformación en taller y un mayor número de placas para cubrir la misma superficie. Las placas de grandes dimensiones también implican un mayor trabajo de transformación y, en algunos casos, la utilización de maquinaria específica.

Por otro lado, la dimensión y el formato de las placas están directamente relacionados con la densidad de anclajes y, en algunos casos, con el tipo de grapa o de anclaje. En términos generales, utilizar placas inferiores a 80-100 por 40-50 centímetros implican un aumento de coste al requerir una densidad de perfilería y anclajes más elevada a la habitual. Utilizar placas de grandes dimensiones o de espesor elevado, entendiéndose por tales aquellas que no puedan manejarse cómodamente por dos operarios, influirán en el coste de transporte de las placas y de mano de obra, ya que se necesitará maquinaria específica y un número mayor de operarios. También pueden suponer un incremento en el coste de fabricación de la subestructura de anclaje en caso de que se requiera estudio específico para grandes cargas.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar el diseño es que las placas con formatos no rectangulares, con formas tridimensionales o las piezas singulares, producen un aumento significativo del coste de producción y mano de obra. En una fachada de grandes dimensiones este incremento de coste va a suponer una diferencia significativa por lo que se deberá tener en cuenta el presupuesto de ejecución material estimado previamente al diseño de piezas complejas.

## **DESPIECE**

El despiece seleccionado también tendrá una incidencia en el precio final. Los despieces convencionales abaratan los costes frente a diseños singulares. Los fabricantes de subsistemas de anclaje suelen tomar como referencia la posición de juntas de contorno, entendiéndose que aquellos diseños con juntas mayoritariamente continuas son más baratos que los despieces con numerosas juntas encontradas o no coincidentes. Los despieces que se adaptan a muros soporte inclinados o curvos incrementan el coste ya que suelen generar numerosos encuentros y puntos singulares complejos que requieren un estudio detallado y un especial cuidado durante su instalación.

## **MECANIZADO**

Los anclajes de bulón, de ranura puntual o de ranura continua requieren un trabajo de mecanizado de las placas en taller para la ubicación de las fijaciones. El tipo de mecanizado puede influir en el precio final. Algunas soluciones, como el destalonado de fondo, tienen un coste más elevado al requerir la utilización de maquinaria específica.

### 3.6. SOSTENIBILIDAD

---

#### 3.6.1. CARACTERÍSTICAS

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, los productos de piedra natural son interesantes hoy en día ya que su proceso de fabricación requiere consumos energéticos más reducidos en comparación con otros materiales y la durabilidad del producto es muy elevada. De manera progresiva la normativa en materia medioambiental en distintos países exige requisitos más exigentes en cuanto a comportamiento térmico, compromiso climático y evaluación de impacto ambiental. Algunas de las características atribuidas a los productos de piedra natural utilizados en la construcción son:

- Durabilidad:

Es un producto muy resistente, con una durabilidad superior a la vida útil de un edificio.

- Reutilización:

A lo largo de la vida útil de las placas se pueden reutilizar y colocar en una nueva fachada, por lo que una vez que una edificación quede obsoleta se puede desmontar la fachada y reaprovechar para una nueva construcción.

- Bajo mantenimiento:

Los revestimientos de piedra tienen un bajo coste de mantenimiento. Las tareas más habituales son la limpieza o la reposición de placas puntualmente deterioradas por impacto o vandalismo, fallo del sistema de anclaje o deterioro por la exposición continuada a condiciones climáticas adversas.

- Reciclabilidad:

Los elementos pétreos de descarte, derivados del proceso de fabricación de las placas de piedra o bien aquellas placas que hayan quedado en desuso, pueden reciclarse para otros usos como fabricación de grava o productos prefabricados.

- Variedad de piedra:

La procedencia de la variedad de piedra utilizada y su transporte puede suponer una diferencia en cuanto a su huella ecológica.

- Comportamiento térmico y acústico:

El material presenta unos valores adecuados de inercia térmica y de aislamiento acústico, que unidos a su aplicación en el sistema de fachada trasventilada permite reducir los valores de consumo energético de los edificios.

### 3.6.2. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

#### DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO

La Declaración Ambiental de Producto, DAP, ofrece información de utilidad para el proyectista para conocer el impacto ambiental del material que va a utilizar. Es un documento que describe el ciclo de vida de un producto, aportando datos cuantitativos y verificables sobre parámetros ambientales. Desde 2013 los materiales de construcción tienen la obligación de declarar su valor de impacto ambiental. La información contenida en la DAP se basa en la realización de una evaluación de los impactos medioambientales de un producto desde su origen hasta el final de su vida útil. La realización de este análisis permite conocer el perfil real de un material para determinar si es más o menos respetuoso con el medio ambiente en comparación con otros materiales.

La DAP se puede realizar siguiendo el método del Análisis del Ciclo de Vida tal y como se indica en las normas ISO 14.040 e ISO 14.044. De acuerdo al Informe de Modelo de desarrollo de LOD700 para productos de piedra natural, emitido por CTM, otros organismos que pueden emitir la DAP en España son:

- DAP AENOR (Aenor): <https://www.aenor.com/certificacion/certificacion-de-producto/declaraciones-ambientales-de-producto>
- DAP Construcción (ITEC y COAAT Barcelona): [https://www.csostenible.net/dapcons/que\\_son?locale=es](https://www.csostenible.net/dapcons/que_son?locale=es)
- OPENDAP (Instituto Torroja en colaboración con ARCO2): realiza evaluaciones ambientales de las soluciones constructivas del CTE. <https://www.opendap.es/>

#### HUELLA ECOLÓGICA

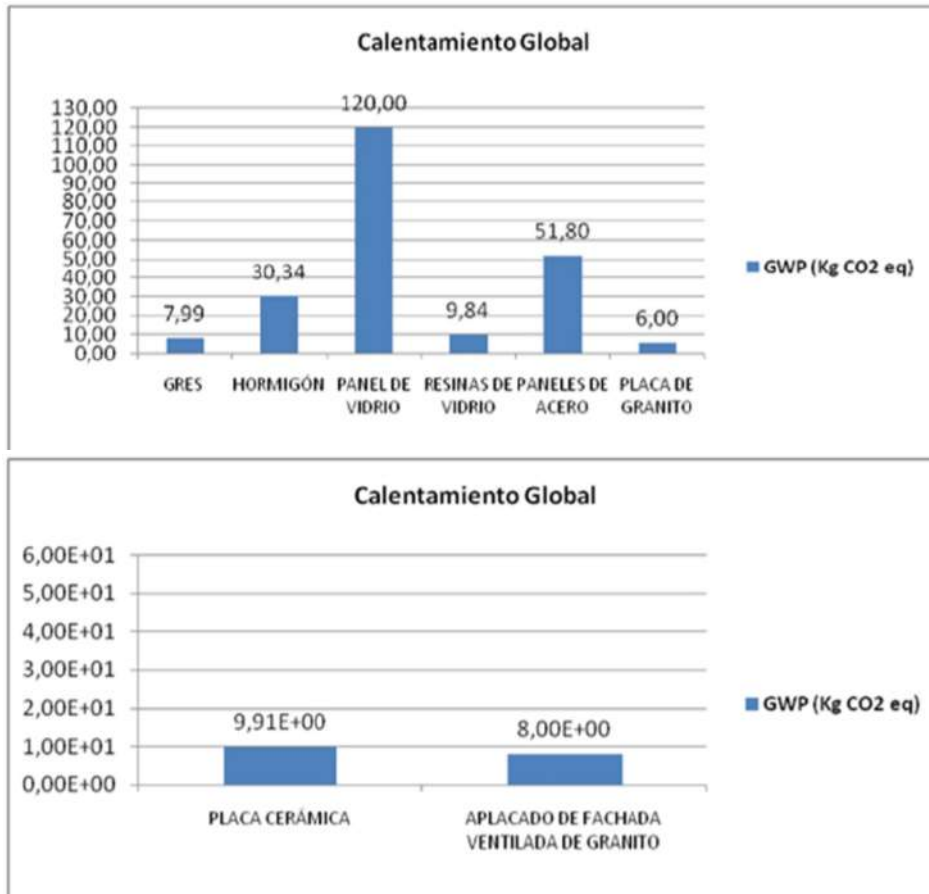
La huella ecológica de un material es un dato relevante que mide los gases contaminantes generados durante su ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida (ACV), en que se basan las DAP, debe elaborarse conforme a unas Reglas de categoría de producto (RCP), publicadas como norma técnica o por un Programa reconocido. Estas RCP aseguran unos criterios coherentes para una familia de productos con funciones equivalentes.

La piedra natural se puede considerar un material sostenible respecto a su proceso de extracción y elaboración, dado que en estas fases no se realizan procesamientos industriales complejos y contaminantes (World Natural Stone Association, [www.wonasa.com](http://www.wonasa.com)).

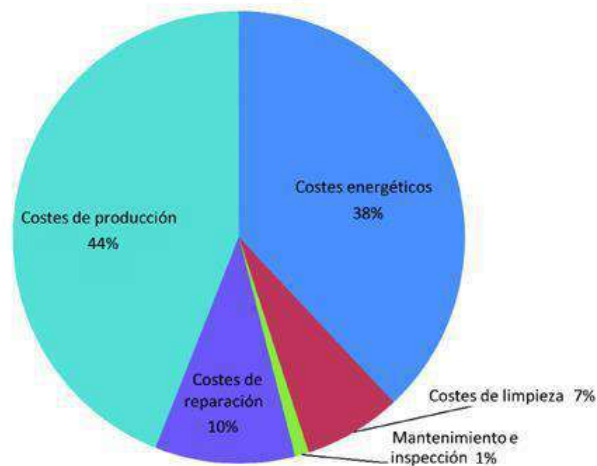
Uno de los principales indicadores de la sostenibilidad a la hora de comparar varios materiales para el mismo uso es la determinación del Potencial Calentamiento Global (GWP), es decir, la cantidad de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero lo largo de su vida, expresado en kg de CO2 equivalentes.

En el estudio titulado la “La piedra natural y su baja huella de carbono frente a otros productos constructivos” (González Campos. <https://www.litosonline.com/es/article/el-granito-y-su-baja-huella-de-carbono-frente-otros-productos-constructivos>) se hace un estudio comparativo de la Huella de Carbono de varios productos constructivos, en base a Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Para hacer la comparativa sobre la huella de carbono se ha seleccionado el dato del indicador del Potencial Calentamiento Global (GWP). Los resultados obtenidos en los casos de fachada y fachada ventilada muestran que el granito presenta unos valores inferiores al resto de materiales comparados.





### Fachada de piedra



Coste del ciclo de vida: **21.266,27 Euros**

Figuras 3.50 y 3.51 (arriba). Comparativa de valores de Potencial Calentamiento Global (GWP) según material. <https://www.litosonline.com/es/articulo/el-granito-y-su-baja-huella-de-carbono-frente-otros-productos-constructivos> (Consulta el 20.03.2022)

Figura 3.52 (abajo). Reparto del coste de ciclo de vida de una fachada de piedra natural. Tishman Speyer desarrolló un estudio comparativo entre fachadas realizadas con materiales de acabado distintos para el Opera Tower de Frankfurt (Alemania), llegando a la conclusión de que, en un ciclo de vida de 50 años, el ahorro con fachada de piedra natural frente a vidrio es de 16.251,12 euros. <https://www.litosonline.com/es/articulo/declaracion-ambiental-de-producto-de-la-piedra-natural-epd>. (Consulta el 20.03.2022)

## EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA EXTRACTIVA

Según datos publicados por el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, desde el 2008 se están desarrollando iniciativas en la Unión Europea respecto al uso de materias primas con el objetivo de garantizar el acceso a estas, fomentando su obtención de fuentes europeas, de una forma eficiente y potenciando el reciclaje.

La industria extractiva forma parte del Anexo I de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación Ambiental y, por tanto, es una actividad sometida a evaluación de impacto ambiental ordinario. La evaluación de impacto ambiental (EIA) es el proceso a través del cual se analizan los efectos significativos que tienen o pueden tener los proyectos, antes de su autorización sobre el medio ambiente, incluyendo en dicho análisis los efectos de aquellos sobre los siguientes factores: la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, la tierra, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores mencionados (<https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/evaluacion-impacto-ambiental.html>).

El estudio de impacto ambiental (EslA), regulado en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, consiste en un documento elaborado por el promotor que acompaña al proyecto e identifica, describe, cuantifica y analiza los posibles efectos significativos sobre el medio ambiente derivados o que puedan derivarse del proyecto, así como la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes, el riesgo de que se produzcan dichos accidentes graves o catástrofes y el obligatorio análisis de los probables efectos adversos significativos en el medio ambiente en caso de ocurrencia. También analiza las diversas alternativas razonables, técnica y ambientalmente viables, y determina las medidas necesarias para prevenir, corregir y, en su caso, compensar, los efectos adversos sobre el medio ambiente.

El estudio de impacto ambiental, de acuerdo al artículo 35 de la citada Ley, debe contener, al menos:

- a) Descripción general del proyecto que incluya información sobre su ubicación, diseño, dimensiones y otras características pertinentes del proyecto; y previsiones en el tiempo sobre la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidades de residuos generados y emisiones de materia o energía resultantes.
- b) Descripción de las diversas alternativas razonables estudiadas que tengan relación con el proyecto y sus características específicas, incluida la alternativa cero, o de no realización del proyecto, y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos del proyecto sobre el medio ambiente.
- c) Identificación, descripción, análisis y, si procede, cuantificación de los posibles efectos significativos directos o indirectos, secundarios, acumulativos y sinérgicos del proyecto sobre los siguientes factores: la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el medio marino, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, el patrimonio cultural, y la interacción entre todos los factores mencionados, durante las fases de ejecución, explotación y en su caso durante la demolición o abandono del proyecto.
- d) Se incluirá un apartado específico que incluya la identificación, descripción, análisis y si procede, cuantificación de los efectos esperados sobre los factores enumerados en la letra c), derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes, sobre el riesgo

de que se produzcan dichos accidentes o catástrofes, y sobre los probables efectos adversos significativos sobre el medio ambiente, en caso de ocurrencia de los mismos, o bien informe justificativo sobre la no aplicación de este apartado al proyecto. Para realizar los estudios mencionados en este apartado, el promotor incluirá la información relevante obtenida a través de las evaluaciones de riesgo realizadas de conformidad con las normas que sean de aplicación al proyecto.

- e) Medidas que permitan prevenir, corregir y, en su caso, compensar los posibles efectos adversos significativos sobre el medio ambiente y el paisaje.
- f) Programa de vigilancia ambiental.
- g) Resumen no técnico del estudio de impacto ambiental y conclusiones en términos fácilmente comprensibles.

Los procesos de producción de productos de piedra natural para la construcción tienen un consumo de energía inferior al de otros materiales ya que requiere temperaturas inferiores en los distintos procesos. Pese a ello, la industria extractiva es una actividad que genera un impacto en el medio ambiente. Las principales alteraciones derivadas de las explotaciones de rocas ornamentales son la alteración de los recursos naturales, incremento del riesgo de contaminación de las aguas superficiales e incremento de las posibilidades de procesos de erosión en los macizos rocosos desnudos. Los recursos naturales que pueden verse afectados son (López Jimeno, 2012):

- Modificaciones en el paisaje
- Pérdida de la capa superficial del suelo
- Alteraciones en el ecosistema (pérdida de vegetación y animales)
- Modificaciones en los drenajes naturales
- Empeoramiento de la calidad del aire
- Molestias por ruido

En los últimos años se ha producido un aumento en la concienciación y sensibilidad hacia una gestión más sostenible y ecológica del sector de la piedra natural y la explotación de las canteras, además del desarrollo de interesantes proyectos de regeneración de canteras en desuso. En función de la ubicación de la cantera y de las necesidades de la población la rehabilitación de estos espacios puede ir enfocada a distintos usos:

- Forestal, mediante la plantación de arbolado
- Agrícola, mediante la plantación de cultivos, pastos o praderas.
- Recuperación del hábitat natural alterado, mediante la creación de un espacio que cubra las necesidades de los seres vivos.
- Recreativo o paisajístico, mediante la creación de espacios enfocados al ocio de la población.

El Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras, es de aplicación a todas las actividades de investigación y aprovechamiento de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos, y tiene por objeto establecer medidas, procedimientos y orientaciones para prevenir o reducir los efectos adversos sobre el medio ambiente de estas intervenciones. Este RD incorpora la obligatoriedad de elaborar un Plan de restauración de los espacios afectados por la industria minera.

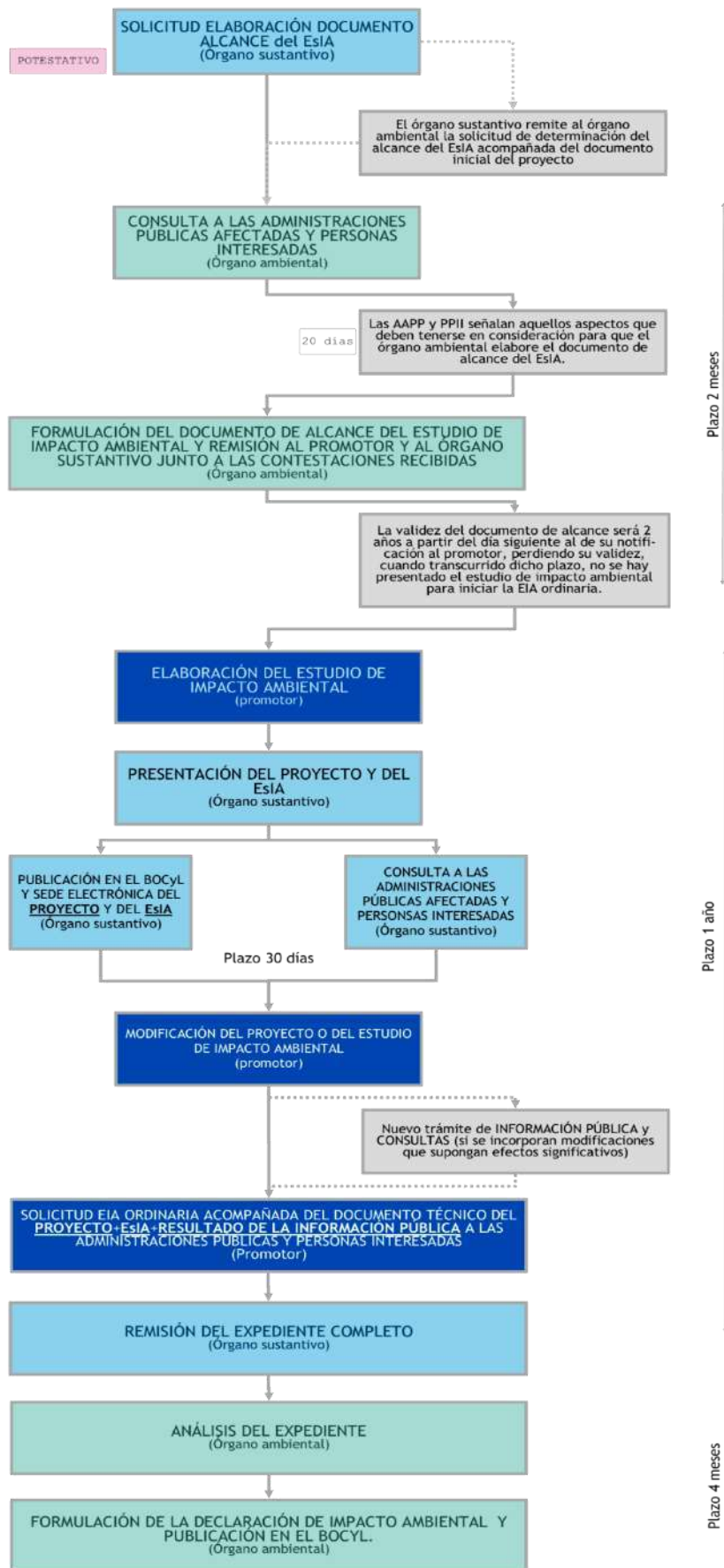


Figura 3.53. Proceso para la evaluación ambiental ordinaria (<https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/evaluacion-impacto-ambiental.html>) (Consulta el 20.02.2022)



Figuras 3.54 y 3.55. Restauración de la Cantera de Cuchía, Cantabria. En el año 2015 se puso en marcha el “Plan de acción para la remodelación geomorfológica y el incremento de la biodiversidad en la Cantera de Cuchía”, situada en la margen derecha de la ría de San Martín de la Arena y explotada por la empresa Solvay para la extracción de piedra caliza durante décadas hasta el 2005. El proyecto de restauración pretende fomentar los valores naturales del espacio, habiéndose recupera numerosas especies de flora y fauna. <https://seo.org/2019/07/22/una-nueva-vida-para-la-cantera-de-cuchia-en-cantabria/> (Consulta el 20.02.2022)

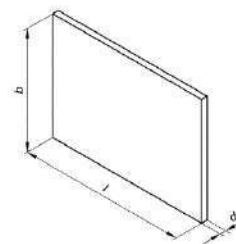


Figuras 3.56 y 3.57. Proyecto de restauración paisajística de la cantera de Rosales. En el año 2015, la empresa Areniscas Rosal, encargó un Plan de Restauración paisajística para revertir el impacto de la actividad extractiva en la zona. El proyecto, de estilo Land Art, consiste en una reconstrucción geométrica del terreno por medio de la reutilización de los sobrantes de la propia actividad. El proyecto se basa en las ideas del reciclaje, la vegetación y la relación del hombre con la naturaleza, para crear un nuevo espacio sostenible y respetuoso con el medio ambiente. <https://rosalstones.com/restauracion-cantera-de-piedra-natural/> (Consulta el 20.02.2022)

### 3.7. REQUISITOS DE CONTROL

#### 3.7.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Las dimensiones de las placas de piedra se definen por su longitud  $l$ , anchura  $b$  y espesor  $d$ . Los requisitos dimensionales y sus tolerancias se determinan de acuerdo a la norma UNE-EN 1469.



Requisitos para el espesor: no se debe desviar más de los indicado en la tabla.

TOLERANCIAS DEL ESPESOR NOMINAL	
ESPESOR NOMINAL (milímetros)	TOLERANCIA
Más de 12 y menor o igual a 30	$\pm 10\%$
Más de 30 y menor o igual a 80	$\pm 3$ milímetros
Más de 80	$\pm 5$ milímetros

Tabla 3.12. Elaboración propia a partir de UNE-EN 1469

Requisitos para la planicidad: la desviación de planicidad no debe superar el 0,2% de la longitud de la placa ni los 3 milímetros. En el caso de grietas naturales el fabricante debe determinar las tolerancias.

Requisitos para la longitud, anchura y escuadrado: no se deben desviar más de los indicado en la tabla.

TOLERANCIAS DE LONGITUD, ANCHURA Y ESCUADRADO		
LONGITUD O ANCHURA (milímetros)	< 600	$\geq 600$
Espesor de aristas biseladas $\leq 50$	$\pm 1$	$\pm 1,5$
Espesor de aristas biseladas $> 50$	$\pm 2$	$\pm 3$
Escuadrado	$\pm 1$	$\pm 2$

Tabla 3.13. Elaboración propia a partir de UNE-EN 1469

Requisitos para ángulos y formas especiales: los ángulos de las placas deben ser conformes con la geometría acordada. Las formas especiales o irregulares se deben comprobar mediante el uso de plantillas. La tolerancia debe cumplir lo indicado en la siguiente figura.

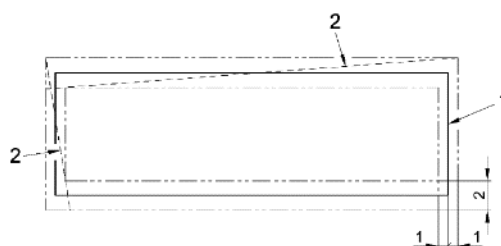


Figura 3.58. Requisitos dimensionales, siendo 1. Dimensión nominal y 2. Los lados de la placa deben encontrarse dentro de la línea de puntos. UNE-EN 1469. p.

Requisitos para la localización de los anclajes: debe cumplir las siguientes tolerancias máximas:

- Localización del eje del taladro o ranura según largo y ancho de la pieza:  $\pm 2$  milímetros
- Localización del eje del taladro o de la ranura en el canto (desde la cara expuesta):  $\pm 1$  milímetro
- Profundidad del taladro o ranura:  $+3 / -1$  milímetros
- Diámetro del taladro o anchura de la ranura:  $+1 / -0,5$  milímetros

### 3.7.2. DECLARACIÓN DE PRESTACIONES Y MARCADO CE

El suministrador debe entregar la documentación exigida en el Mercado CE para la correspondiente verificación documental. La DoP y el marcado CE se puede hacer para cada producto o para familias de productos compartan tipología o características equivalentes, a decisión del fabricante. La Declaración de Prestaciones y el marcado CE se emiten en el idioma exigido en cada estado miembro de la UE. Cuando un producto tenga aplicación a través de varias normas armonizadas, por ejemplo, una placa para revestimientos de fachada (UNE-EN 1469) y suelos (UNE-EN 12058), se puede emitir un único documento de Declaración de Prestaciones y marcado CE que recoja las prestaciones para cada norma. (Informe sobre marcado CE de productos de piedra natural. Agosto 2016. Ministerio de industria, energía y turismo.)

La Declaración de Prestaciones (DoP) y marcado CE se elaboran de acuerdo a los sistemas establecidos en el anexo V del Reglamento (UE) nº 305/2011.

<p><b>DECLARACIÓN DE PRESTACIONES</b> nº .....</p>
<p>1. Código de identificación única del producto tipo: .....</p>
<p>2. Tipo, lote o número de serie o cualquier otro elemento que permita la identificación del producto de construcción como se establece en el artículo 11, apartado 4: .....</p>
<p>3. Uso o usos previstos del producto de construcción, con arreglo a la especificación técnica armonizada aplicable, tal como lo establece el fabricante: .....</p>
<p>4. Nombre, nombre o marca registrados y dirección de contacto del fabricante según lo dispuesto en el artículo 11, apartado 5:</p>
<p>5. En su caso, nombre y dirección de contacto del representante autorizado cuyo mandato abarca las tareas especificadas en el artículo 12, apartado 2: .....</p>
<p>6. Sistema o sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones del producto de construcción tal como figura en el anexo V: .....</p>
<p>7. En caso de declaración de prestaciones relativa a un producto de construcción cubierto por una norma armonizada: ..... (nombre y número de identificación del organismo notificado, si procede) tarea realizada .....por el sistema ..... (descripción de las tareas de la tercera parte como se establece en el anexo V) y emitido ..... (certificado de constancia de prestaciones, certificado de conformidad del control de producción en fábrica, informes de ensayo o cálculo —según corresponda)</p>
<p>8. En caso de declaración de prestaciones relativa a un producto de construcción para el que se ha emitido una evaluación técnica europea:</p>



.....  
 (nombre y número de identificación del Organismo de Evaluación Técnica, si procede) emitido  
 .....  
 (número de referencia de la evaluación técnica europea) sobre la base de  
 .....  
 (número de referencia del documento de evaluación europea) 4.4.2011 Diario Oficial de la Unión Europea L 88/37 ES  
 tarea realizada ..... por el sistema .....  
 (descripción de las tareas de la tercera parte como se establece en el anexo V) y emitido  
 .....  
 (certificado de constancia de prestaciones, certificado de conformidad del control de producción en fábrica, informes  
 de ensayo o cálculo – según corresponda)

9. Prestaciones declaradas

Notas al cuadro:

1. La columna 1 contendrá las características esenciales determinadas en las especificaciones técnicas armonizadas para el uso o usos previstos indicados en el punto 3 siguiente.
2. Para cada característica esencial enumerada en la columna 1 y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el artículo 6, la columna 2 contendrá la prestación declarada, expresada por niveles o clases, o en una descripción, en relación con las características esenciales correspondientes. Se indicará «NPD» (Prestación No Determinada) cuando no se declare prestación.
3. Para cada característica esencial enumerada en la columna 1, la columna 3 contendrá:
  - a) la referencia con fecha de la norma armonizada correspondiente y, si procede, el número de referencia de la documentación técnica específica o adecuada utilizada;
  - o
  - b) la referencia con fecha del Documento de Evaluación Técnica Europeo correspondiente, cuando esté disponible, y número de referencia de la evaluación técnica europea utilizada.

Características esenciales (ver nota 1)	Prestaciones (ver nota 2)	Especificaciones técnicas armonizadas (ver nota 3)

Cuando en virtud de los artículos 37 o 38 la documentación técnica específica ha sido utilizada, los requisitos que cumple el producto:

.....  
 10. Las prestaciones del producto identificado en los puntos 1 y 2 son conformes con las prestaciones declaradas en el punto 9. La presente declaración de prestaciones se emite bajo la sola responsabilidad del fabricante identificado en el punto 4. Firmado por y en nombre del fabricante por:

.....  
 (nombre, cargo)

.....  
 (lugar y fecha de emisión)

.....  
 (firma)

Figura 3.59. Modelo de DoP y su contenido, de acuerdo al anexo III del Reglamento (UE) nº 305/2011:

## DECLARACIÓN DE PRESTACIONES

**RQ12345**

Producto: *Placas de mármol Rojo Quípar 12345*  
*Caliza-mudstone / Biomicrita*  
*Rojo / gris claro con vetas blancas*  
*Cehegín (Murcia) España*  
*Apomazado*

Usos previstos: *Revestimientos murales para acabados interiores o exteriores*

Fabricante: *Razón social de la empresa*  
*Dirección social de la empresa*  
*Email de la empresa*

Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones: **4**

Norma armonizada: **EN 1469:2015**

Prestaciones declaradas:

Características esenciales	Prestaciones
Reacción al fuego	<i>Clase A1</i>
Permeabilidad al vapor de agua	<i>Factor de resistencia al vapor de agua en seco <math>\mu</math>: 10.000</i> <i>Factor de resistencia al vapor de agua en húmedo <math>\mu</math>: 10.000</i>
Resistencia mecánica (resistencia a la flexión)	<i>Valor inferior esperado: 7,9 MPa</i> <i>Valor medio: 12,6 MPa</i> <i>Desviación estándar: 1,2 MPa</i>
Resistencia a los anclajes	<i>Valor inferior esperado: 2650 N</i> <i>Valor medio: 2150 N</i> <i>Desviación estándar: 150 N</i>
Resistencia al choque térmico	<i>Después de 20 ciclos:</i> <i>Variación de la resistencia a la flexión: -8 %</i> <i>Variación del módulo de elasticidad dinámico: -5 %</i>
Aislamiento contra el aéreo directo	<i>Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m<sup>3</sup></i>
Resistencia térmica	<i>Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m<sup>3</sup></i>
Durabilidad de la resistencia a la flexión frente al hielo/deshielo	<i>Valor medio antes de hielo/deshielo: 12,6 MPa</i> <i>Valor medio después de 14 ciclos hielo/deshielo: 11,9 MPa</i>
Resistencia del mármol a los ciclos térmicos y de humedad	<i>NPD</i>
Emisión de radioactividad	<i>-</i>
Emisión de sustancias peligrosas	<i>-</i>

Las prestaciones del producto identificado anteriormente son conformes con el conjunto de prestaciones declaradas. La presente declaración de prestaciones se emite, de conformidad con el Reglamento (UE) n° 305/2011, bajo la sola responsabilidad del fabricante arriba identificado.

Firmado por y en nombre del fabricante por: *Nombre de la persona autorizada*

*Lugar y fecha de emisión*

Figura 3.60. Ejemplo de declaración de prestaciones para placas de piedra natural para revestimientos murales de uso interior y exterior según UNE-en 1469. Informe sobre marcado CE de productos de piedra natural. Agosto 2016. Ministerio de industria, energía y turismo.p.8


<b>Razón Social de la Empresa</b> <b>Dirección Social de la Empresa</b> <b>Email de la empresa</b>
<b>16</b>  <b>RQ12345</b>
<b>EN 1469:2015</b>  <i>Placas de mármol Rojo Quípar 12345</i> <i>Caliza-mudstone / Biomicrita</i> <i>Rojo / gris claro con vetas blancas</i> <i>Cehégín (Murcia) España</i> <i>Apomazado</i>  <i>Revestimientos murales para acabados interiores o exteriores</i>
Reacción al fuego: <i>Clase A1</i> Permeabilidad al vapor de agua: <i>Factor de resistencia al vapor de agua en seco <math>\mu</math>: 10.000</i> <i>Factor de resistencia al vapor de agua en húmedo <math>\mu</math>: 10.000</i>
Resistencia a la flexión: <i>Valor inferior esperado: 7,9 MPa</i> <i>Valor medio: 12,6 MPa</i> <i>Desviación estándar: 1,2 MPa</i>
Resistencia al anclaje: <i>Valor inferior esperado: 2650 N</i> <i>Valor medio: 2150 N</i> <i>Desviación estándar: 150 N</i>
Resistencia al choque térmico: <i>Variación de la resistencia a la flexión: -8 %</i> <i>Variación del módulo de elasticidad dinámico: -5 %</i>
Aislamiento contra el ruido aéreo: <i>Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m<sup>3</sup></i>
Resistencia térmica: <i>Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m<sup>3</sup></i>
Durabilidad de la resistencia a la flexión frente al hielo/deshielo: <i>Valor medio antes de hielo/deshielo: 12,6 MPa</i> <i>Valor medio después de 14 ciclos de hielo/deshielo: 11,9 MPa</i>
Emisión de radioactividad: – Emisión de sustancias peligrosas: –

Figura 3.61. Ejemplo de marcado CE para placas de piedra natural para revestimientos murales de uso interior y exterior según UNE-en 1469. Informe sobre marcado CE de productos de piedra natural. Agosto 2016. Ministerio de industria, energía y turismo.p.9



# **4. Analizar el sistema**

*Análisis del comportamiento constructivo*



#### 4.1. LA FACHADA TRASVENTILADA COMO SISTEMA INDUSTRIALIZADO

Una fachada trasventilada consiste en un sistema multicapa provisto de una cámara por la que circula el aire y en el que los esfuerzos de la hoja exterior se transmiten a la estructura o al cerramiento mediante un subsistema de anclajes. De acuerdo con la terminología del DB-HE1, el concepto de fachada ventilada consiste en un cerramiento de fachada formado por una hoja interior y una hoja exterior separadas por una cámara de aire que es ventilada. Las funciones que debe cumplir la fachada pueden resumirse en:

##### Exigencias de seguridad y habitabilidad

- Protección frente a los agentes atmosféricos
- Protección frente al fuego
- Protección acústica
- Estanqueidad
- Resistencia y estabilidad
- Seguridad

##### Exigencias ambientales

- Control del flujo de aire
- Control del flujo de vapor de agua
- Control de la humedad y del movimiento del agua
- Control de los saltos térmicos



Figura 4.1. Instalación de fachada trasventilada de piedra en la Ciudad de la Cultura en Santiago de Compostela, Galicia. Cedida por CTG.

#### 4.1.1. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

##### LA ESTANQUEIDAD POR GEOMETRÍA E INFLUENCIA DE LA PERMEABILIDAD

Una característica fundamental de este sistema es el medio para alcanzar la estanqueidad de la fachada. En los anteriores sistemas adheridos se mejoraba el comportamiento aportando un espesor mayor al muro, lo que dificultaba, junto con el proceso de evaporación natural, que la humedad llegase a la cara interior del muro a pesar del grado de porosidad de los materiales.

En las fachadas trasventiladas esta característica se consigue incorporando una cámara de cámara de aire que se drena por gravedad. El objetivo de este sistema es conseguir que sobre las gotas de agua sólo actúe la fuerza de la gravedad, suprimiendo cualquier fuerza con alguna componente horizontal. De esta manera, la fuerza que actúa desplaza las gotas de agua en dirección vertical, para que posteriormente sean expulsadas al exterior del edificio para evitar que su acumulación vuelva a facilitar el progreso hacia el interior. (Pardal y Paricio, 2006, p. 12).

Para conocer cuáles son dichas fuerzas a suprimir conviene analizar los principales fenómenos que hacen que el agua penetre hacia el interior:

- Entrada de agua a través de las juntas por tensión superficial: “el agua de lluvia se desliza por el trasdós de la placa hasta alcanzar la junta de ésta con la placa inferior, allí y en función del ancho de dicha junta se infiltra hacia el interior resbalando a continuación por el intradós de la placa” (Avellaneda y Paricio, 2000, p. 11).
- Entrada de agua a través de la junta por diferencia de presión entre el exterior y la cámara: cuando la cámara de aire no está compartimentada puede tener una presión inferior a la presión en el exterior, lo cual puede provocar que el agua que alcanza la junta penetre más fácilmente (Avellaneda y Paricio, 2000, p. 11).
- Entrada de agua a través de las juntas por energía cinética de la gota de lluvia: “la gota de lluvia desciende con una determinada velocidad y debido al viento forma un cierto ángulo con la fachada. La gota de lluvia al incidir sobre los bordes de una junta horizontal se rompe salpicando el interior de la cámara alcanzando a la capa aislante. El mismo fenómeno se produce cuando la gota de lluvia incide sobre una junta horizontal” (Avellaneda y Paricio, 2000, p. 11).
- Movimiento del agua hacia el interior por capilaridad: la capilaridad, que depende de la tensión superficial del agua, hace que cuando se moja una pared de material poroso aumente la superficie humedecida (Pardal y Paricio, 2006, p. 13).
- Movimiento del agua hacia el interior por la presión ejercida en la superficie de la fachada: las diferencias de presiones pueden alcanzar valores muy altos, que mueven el agua con una trayectoria prácticamente horizontal. La presión del viento en la superficie de una fachada puede alcanzar valores muy diferentes en función de aspectos como la proximidad a los bordes, el ángulo de incidencia, la presencia de resaltes, la altura,... (Pardal y Paricio 2006, p. 13).
- Movimiento de las partículas en suspensión: las corrientes de aire pueden desplazar las partículas de agua en suspensión (Cerdeño del Castillo, 2007).



- La fuerza gravitatoria depende del diseño de las juntas, quedando anulada en caso de utilizar cantos rectos, el más habitual.

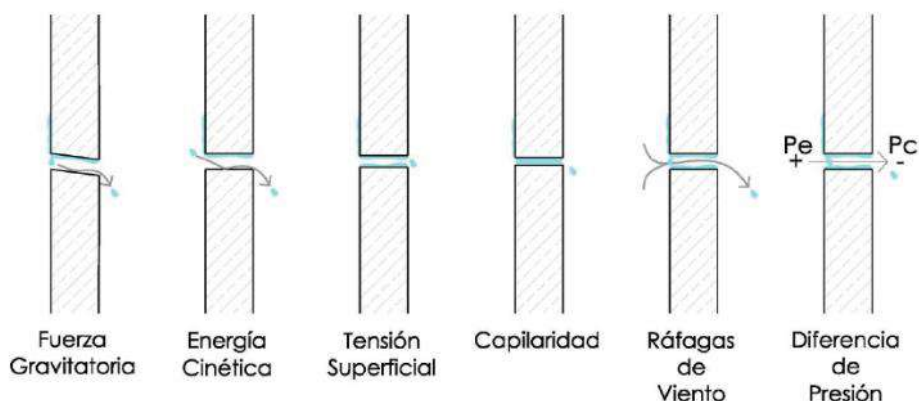


Figura 4.2. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua. (García Bescansa. 2011. p.2).

Teniendo en cuenta que el revestimiento no es estanco, y que el acceso de agua al interior de la cámara de aire es admitido, hay que asegurar una adecuada recuperación y evacuación del agua que haya penetrado en la cámara, prestando especial atención a los puntos en los que podría acumularse el agua: dinteles, alféizares, sujeción de anclajes, ... (Cerdeño del Castillo, 2007, pp-152-153).

## COMPORTAMIENTO DE LAS PLACAS

Las acciones a las que se someten las placas de un revestimiento de piedra se resumen en:

- Peso propio
- Acción del viento: presiones
- Acción del viento: succiones
- Sismo

En los sistemas tradicionales de chapados las placas del revestimiento trabajan a compresión bajo el peso de las placas superiores y bajo la acción del viento, por apoyo de las placas sobre el mortero de relleno. En aquellos casos en los que la capa de mortero ha desaparecido parcialmente trabaja a compresión y flexión en proporciones variables. En las fachadas trasventiladas, en cambio, cada placa se sustenta independientemente mediante un subsistema de anclajes, por medio de los cuales se transmite al soporte tanto el peso propio de las placas como las acciones sobre ellas. De este modo, las placas trabajan a flexión en dos direcciones:

- Bajo el peso propio
- Bajo la acción del viento

Dado que la piedra asume un papel estructural frente a estas acciones es fundamental el cálculo de las distintas sollicitaciones, que será un factor determinante para el dimensionado del revestimiento, selección de la variedad de piedra natural, determinación de los puntos de fijación y características de los mismos.

## **AISLAMIENTO HIGROTÉRMICO**

La ventilación de la cámara de aire mejora el comportamiento higrotérmico de la solución constructiva. Por un lado, evita que el aire contenido en dicha cámara se caliente en exceso y se produzca la consiguiente transmisión de calor por convección hacia el interior. Por otro lado, evacúa el vapor de agua que se transmite desde el espacio interior.

Además, la disposición continua del aislamiento sobre el soporte garantiza el correcto comportamiento térmico de la solución, impidiendo que se produzcan puentes térmicos, así como condensaciones, tanto superficiales como interiores.

## **AISLAMIENTO ACÚSTICO**

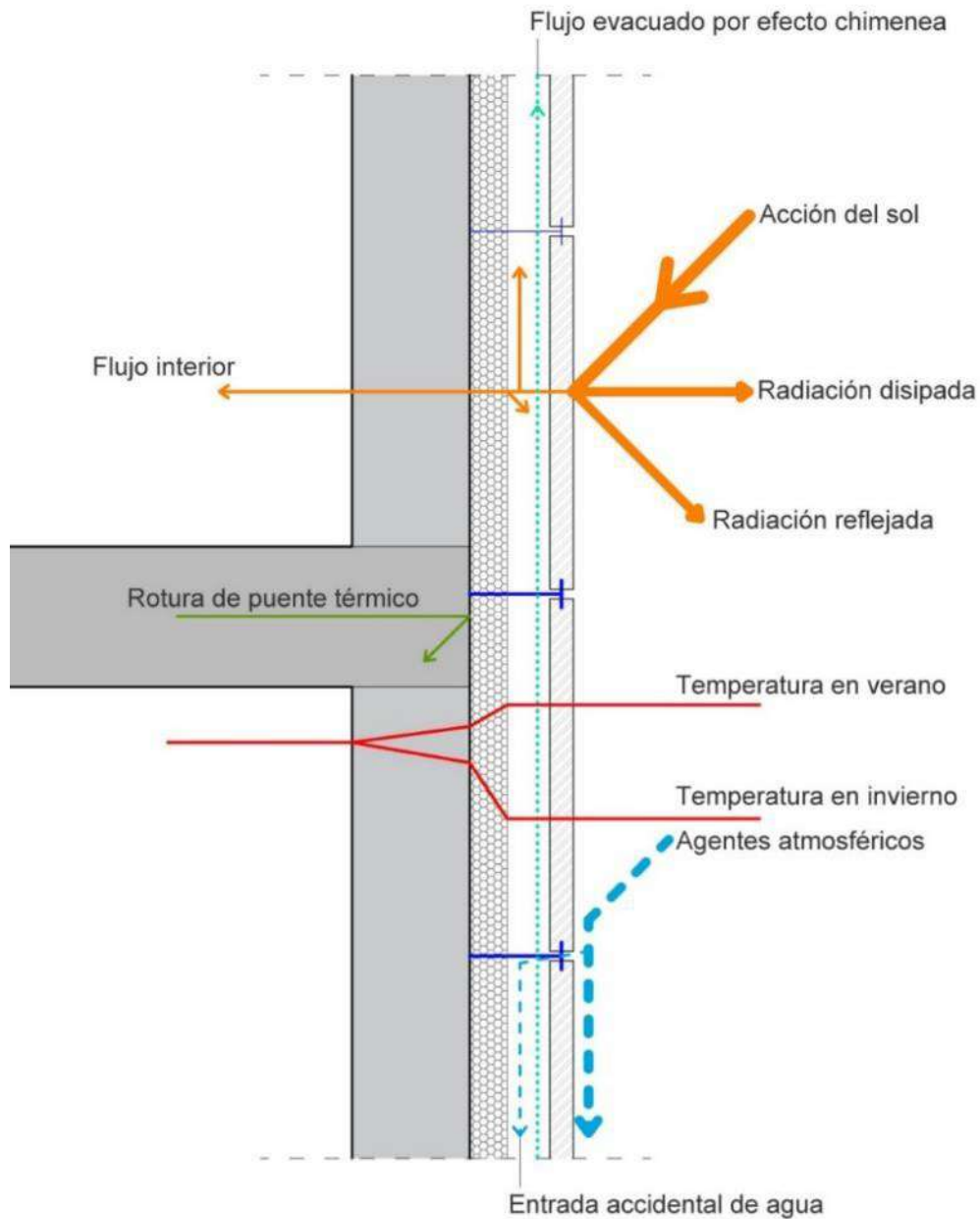
Las características acústicas de este sistema de fachada dependen de varios aspectos, tal y como identifica Montero Fernández de Bobadilla (2007):

- Mejora introducida por el espesor de la cámara, considerando que exista o no material absorbente en su interior.
- Influencia de las juntas entre placas.
- Influencia de la densidad superficial de la masa de las placas.
- Caracterización de la transmisión de sonido a través del anclaje.
- Mejoras obtenidas en función del tipo de muro soporte.

## **RESISTENCIA AL FUEGO**

De cara al comportamiento al fuego de este tipo de fachadas, se debe tener en cuenta la propagación por el interior y la propagación por el exterior (propagación horizontal y vertical). La propagación hacia el interior se evita mediante las condiciones que debe cumplir la hoja interior del cerramiento. En cuanto a la propagación por el exterior, se debe impedir la transmisión del fuego de un recinto a otro a través de la fachada.

Especialmente en el caso de que la edificación tenga varias alturas conviene evitar que la cámara actúe como propagador del fuego hacia las plantas superiores. En estos casos se analizará si es necesaria la incorporación de barreras cortafuego en la cámara para impedir que por efecto chimenea se aumente la propagación de un eventual incendio por la cámara de aire. También hay que prestar atención a la resolución de los huecos (dinteles y jambas) para evitar la propagación del incendio a pisos superiores. (Avellaneda y Paricio, 2000, p. 14).



- Radiación solar: cantidad de energía procedente del sol  
 Radiación reflejada: cantidad de energía disipada por el revestimiento de piedra  
 Radiación disipada: cantidad de energía emitida por el material de revestimiento en todas las direcciones.  
 Flujo interior: cantidad de radiación que penetra en el edificio.  
 Convección: flujo del aire en sentido ascendente por el efecto chimenea.

Figura. 4.3. Esquema explicativo del comportamiento del sistema de fachada trasventilada. Elaboración propia

#### 4.1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA

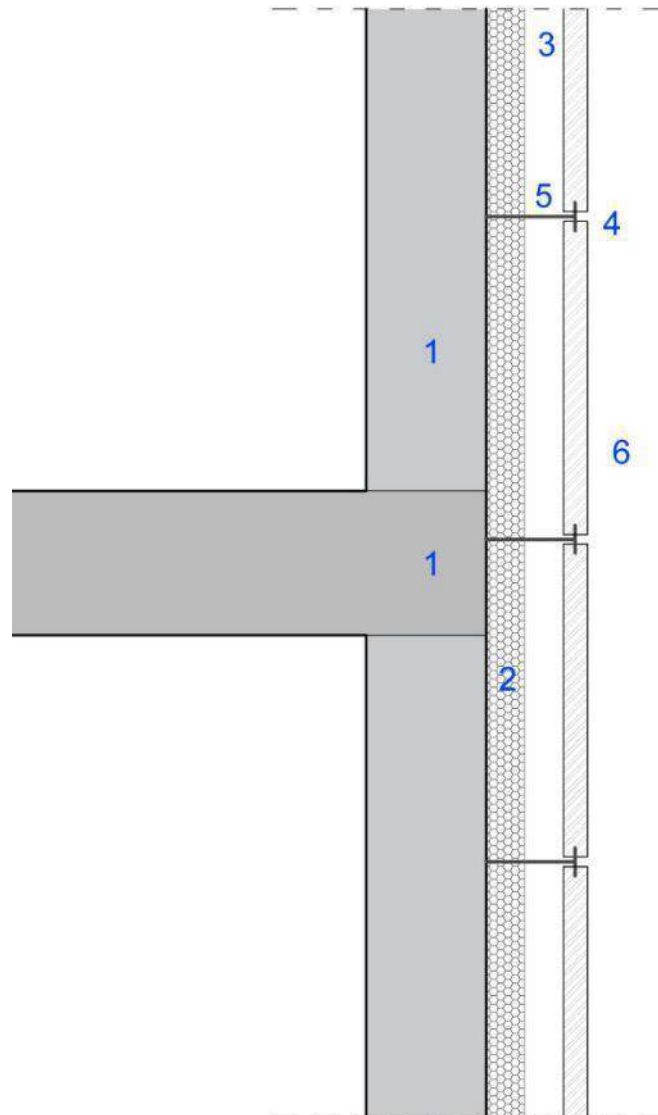
Este sistema, con un funcionamiento y comportamiento muy diferente con respecto a los aplacados recibidos con mortero, presenta una serie de ventajas muy significativas, que se sintetizan a continuación.

<b>VENTAJAS DEL SISTEMA DE FACHADA TRASVENTILADA</b>	
<b>COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y MEDIOAMBIENTAL</b>	
Ahorro energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En los meses cálidos se produce una menor absorción de calor</li> <li>• En los meses fríos se produce una menor dispersión de calor</li> </ul>
Beneficios de la circulación de aire a través de la cámara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En invierno, la circulación del aire en la cámara hace que el material aislante permanezca siempre aireado y por lo tanto seco, evitando que se produzcan condensaciones en la cara fría del aislamiento.</li> <li>• En verano, el movimiento del aire en la cámara produce una evacuación de parte del calor aportado por la radiación solar, gracias a la corriente ascendente de aire caliente que se expulsa permanentemente por los orificios previstos en la coronación.</li> <li>• La circulación del aire en la cámara de facilita la evacuación del vapor de agua procedente del interior, favoreciendo la expulsión de la humedad y reduciendo las posibles condensaciones.</li> <li>• La circulación de aire favorece el secado de la placa, evitando la acumulación de agua en el interior de la placa se hinche en condiciones de helada, lo que puede provocar el debilitamiento o rotura de la placa.</li> </ul>
Beneficios de la colocación continua del aislamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La colocación continua del aislamiento minimiza los movimientos térmicos (dilataciones y contracciones) entre los distintos puntos de los elementos constructivos del edificio. Se evitan las zonas "frías" que se pueden producir en las construcciones heterogéneas al proporcionar una superficie homogénea continua.</li> <li>• Se reducen los saltos térmicos, evitando que haya grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche. Optimiza el aprovechamiento de la inercia térmica del muro portante.</li> <li>• Mayor confort y mejor regulación de la temperatura interior.</li> </ul>
Agentes atmosféricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso de que pasen infiltraciones de agua a través de las juntas del revestimiento, la cámara de aire favorece su secado y ayuda a evitar que el agua entre en contacto con el material de aislamiento térmico</li> </ul>
<b>COMPORTAMIENTO CONSTRUCTIVO</b>	
Posibilidad de movimientos diferenciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se favorece una independencia relativa de movimientos de los componentes del sistema</li> <li>• La disposición de la cámara impide que cualquier daño, rotura o fisuración producida en el revestimiento, redunde en una pérdida de la eficacia del aislamiento.</li> </ul>
Estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la estabilidad de la fachada y transmisión de cargas más eficiente</li> </ul>
Sustitución de placas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de sustitución placa a placa en sistemas con subestructura sin necesidad de retirar hiladas completas.</li> </ul>
<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	
Adaptabilidad y planeidad de la fachada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cámara permite corregir las variaciones de espesor de la hoja interior si ésta presenta una ejecución poco cuidada. Adaptabilidad al soporte estructural sobre el que se sustenta, corrige errores de falta de planeidad.</li> </ul>
Fiabilidad y seguridad en la puesta en obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al estar el revestimiento exterior fijado mecánicamente, no se producen los problemas de inestabilidad de la hoja exterior que aparecían en la fachada tradicional.</li> </ul>
Rendimiento de montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El empleo mayoritario de componentes industrializados, que se montan mediante uniones secas, produce una ejecución más rápida, que también se traduce en una disminución de costes.</li> </ul>
Aumento del control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se consigue una mayor calidad al utilizar productos industrializados que cuentan con certificaciones de calidad y con un mayor control en taller.</li> </ul>

Tabla 4.1. Principales ventajas del sistema constructivo. Elaboración propia.

## 4.2. COMPONENTES: CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

Frente a las fachadas tradicionales, se ha pasado de un elemento que ejercía las múltiples funciones a un sistema formado por varias capas o componentes con funciones y especificaciones específicos. A continuación, se analizan los distintos componentes del sistema.



1. Soporte
2. Aislamiento
3. Cámara de aire ventilada
4. Junta abierta
5. Subsistema de anclaje
6. Placas de piedra natural

Figura. 4.3. Elementos componentes del sistema de fachada trasventilada de piedra natural. Elaboración propia

#### 4.2.1. SOPORTE

La norma UNE 22203 define soporte como “el elemento constructivo resistente situado detrás del revestimiento, que transmite los esfuerzos de este a la estructura del edificio, o que forma parte de este y que presenta una deformidad acumulada compatible con el libre movimiento de los componentes del revestimiento”.

El soporte puede formar parte del sistema estructural o únicamente como cerramiento. En cualquier caso, debe resistir los esfuerzos a los que se ve sometido al ser un elemento resistente (acciones gravitatorias, eólicas y sísmicas de las placas) a través de los anclajes, y ser compatible al mismo tiempo con la aplicación y disposición de los distintos sistemas de fijación posibles y del aislamiento.

Verano Soriano, en la Ficha Técnica N°6 sobre Revestimientos, editada por ASEMAS, destaca el soporte como “una causa frecuente de fallos en la sujeción del revestimiento, en la mayoría de las veces por rotura frágil del mismo debido a la falta de reserva resistente frente a acciones de impacto durante el proceso de montaje de la fachada o de labores de mantenimiento de ésta. La falta de reserva resistente se debe fundamentalmente a la no homogeneidad del material soporte”.

El tipo de soporte a utilizar no se empezó a regular en España hasta la norma UNE 41957-1:2000 “Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Subsistema para revestimientos ligeros”. Los materiales más habituales son el ladrillo perforado o macizo y el hormigón prefabricado o in-situ. No se aconsejan los cerramientos de ladrillo hueco ni los bloques de hormigón con tabicas menores de 40 mm, ya que obligan a rellenar los huecos con mortero para que adquieran cierta capacidad mecánica para resistir los esfuerzos y se generarían cargas excéntricas excesivas. En los casos es los que el sistema de fijación se une directamente a la estructura del edificio, el soporte sí puede estar constituido por bloques huecos o tabiques autoportantes ligeros.

#### TIPOS DE SOPORTE

Los tipos de soportes se indican a continuación:

- **Cerramiento:** en este caso la transmisión de cargas a la estructura general se produce a través de los apoyos de la pared con los forjados superior e inferior.
  - Fábrica de ladrillo: piezas macizas, perforadas.
  - Fábrica de bloques de hormigón
  - Hormigón armado
  
- **Estructura:** en este caso, se utilizan anclajes fijados a una subestructura que transmiten las cargas directamente a la estructura del edificio, pudiendo la hoja interior ser ligera, como por ejemplo un tabique autoportante de yeso laminado, entramados ligeros prefabricados o paneles prefabricados (sándwich, de hormigón, tableros, ...). Esta solución es más industrializada y rápida de ejecutar. No obstante, hay que tener en cuenta que muchas de ellas no están contempladas dentro de las soluciones constructivas propuestas por el CTE, por lo que se interpretan como soluciones alternativas, lo que requiere que vayan acompañadas de un Documento Reconocido que garantice el cumplimiento de las prestaciones indicadas por el fabricante.

- **Solución mixta:** se basa en la utilización de una subestructura que se ancla mediante escuadras de carga a la estructura del edificio o canto de los forjados, y tienen apoyos intermedios de apoyo en un cerramiento resistente.

## FUNCIONES

En todos los casos la solución adoptada debe asegurar el cumplimiento de las especificaciones de la hoja interior. Pardal y Paricio (2006) y Pardal (2009) resumen dichos requisitos en:

### Funciones de acondicionamiento:

- Estabilidad de la propia hoja o del conjunto de la fachada.
- Resistencia al fuego
- Atenuación acústica
- Estanqueidad al aire
- Capacidad para soportar el aislamiento térmico
- Confort térmico, aislamiento térmico e inercia térmica
- Planeidad

### Funciones de servicio:

- Acabado interior
- Albergar instalaciones
- Mejora de la seguridad a la intrusión

Para colocar el aislante la cara exterior del soporte no debe tratarse con productos bituminosos (UNE 22203:2011). En la siguiente tabla se sintetizan los tipos de soporte y el tipo de apoyo admitido en función del anclaje que se utilice.

			Tipo de anclaje	
			Puntual	Subestructura auxiliar
Soporte	Fábrica cerámica	Ladrillo Macizo	apto	apoyo simple
		Ladrillo Perforado	apto	apoyo simple
		Ladrillo Hueco	no apto	no apto
		Bloques termoarcilla	apto	solo apoyo simple
	Hormigón	En masa	apto	apto
		Armado	apto	apto
		Bloques huecos	no apto	no apto
		Bloques rellenos	apto	solo apoyo simple
	Estructural	Canto de forjado	apto	apto
		Viga de borde	apto	apto
		Pilar	apto	apto
	Ligero		no apto	no apto

Tabla 4.2. Anclajes y apoyos admitidos en función del soporte. Elaboración propia.

#### 4.2.2. AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislante térmico se coloca recubriendo la cara exterior de la hoja interior de manera continua, cumpliendo la función de reducir las pérdidas y ganancias térmicas. Al recubrir la hoja interior y la estructura de forma continua se suprimen los puentes térmicos, se evitan variaciones bruscas de temperatura, se minimizan los movimientos de origen térmico, reduciendo la transferencia del calor, y se dispone de mayor inercia térmica, ventajas mencionadas anteriormente.

#### CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

Las características que definen a los aislantes son:

##### Propiedades

- Conductividad térmica  $\lambda$  (W/mK): capacidad de un material de transferir calor por conducción. Se considera aislante térmico aquel que tiene una conductividad menor que 0,050 W/mK y una resistencia mayor que 0,25 m<sup>2</sup>k / W.
- Emisividad  $\varepsilon$ : proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a su temperatura.
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua  $\mu$ : factor por el cual el material de construcción presenta una resistencia a la difusión del vapor.
- Calor específico  $c_p$  (J/kgK): capacidad calorífica específica o capacidad térmica específica
- Densidad cuando proceda  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>): masa por unidad de volumen
- Resistencia térmica  $R_t$ : cociente entre el espesor y la conductividad térmica

##### Otros

- Origen
- Reacción al fuego
- Formato
- Precio
- Vida útil
- Consumo energético de producción
- Producción de CO<sub>2</sub>
- Reciclabilidad
- Contenido de producto reciclado
- Biodegradabilidad

#### REQUISITOS

El aislamiento debe cumplir los siguientes requisitos básicos (Montero Fernández de Bobadilla 2007, pp-42-43) y (Vera Soriano 1998, pp. 8-14):

- No ser higroscópico
- Ser impermeable
- Estar aplicado de forma continua
- Ser inalterable en el tiempo
- No ser putrescible
- Ser compatible con el material del anclaje



Hay diferentes tipos de materiales aislantes. Uno de los factores determinantes para su selección es la conductividad térmica, resistencia a la humedad, reacción al fuego, consumo energético de fabricación. En el Catálogo de elementos constructivos del CTE se pueden consultar los tipos de aislantes térmicos que contempla, así como las características que los definen.

Aislantes térmicos				
Material o producto	HE			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
<b>Poliestireno Expandido (EPS)</b>	-	0,039 <sup>(1)</sup> – 0,029	-	20 - 100
<b>Poliestireno Expandido Elastificado (EEPS)</b>	-	0,046 – 0,029	-	
<b>Poliestireno Extruído (XPS)</b>				
Expandido con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	-	0,039 - 0,033	-	100 - 220
Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	-	0,039 - 0,029	-	100 - 220
<b>Lana mineral (MW)</b>	-	0,050 - 0,031	-	1
<b>Espuma rígida de Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)</b>				
Proyección con Hidrofluorcarbono HFC	30 - 60	0,028	-	60 - 150
Proyección con dióxido de carbono CO <sub>2</sub> celda cerrada	40 - 60	0,035 - 0,032	-	100 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento permeable a los gases.	-	0,030 - 0,027	-	60 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento impermeable a los gases.	-	0,025 - 0,024	-	$\infty$
Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	15 - 20	0,040	-	$\leq 20$
<b>Otros materiales aislantes)</b>				
Corcho expandido (ICB) <sup>(2)</sup>				
Arcilla Expandida <sup>(3)</sup>	325 - 750	0,148 – 0,095	-	1
Panel de perlita expandida (EPB) (>80%)	140 -240	0,062	-	5
Panel de vidrio celular (CG)	100 -150	0,050	-	$\infty$
Guata o fieltro de poliéster	20 y 50	0,038 – 0,033	-	
Espuma de polietileno reticular	-	0,072 – 0,038	-	
Espuma de polietileno no reticulado	-	0,042 – 0,035	-	

<sup>(1)</sup> Valor recomendado. Existen tipos de poliestireno expandido con una conductividad de hasta 0,046 W/mK  
<sup>(2)</sup> Vease el apartado 3.3 Maderas  
<sup>(3)</sup> Las características de la arcilla expandida corresponden únicamente al árido suelto

Tabla 4.3. Catálogo de elementos constructivos.  
 (https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog\_infoEConstr/CAT-EC-v06.3\_marzo\_10.pdf). p.21.Consulta 05.05.2019.

A continuación se explican brevemente los aislamiento más habituales y características de varios productos disponibles en el mercado actual:

## LANAS MINERALES

Las lanas minerales son materiales flexibles compuestos por fibras inorgánicas entrelazadas formando un material que mantiene el aire en su interior en estado inmóvil. Son materiales ligeros, con buenas condiciones de aislamiento térmico y acústico y son incombustibles. La composición de la lana mineral varía en función de si se trata de una lana de roca (compuestos en un 98 % de roca de origen volcánico y un 2% de ligante orgánico) o una lana de vidrio (compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga). Los productos a base de lana de roca o lana de vidrio son semirrígidos, de fácil manipulación y flexibles, por lo que se adaptan fácilmente a la forma del soporte. Se presenta en forma de placas o en rollos continuos, con diferentes recubrimientos o sin ellos.

AISLANTE: LANA DE ROCA		Datos técnicos					Impacto ambiental				Dimensiones			
		Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Reacción al fuego	Absorción de agua a corto plazo (Kg / m <sup>2</sup> )	Resistencia al flujo del aire (kPa_s / m <sup>2</sup> )	Absorción acústica ( $\alpha_w$ )	Origen	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Formato (mm)	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> .K/W)
Ecovent 032	VN	0,032	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	> 5 (AFr)	0,80-1,00	Mineral	Sí	Sí. Bajo	No	Panel (600 x 1350)	60-100	0,80-1,00
Ecovent VN 035		0,035	1	Euroclase A1	$\leq 1$ (WS)	> 5 (AFr)	0,70-1,00	Mineral	Sí	Sí. Bajo	No	Panel (600 x 1350)	50-140	0,70-1,00
Ecovent 035		0,035	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	> 5 (AFr)	0,70-1,00	Mineral	Sí	Sí. Bajo	No	Rollo de ancho 120	50-120	1,40-3,40
Acustilaine 070		0,034	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	> 5 (AFr)	0,60-0,90	Mineral	Sí	Sí. Bajo	No	Panel (400/ 600 x 1350)	30-80	0,85-2,35

Tabla 4.4. Productos de lana de roca y características según datos del fabricante. Isover

AISLANTE: LANA DE VIDRIO		Datos técnicos				Impacto ambiental			Dimensiones			
		Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)										
		Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$										
		Reacción al fuego										
		Absorción de agua a corto plazo (Kg / m2)										
		Resistencia al flujo del aire (kPa_s / m2)										
		Absorción acústica (aw)										
		Origen										
		Reciclabilidad										
		Contenido de producto reciclado										
		Biodegradable										
		Formato (mm)										
		Espesor (mm)										
		Resistencia térmica (m2.K/W)										
Smart facade rock 35	0,035	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	$\geq 5$ (AFr)	Mineral	Sí	Sí. Medio-alto	No	Panel (600 x 10000)	50-120	1,40-3,40
Ultravelent Black	0,035	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	$\geq 5$ (AFr)	Mineral	Sí	Sí. Medio-alto	No	Panel semirrígido de anchura 1200	50-120	1,40-3,40
Ultravelent 035	0,035	1	Euroclase A1	$\leq 1$ (WS)	$\geq 5$ (AFr)	Mineral	Sí	Sí. Medio-alto	No	Rollo de anchura 1200	50-200	1,40-5,70
Panel Plus (TP138)	0,032	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	$\geq 20$ (AFr)	Mineral	Sí	Sí. Medio-alto	No	Panel (600 x 1350)	50-160	1,55-5,00
Ultravelent 032	0,032	1	Euroclase A1 no combustible	$\leq 1$ (WS)	$\geq 10$ (AFr)	Mineral	Sí	Sí. Medio-alto	No	Panel (600 x 1250)	50-180	1,55-5,60

Tabla 4.5. Productos de lana de vidrio y características según datos del fabricante. Knauf

## POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico espumado compuesto por un 95% de poliestireno y un 5% de gas. El proceso de fabricación del EPS se compone de 4 etapas: preexpansión, reposo y estabilización, expansión y corte final. Tiene buena resistencia a la humedad, buena resistencia a la compresión e impacto, es ligero, tiene un buen comportamiento térmico y acústico y es reciclable. El EPS es menos denso que el XPS, no va machihembrado, tiene el poro abierto y una menor resistencia térmica. Es poco flexible y se presenta en planchas rígidas.

AISLANTE: poliestireno expandido (EPS)		Datos técnicos				Impacto ambiental				Dimensiones		
		Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Reacción al fuego	Permeabilidad % (mg/(Pa.h.m))	Capacidad térmica (kJ/kgK)	Origen	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Formato (mm)	Espesor (mm)
Knauf Therm Th39 SE	0,039	20-40	Euroclase E	0,018-0,036	1,2	Sintético	Sí	Sí. Bajo	No	Plancha (500 / 1000 x 1000 / 3000)	10-400	0,25-10,25
Knauf Therm Th35 SE	0,035	30-70	Euroclase E	0,01-0,024	1,2	Sintético	Sí	Sí. Bajo	No	Plancha (500 / 1000 x 1000 / 3000)	10-400	0,25-11,40

Tabla 4.6. Productos de poliestireno expandido y características según datos del fabricante. Knauf

**POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS)**

Al igual que el (EPS), el Poliestireno Extruido (XPS) es un material plástico espumado compuesto por un 95% de poliestireno y un 5% de gas. El extrusionado del polímero genera una estructura de burbuja cerrada, lo que le permite mojarse sin perder sus propiedades. Tiene un buen comportamiento térmico y acústico, buena durabilidad y elevada resistencia a la compresión. No es reciclable ni reutilizable. Se trabaja prácticamente igual que el EPS y se presenta también en planchas rígidas con distintos tratamientos de juntas perimetrales y espesores.

AISLANTE: poliestireno extruido (XPS)		Datos técnicos				Impacto ambiental			Dimensiones			
		Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Reacción al fuego	Permeabilidad %	Origen	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Formato (mm)	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> .KW)
Finfoam 300	FK	0,033-0,036	20-40	Euroclase E	≤ 0,7 %	Sintético	Sí	Sí. Bajo	No	Panel (600 x 1250 / 2600)	30-100	0,90-2,95
Chova 250H	FOAM	0,031-0,036	80	Euroclase E	≤ 0,7 %	Sintético	Sí	Sí. Bajo	No	Panel (600 x 1250 / 2600)	30-100	0,95-2,75

Tabla 4.7. Productos de poliestireno extruido y características según datos del fabricante. Chova, ininfoam

### POLIURETANO (PUR) O POLIISOCIANURATO (PIR)

Es un material sintético que se obtiene con la mezcla de petróleo y azúcar, lo que permite la formación de una espuma rígida ligera con más del 90 % de las celdas cerradas y con buen coeficiente de conductividad térmica. Posee una estructura sólida, uniforme y resistente, rápida aplicación y buena adherencia a las superficies, buena capacidad aislante y buenas condiciones de impermeabilidad. Tiene buena resistencia al paso del tiempo y larga vida útil. No obstante, presenta peores condiciones que los materiales naturales en cuanto a su reacción al fuego y consumo energético. Se presenta en formato de paneles rígidos o proyectado directamente sobre el paramento mediante proyección mecánica.

Se deben evitar los que incorporan hidrofluorocarbonos (HFC), gases fluorados de efecto invernadero. No obstante, el Real Decreto 115/2017, de 17 de febrero, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados, llama a una reducción progresiva en su utilización, por lo que muchos fabricantes lo están eliminando en su composición para satisfacer las nuevas exigencias reglamentarias.

Aislante: Poliuretano (PUR)	Datos técnicos					Impacto ambiental				Dimensiones			
	Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Densidad aplicada (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Reacción al fuego	Permeabilidad (kg/m <sup>2</sup> )	Origen	Agente impulsor	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Formato (mm)	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)
Tecnofoam I2008	0,035	12-18	10	Euroclase F	< 2,5	Sintético	Agua	Sí	Sí: Bajo	No	Proyectado	Todos	En función del espesor

Tabla 4.8. Productos de poliuretano y características según datos del fabricante. Tecnofoam

## ECO-AISLAMIENTO

Consisten en productos naturales que usan como materia prima productos animales o vegetales. Consumen poca energía durante su fabricación, son fáciles de reciclar y proceden de fuentes renovables, por lo que son respetuosos con el medio ambiente Pueden ser a base de corcho, cáñamo, lana de oveja, lino, algodón, fibra de madera, fibra de coco, celulosa,...

AISLANTE: ECOAISLAMIENTO	Datos técnicos					Impacto ambiental				Dimensiones		
	Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Reacción al fuego	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción acústica (aw)	Origen	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Formato (mm)	Espesor (mm)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> .KW)
Webertherm Corcho	0,040	$\leq 10$	Euroclase E	110		Vegetal	Sí	No	Sí	Placa (500 x 1000)	30-80	
TQ Ecothermic Fibras de algodón	0,037		Euroclase E	25	0,80	Vegetal	Sí	Sí: Bajo-Alto	Sí	Rollo	40	1,08

Tabla 4.9. Productos de poliuretano y características según datos del fabricante. Weber, Tecnol

A continuación, se muestra una tabla comparativa con las principales propiedades y características de los aislantes disponibles en el mercado que se pueden aplicar en fachadas ventiladas. Los datos para elaborar la tabla se han obtenido de la documentación y fichas técnicas de los fabricantes, Guía "Propiedades de aislantes térmicos para rehabilitación energética" del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes (ANDIMAT).

AISLANTE		Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Resistencia a la difusión del vapor de agua $\mu$	Resistencia a compresión	Origen	Formato	Inflamable	Coste energético producción MJ/kg <sup>2</sup>	Reciclabilidad	Contenido de producto reciclado	Biodegradable	Precio aproximado (€/ m2)
Lana mineral	Lana de vidrio	0,03-0,05	1-1,3	BAJA	Mineral	Panel, rollo	NO	15-50	SI	BAJO	NO	<5
	Lana de roca	0,03-0,05	1	BAJA	Mineral	Panel, rollo	NO	15-25	SI	MEDIO-ALTO	NO	<5
Poliestireno expandido (EPS)		0,029-0,053	20-40	ALTA	Sintético	Plancha	SI	75-125	SI	BAJO	NO	<5
Poliestireno extruido (XPS)		0,025-0,04	100-220	MEDIA	Sintético	Plancha	SI	75-125	SI	BAJO	NO	<15
Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)		0,019-0,040	60-150	MEDIA	Sintético	Plancha, proyectado	SI	70-125	SI	BAJO	NO	<10
Ecoaislamiento	Lana de oveja	0,035-0,050	1-2	BAJA	Animal	Rollo	SI	10-40	NO	NO	SI	<25
	Corcho	0,034-0,100	5-30	MEDIA	Vegetal	Panel, rollo	NO	1-25	SI	NO	SI	<25
	Algodón	0,029-0,040	1-2	BAJA	Vegetal	Rollo	Auto exigible	SI	40-50	BAJO-ALTO	SI	<10
	Fibras de coco	0,043-0,047	1-2	MEDIA	Vegetal	Panel, rollo	NO	SI	1-10	NO	SI	<40
	Cáñamo	0,037-0,045	1-2	MEDIA	Vegetal	Panel, rollo, proyectado	NO	SI	1-40	NO	SI	<25
	Lino	0,037-0,047	1-2	BAJA	Vegetal	Panel, rollo, proyectado	NO	SI	25-40	NO	SI	<25
	Celulosa	0,034-0,069	1-2	BAJA	Vegetal	Panel, rollo, proyectado	Auto exigible	SI	1-25	ALTO	SI	<25
	Fibras de madera	0,038-0,107	1-10	ALTA	Vegetal	Panel, proyectado	SI	SI	5-25	BAJO-MEDIO	SI	<40

Tabla 4.10. Tabla comparativa de aislantes térmicos. Elaboración propia a partir de datos de las siguientes fuentes: IDAE, IVE, ANDIMAT.



### 4.2.3. CÁMARA DE AIRE

La cámara de aire ventilada es el espacio de separación en la sección constructiva de una fachada o de una cubierta que permite la difusión del vapor de agua a través de aberturas al exterior dispuestas de forma que se garantiza la ventilación cruzada (Apéndice A DB-HS1). La norma UNE 22203:2011, en su apartado 3.1, define la cámara ventilada como el “volumen existente entre la superficie interior del elemento de revestimiento y la superficie exterior del aislamiento colocado sobre el soporte, que queda libre para que se produzca el efecto chimenea”.

#### REQUISITOS

- La cámara debe disponerse por el lado exterior del aislante (2.3.2.2 DB HS1).
- La cámara debe permitir la circulación del aire de forma libre y debe estar provista de un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada a la misma en las zonas donde queda interrumpida (2.3.2.2 DB HS1, UNE 22203:2011).
- El espesor de la cámara debe estar comprendido entre 3 y 10 cm (2.3.2.2 DB HS1).
- Deben disponerse aberturas de ventilación cuya área efectiva total sea como mínimo igual a 120 cm<sup>2</sup> por cada 10 m<sup>2</sup> de paño de fachada entre forjados repartidas al 50% entre la parte superior y la inferior. Pueden utilizarse como aberturas rejillas, llagas desprovistas de mortero, juntas abiertas en los revestimientos discontinuos que tengan una anchura mayor que 5 mm u otra solución que produzca el mismo efecto (2.3.2.2 DB HS1). Una ventilación deficiente de la cámara puede derivar en un empeoramiento de la eficiencia energética de la fachada, así como en la formación de condensaciones en el interior de la cámara.
- Para la cuantía de aberturas de ventilación se tienen en cuenta las juntas del revestimiento, las aberturas inferiores y superiores en la cámara, remates con carpinterías y cubiertas.
- Es fundamental el drenaje inferior e intermedio, si los hubiera, para facilitar la salida de agua que entre en la cámara.
- Se debe limitar el riesgo de filtración del agua que pueda quedar retenida en el encuentro de la cámara de aire ventilada con forjados y dinteles. Cuando la cámara quede interrumpida por un forjado o un dintel, debe disponerse un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada o condensada en la misma. Como sistema de recogida de agua debe utilizarse un elemento continuo impermeable dispuesto a lo largo del fondo de la cámara, con inclinación hacia el exterior (2.3.3.5 DB HS1).
- Se deben evitar los estrangulamientos de la cámara, ya que pueden producir su bloqueo parcial, dificultando la ventilación natural, favoreciendo la aparición de condensaciones e impidiendo la evacuación del agua acumulada. Esto puede afectar también al revestimiento, dando lugar a una pérdida de resistencia por absorción de agua o a la aparición de manchas por migración de sales de mortero. Los estrangulamientos se producen fundamentalmente por irregularidades en el aislamiento, acumulación de restos de materiales empleados para la fijación de los anclajes al soporte o el encuentro con elementos de la carpintería (Cerdeño del Castillo, (2007).

Mínima	20 cm <sup>2</sup> /m de fachada en horizontal
Altura $h \leq 3$ metros	50 cm <sup>2</sup> /m de fachada en horizontal
Altura $3 < h \leq 6$ metros	65 cm <sup>2</sup> /m de fachada en horizontal
Altura $6 < h \leq 10$ metros	80 cm <sup>2</sup> /m de fachada en horizontal
Altura $10 < h \leq 18$ metros	100 cm <sup>2</sup> /m de fachada en horizontal

Tabla 4.11. Cuantía de las aberturas de ventilación según altura de la fachada. Instituto Valenciano de la Edificación, Instituto Tecnológico de la Construcción (2011). p. 92.

## LA ENTRADA DE AGUA EN LA CÁMARA

Como se ha comentado anteriormente, el sistema contempla que el agua puede llegar a la cámara. Una vez que el agua ha penetrado en la cámara hay que tener en cuenta una serie de condicionantes.

Para evitar que estas gotas lleguen a la cara exterior de la hoja interior, la cámara deberá tener una anchura suficiente como para agotar la energía cinética de la gota y llevar la trayectoria de la gota hasta una perfecta vertical (Pardal, Paricio 2006).

Para evitar la contribución de la entrada de las gotas de lluvia hacia el interior, las diferencias de presión entre el exterior y la cámara, y entre diversas zonas de la cámara, dicha diferencia no puede ser excesiva. De esta manera se evita que se produzcan turbulencias que hagan que la gota de agua vuele por el interior de la cámara y llegue a mojar la cara exterior de la hoja interior. La fuerza más importante de todas las que actúan sobre el agua en la cámara debe ser siempre la gravedad.

La presión del viento sobre las piezas de fachada puede llegar a ser muy elevada comparada con la que se produce en el interior de la cámara. La presión exterior depende de la altura, la forma del edificio, la proximidad a las esquinas, ... Si la presión no es constante en signo y fuerza en el exterior del edificio, tampoco puede serlo en el interior de la cámara ventilada, ya que ambos espacios están ligados a través de las juntas entre placas.

Para equilibrar las presiones tendrá que cuidarse el diseño de la junta exterior y, si es necesario, la compartimentación de la cámara entre zonas de presiones muy diferentes. Es aconsejable sectorizar las cámaras en todos los cambios de plano de fachada o reforzar en estos puntos los sistemas de anclaje de las placas (Pardal, Paricio 2006).

Chown, Brown y Poirier (1997) abordaron un estudio en el que analizan las fuerzas que pueden conducir a la entrada de agua de lluvia, concluyendo que para minimizar las diferencias de presión del aire en el revestimiento. La investigación concluyó que las siguientes actuaciones contribuyen a equilibrar las presiones exterior e interior, reduciendo así las fuerzas que impulsan el agua hacia el interior de la cámara.

- Agregar orificios
- Controlar el tamaño y la distribución de los orificios de ventilación
- Proporcionar un espacio de aire
- Dividir el espacio de aire en compartimentos
- Incorporar un sistema de barrera de aire en el muro soporte

Siendo la gravedad prácticamente la única fuerza que actúa sobre la gota de agua dentro de la cámara, tendremos que estar seguros de que su acción la conduce hacia las zonas de evacuación hacia el exterior. Para ello, los planos horizontales, como los baberos de evacuación, deben ser estancos y los planos verticales no deben permitir que las gotas de agua se muevan hacia el interior por la tensión superficial o una mínima depresión (Pardal, Paricio 2006). Además, los elementos que conectan la hoja exterior e interior no deben permitir que el agua se mueva hacia el interior.

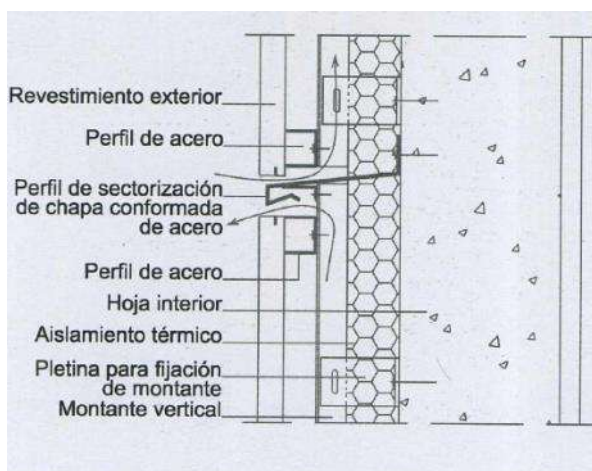
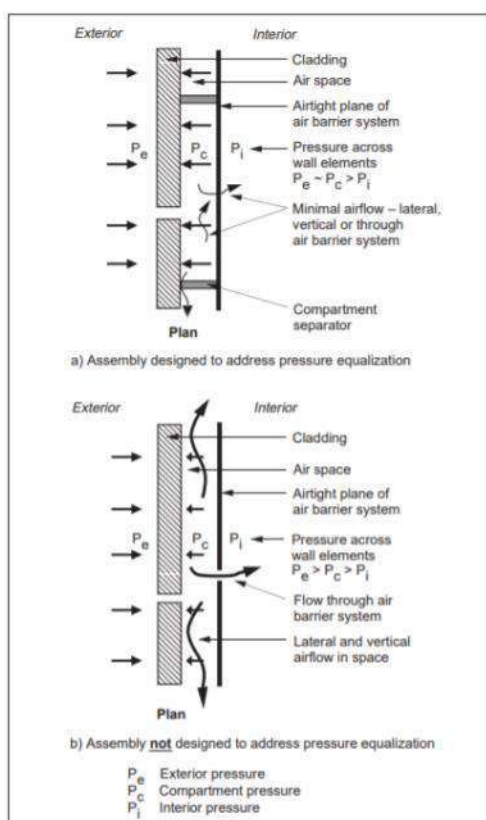
## SECTORIZACIÓN

La sectorización de la cámara colabora en el equilibrio de presiones, pero añade dificultades de ejecución. En España no es una práctica demasiado extendida. Como la sectorización se hace con perfiles que tienen que impedir el paso del aire, también pueden retener el agua y por ello deben evacuarla rápidamente.

Además, hay que garantizar la adecuada ventilación de la cámara en los diferentes tramos (Sánchez-Ostiz 2011). Las especificaciones de la sectorización son (Montero Fernández de Bobadilla, 2007):

- No deben existir rendijas que permitan el escape de aire ni modifiquen la presión interior.
- Debe permitir la salida del agua que penetre por las juntas.
- La existencia de la cámara es imprescindible
- En los encuentros de la cámara con los huecos deben impedirse las infiltraciones.

Tanto la sectorización horizontal dentro de un único plano de fachada, como la que se aconseja realizar en vertical entre distintos planos, tienen como valor añadido la función cortafuegos. En caso de no haber dispuesto un material de aislamiento térmico ignífugo, un posible incendio que progrese del interior del edificio hasta la cámara se verá retenido en un sector sin avanzar por toda la cámara.



Compartimentación vertical	Requisito
En las aristas extremas de cada fachada separando situaciones de presión muy fuerte.	Cada 5 o 6 metros
A 2 metros de las esquinas (cortando la succión producida en los cambios de plano)	
Compartimentación horizontal	Requisito
En el borde superior de cada fachada (esperando situaciones de presión muy fuerte)	Cada 3 o 4 metros (cada planta)

Figura 4.4 (izquierda). Flujos de aire a través y dentro de la cámara de aire ventilada Chown, Brown y Poirier (1997)

Figura 4.5 (derecha). Esquema de compartimentación de la cámara. Sánchez-Ostiz (2011). p.176.

Tabla 4.12. Requisitos para la compartimentación de la cámara. Montero Fernández de Bobadilla (2007). p.25.

#### 4.2.4. JUNTAS

Las juntas entre las placas son abiertas y de espesor variable, dependiendo del subsistema de anclaje utilizado y de su posición en la fachada, de tal manera que permitan el movimiento de las placas y las dilataciones térmicas e hídricas. La norma UNE 22203:2011, en su apartado 6.6.4, clasifica las siguientes juntas en el sistema de fachadas trasventiladas con piedra natural.

- Juntas estructurales: coinciden con las del edificio y tienen su misma anchura y posición.
- Juntas verticales asociadas al soporte: cuando los anclajes se apoyan en un muro o cerramiento, las juntas deben coincidir en posición y anchura con las del soporte.
- Juntas horizontales de compresión: se deben colocar a nivel de forjado con una anchura de 15 milímetros.
- Juntas de perímetro de los paños de fachada: situadas en el perímetro de contorno entre los paños de revestimiento y los elementos rígidos de fachada, como las cornisas, techos en voladizo o el arranque del aplacado sobre el suelo. Su anchura debe ser al menos 10 milímetros.
- Juntas verticales de expansión: su función es el paso del aire. Se deben colocar aproximadamente cada 6 metros y a unos 2 de las esquinas, con una anchura de 10 milímetros.
- Juntas de unión o contorno: son las juntas que se colocan entre placas contiguas. Su anchura mínima debe ser de 2 milímetros, pudiendo alcanzarse los 6 milímetros cuando se utilizan grandes formatos.

#### DIMENSIONADO Y EJECUCIÓN

El dimensionado de la junta depende los siguientes factores:

- Tipo de piedra.
- Capacidad de dilatación de las placas.
- Dimensiones de las placas del revestimiento y distancia entre juntas.
- Flujo de ventilación de la cámara.
- Necesidad de mayor o menor estanquidad en función de la zona climática.
- Cuestiones estéticas.

Por norma general las juntas serán abiertas. En caso de sellar las juntas estructurales el sellado se puede hacer con masilla hasta una anchura de 2 centímetros o cubierto con un tapajuntas para anchuras mayores (UNE 22230:2011). En caso de necesidad de sellado en puntos singulares deberá emplearse un material capaz de absorber los movimientos de dilataciones de las placas de revestimiento. También debe prestarse atención a la incompatibilidad del revestimiento con ciertas siliconas, siendo recomendables las clasificadas como A1 en la Norma UNE 53622 y, en general, siliconas con un pH próximo a 7 (UNE 41957-1:2000). El ancho de junta en estos casos debe ser compatible con el Factor de acomodación del sellante. El dimensionado de la junta en este caso depende, además de los factores indicados anteriormente, de:

- Capacidad de la junta para absorber movimientos, factor de acomodación de movimiento (FAM.)
- Máxima deformación del sellante.

## LA ENTRADA DE AGUA A TRAVÉS DE LAS JUNTAS

Varios autores han estudiado la entrada de agua a través de las juntas y la influencia entre la anchura de la junta y el espesor de la cámara:

Avellaneda (1997) determina que con cámaras de aire entre los 7 y los 9 centímetros de ancho, esta no es determinante en la cantidad de agua que entra, mientras que por debajo de los 7 centímetros de cámara la resolución de la junta sí es un factor determinante. Los ensayos de Avellaneda se hicieron con juntas de 4, 6, 8 y 10 milímetros y placas de 30 y 40 milímetros de espesor, con cámara compartimentada y no compartimentada y con distintas intensidades de precipitación.

Avellaneda y Paricio (2000) remarcan que el ancho de la junta es determinante en la entrada de agua, de tal manera que en juntas de poca anchura la entrada por tensión superficial o energía cinética es prácticamente insignificante mientras que en juntas de un ancho de 10 milímetros ya puede ser abundante.

Pardal y Paricio (2006) indican la relación directa que existe entre el ancho que debe tener la cámara ventilada y el diseño de la junta. Si la cámara tiene un ancho suficiente podemos suponer que la fuerza del viento no hará llegar la gota hasta la hoja interior, por lo que la junta puede ser de sección recta. En el caso de disponer de poco espacio para la cámara es mejor garantizar la obstrucción de la fuerza del viento diseñando juntas o colocando perfiles auxiliares.

Huedo (2010) desarrolla un estudio acerca de la entrada de agua al interior de la cámara en función de la anchura de las juntas horizontales de unión entre las placas del revestimiento, sin tener en cuenta la diferencia de presión entre la cámara y el exterior, ni el confinamiento de cámara. Entre sus conclusiones se destaca que:

- Prácticamente en todas las juntas abiertas se produce entrada de agua, no garantizándose la estanqueidad ni siquiera en el supuesto de juntas de 1 milímetro de anchura.
- Una vez entra el agua, esta discurre en algunos casos por el intradós de la hoja exterior y en otros casos alcanza el aislante térmico. En este último supuesto es fundamental que el material aislante tenga una baja o nula absorción de agua.

Fernández Madrid (2010) presenta un estudio en el que desarrolla un modelo para comprobar el tiempo necesario para conseguir la ecualización y analizar la estanquidad y la cantidad de agua que entra en la cámara. Entre sus conclusiones se destacan las siguientes afirmaciones:

- La cámara debe estar compartimentada, separando las zonas con diferentes presiones.
- “Verticalmente, las esquinas y las franjas laterales, de 2 o 3 m de ancho, deben estar necesariamente compartimentadas”.
- “Horizontalmente, es muy conveniente compartimentar las cavidades de cada piso, o al menos cada dos pisos (máximo 6m). Cuando una cavidad no está compartimentada y apretada, habrá corrientes de aire moviéndose dentro de la cavidad y, por lo tanto, aumentará la cantidad de agua infiltrada a través de conductos de ventilación y juntas.”

En el año 2011 García Bescansa y Fernández Madrid presentan un estudio sobre la relación existente entre la entrada de agua a través de las juntas en aplacados ventilados y las fuerzas que actúan sobre ellas, realizando un ensayo sobre un modelo en laboratorio con una placa de 30 milímetros de espesor y una superficie de 1 metro cuadrado, con anchos de junta de 5 / 7,5 / 10 milímetros y con cámara compartimentada / no compartimentada.

De los resultados obtenidos concluyen que la entrada de agua por la junta está principalmente condicionada por el grado de confinamiento de la cámara, siendo menor cuando la cámara está compartimentada. Con cámara de aire no compartimentada la infiltración de agua es más elevada y en este caso no existen diferencias apreciables por la anchura de la junta. Con cámara de aire compartimentada sí es relevante el ancho de las juntas siendo mayor la entrada de agua cuanto más ancha es la junta y siendo esta porción de agua mayor a la infiltrada por diferencia de presión.

Más recientemente se han presentado dos tesis doctorales tuteladas por Fernández Madrid sobre la contribución de entrada de agua en aplacados ventilados de piedra en función del diseño de las juntas horizontales (García Bescansa, 2015) y verticales (Bouza Cora, 2015).

Los ensayos de García Bescansa se hicieron sobre un modelo en laboratorio, con placas de piedra de 30 milímetros de espesor, fijadas con un perfil continuo de aluminio con sección en forma de T y uñas de retención en la parte superior, con anchos de junta de 5 / 7,5 / 10 milímetros, con cámara compartimentada / no compartimentada, con agua y viento / sólo con agua y con canto recto / acanalado / biselado / rebajado. De los resultados obtenidos el estudio concluye que la menor infiltración de agua por juntas horizontales se produce, en el caso de cámara no compartimentada, con las juntas de 10 milímetros y las placas con canto biselado, seguido de juntas de 5 milímetros y canto rebajado, juntas de 10 milímetros y canto rebajado, juntas de 10 milímetros y canto recto. La mayor infiltración de agua se produce con juntas de 5 milímetros y canto acanalado. En el caso de cámara de aire compartimentada la menor infiltración de agua se produce con placas con canto rebajado o biselado, independientemente de la anchura de las juntas, seguido de canto rectos y canto acanalado.

Los estudios de Bouza Cora se hicieron sobre un modelo en laboratorio, con placas de piedra de 30 milímetros de espesor, fijadas con anclajes puntuales de carga y de retención en las juntas horizontales, con anchos de junta de 5 / 7,5 / 10 milímetros, con cámara compartimentada / no compartimentada, con agua y viento / sólo con agua y con canto recto / acanalado / rebajado. De los resultados obtenidos el estudio concluye que la menor infiltración de agua por juntas verticales se produce, en el caso de cámara no compartimentada, con junta acanalada independientemente del ancho de la junta, seguido de juntas lisas con una anchura de 10 milímetros. La mayor infiltración se produce con juntas de 10 milímetros y canto recto. Con cámara compartimentada la menor infiltración de agua se produce con junta acanalada independientemente del ancho de la junta.

La cantidad de agua que se infiltra por las juntas verticales es baja independientemente de su diseño y notablemente inferior a la que se produce en las juntas horizontales. En ambos estudios se confirma que con cámara de aire compartimentada la infiltración es menor que con cámara de aire sin confinar.

## REQUISITOS Y RECOMENDACIONES

De manera general se pueden establecer las siguientes recomendaciones de cara al diseño de juntas en proyecto:

- Las juntas deben permitir la dilatación de las placas además de asegurar la compatibilidad con el subsistema de anclaje.
- Todos los sistemas requieren un dimensionado de juntas, que tendrán un espesor suficiente para permitir el libre movimiento y dilatación de la placa. Deberá prestarse atención en caso de piedras con altos coeficientes de dilatación. En función de la zona climática se puede requerir juntas inferiores, con un mínimo de 5 milímetros.
- Para la definición de juntas de contorno se debe comprobar el coeficiente de dilatación de la variedad de piedra seleccionada.
- Las juntas estructurales del edificio y juntas en el soporte deben ser compatibles con el subsistema de anclaje utilizado.
- Las juntas de dilatación entre placas deben ser compatibles con el subsistema de anclaje y con las juntas verticales y horizontales entre perfilería, si las hubiera, de tal manera que este pueda asumir los esfuerzos que recibe a causa de los movimientos diferenciales de origen térmico entre las placas del revestimiento y el muro soporte.
- En climas húmedos se debe comprobar la entrada de agua. En zonas húmedas y con alta incidencia de precipitación se recomienda valorar sistemas de anclajes cuyo diseño evite el riesgo de fracturas en las placas por el efecto cuña al solidificarse el agua depositada en el interior de los taladros. En el caso de sistemas que incluyan travesaños continuos se recomienda la utilización de un modelo que prevea la evacuación del agua de lluvia.
- En el caso de anclajes puntuales, se tendrán en cuenta las juntas de dilatación de la estructura y del muro soporte. En el caso de anclajes con perfilería se tendrán en cuenta las juntas de dilatación de la estructura, del muro soporte y de los montantes, que deben ser compatibles. Las juntas de dilatación del edificio coincidirán con una junta vertical de sistema, colocando doble montante. En el despiece definitivo se comprobará que las juntas de dilatación de los montantes coincidan con juntas en las placas.
- También de cara al diseño de la junta del despiece, se debe tener en cuenta la diferencia entre juntas en función de la existencia de anclajes en mismas. En los casos en los que hay anclajes, estos determinarán la junta mínima en función del espesor del anclaje y del espacio mínimo de movimiento que requiere a cada lado. En las juntas en las que no haya anclajes se puede utilizar una junta mínima en función del coeficiente de dilatación de la variedad seleccionada.

#### 4.2.5. SUBSISTEMA DE ANCLAJE

Se define subsistema de anclaje como el conjunto de elementos resistentes que transmiten al soporte los esfuerzos que recibe mecánicamente del revestimiento (UNE 22203:2011). La resistencia de los anclajes se basa en 4 reglas fundamentales (Vera Soriano 1998):

- Distancia entre anclajes próximos
- Distancia a los bordes del soporte
- Resistencia del soporte
- Longitud del empotramiento en la fábrica

#### REQUISITOS GENERALES

De acuerdo a lo indicado en la norma UNE 22203:2011, para la elección de un tipo de anclaje se tiene que tener en cuenta lo establecido en la Norma UNE 41957-1. Los anclajes para revestimiento deben tener, con carácter general, las siguientes características:

- Las varillas de retención y los anclajes de bulón deben ser de acero inoxidable.
- Los anclajes de ranura o grapas deben ser de aleación de aluminio o de acero inoxidable.
- Los subsistemas de perfilera metálica deben ser de aluminio o de acero inoxidable.
- El bulón y las grapas de los anclajes de ranura deben estar revestidos con una camisa de teflón o material similar flexible y resistente a las acciones de intemperie, que minimice los efectos de concentración en el contacto, así como evitar sonidos indeseados por golpeo con la piedra.
- Los anclajes deben ser regulables en las direcciones requeridas en cada caso.
- El fabricante debería justificar el tipo de anclaje más idóneo, entre los de su catálogo, a partir de los valores de las sollicitaciones que les afecten en cada caso proyecto en particular.
- Cuando exista contacto entre materiales de diferente naturaleza, se debe analizar su compatibilidad para evitar que se forme par galvánico.

#### CONSIDERACIONES PARA UNA FIJACIÓN ADECUADA

##### Resistencia y durabilidad

- Se debe asegurar una durabilidad suficiente de los anclajes durante la vida útil del edificio.
- Los anclajes deben resistir las fuerzas del viento y del peso propio y ocasionales esfuerzos de impacto y sismo, así como transmitir adecuadamente las cargas al soporte, lo cual influirá en la adecuada elección del tipo de subsistema de anclaje en función del tipo y dimensiones de las placas del revestimiento, así como el despiece seleccionado.
- Deben resistir los esfuerzos por deformaciones reológicas, térmicas o de comportamiento de la estructura del edificio (Cerdeño del Castillo, 2007). También debe resistir dichos esfuerzos del soporte. En este sentido influirá el tiempo que pasa entre la ejecución del soporte y la colocación de los anclajes sobre el mismo, por lo que conviene esperar un tiempo mínimo.
- Debe vigilarse, tanto en fase de proyecto, como en la puesta en obra, la distancia entre el punto de situación del anclaje y los bordes de la fábrica soporte.



- Debe evitarse la acumulación de deformaciones en los anclajes por apoyo de las placas superiores sobre las inferiores y la transmisión de cargas por peso propio a anclajes de retención.

### Configuración y diseño

- Todos los elementos del subsistema de anclaje en contacto con el exterior deben ser de acero inoxidable.
- Deben tener una configuración que evite la acumulación del agua que pueda llegar al interior de la cámara y que esta llegue hasta el aislante térmico y soporte.
- También debe evitar la acumulación de suciedad o en su caso, facilitar su eliminación.
- No debe exigir confirmados complejos en las placas de piedra ni dificultar su puesta en obra. También deben facilitar la reparación o sustitución de elementos, en su caso.
- Deben permitir libertad de despieces al proyectista y permitir la ejecución de los puntos singulares: encuentro con carpinterías, remates superior e inferior, resolución de la esquina, ...

### Compatibilidades

- El subsistema de anclaje elegido debe ser compatible con el tipo de piedra utilizado en las placas del revestimiento y con el tipo de soporte al mismo tiempo, ya que ambos son materiales de distinta naturaleza. Además, una vez colocado el sistema completo de fachada el anclaje únicamente debe permitir el movimiento de las placas de piedra en su propio plano. La elección del revestimiento es importante ya que determinados tipos de piedra presentan deformaciones térmicas o por su propio peso elevadas y elecciones inadecuadas pueden derivar en deformaciones excesivas o roturas generalizadas en los anclajes (Gerdeño del Castillo, 2007), tal y como se ha indicado en el capítulo 3.
- Deben permitir la incorporación de un espesor suficiente de aislante, en cumplimiento de los requisitos normativos.
- Se debe tener en cuenta la corrosión galvánica que se puede producir en los contactos aluminio-acero inoxidable, especialmente en el caso de atmósferas agresivas. La norma UNE 22203:2011 introduce una serie de recomendaciones generales, aunque avisa de que los casos específicos requieren estudios particulares.
  - Seleccionar la combinación de metal más próxima al aluminio en la serie galvánica.
  - Cuando se realicen uniones con distintos metales prever que la superficie del metal más resistente tenga una superficie menor que la el menos resistente.
  - Aislar eléctricamente los dos metales a unir cuando sea posible (arandelas, juntas aislantes, lacado).
  - Hacer el contacto galvánico en las zonas menos agresivas del conjunto del anclaje.
  - Evitar uniones con superficies con contactos mínimos
  - En perfilería de aluminio es recomendable que su superficie sea lacada como medida de protección.
  - Especial cuidado con las uniones atornilladas.

Metal Base	Metal de la unión atornillada		
	Aluminio y aleaciones de aluminio	Acero inoxidable martensítico	Acero inoxidable austenítico
Aluminio y aleaciones de aluminio	A	No recomendado	B
Acero inoxidable ferrítico	AC	A	A
Acero Inoxidable austenítico	AC	A	A

A No aumenta la corrosión del metal base por la unión atornillada.  
 B El aumento de la corrosión del metal base es independiente a la unión atornillada.  
 C El metal base aumenta la corrosión de la unión atornillada.  
 NOTA El tratamiento de la superficie y el medio ambiente pueden modificar la actividad.

Tabla 4.13. Especificaciones para uniones atornilladas. Norma UNE 22203:2011. p.22.

### Seguridad en la unión piedra - anclaje

- Se debe evaluar riesgo de acción hielo/deshielo sobre el agua depositada en los taladros o en las ranuras del revestimiento (UNE 41957-1:2000).
- En el caso de perforaciones en la placa del revestimiento para anclajes de bulón o de ranura, el orificio o canaladura debe ser más profundo que la longitud del anclaje.
- En el caso de anclajes de bulón el pasador de conexión deberá ser de diámetro igual o mayor a 4 milímetros y permitir que el pasador se introduzca en la placa al menos 25 milímetros en zonas sin riesgo sísmico elevado. Se recomienda evitar el contacto directo entre la placa y el pasador o cualquier otra parte metálica. Los casquillos irán enfundados de un casquillo de nylon y arandelas de material elastomérico en los anclajes en juntas horizontales (UNE 41957-1:2000).
- En todos los anclajes debe ser interpuestas arandelas o casquillos separadores elásticos de nylon o EPDM entre el anclaje y la piedra para evitar el contacto entre los mismos, ya que ese contacto irregular puede producir roturas y puntas de tensiones.
- Se recomienda que los orificios en el canto de la placa de piedra sean practicados en taller, de tal manera que se mantenga el paralelismo a las caras exteriores de las placas, y nunca en la obra, lo que causa graves problemas por excentricidad y exceso de diámetro.

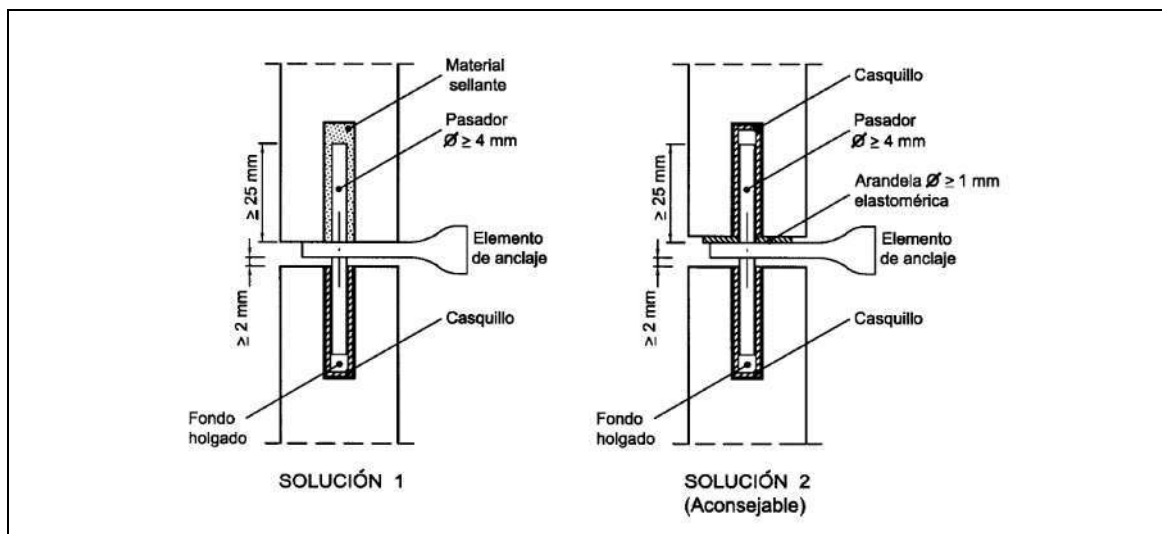


Figura 4.6. Soluciones recomendadas para evitar el contacto entre la placa de revestimiento y el pasador. Norma UNE 41957. p.13.

### CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN

POR LA FIJACIÓN AL SOPORTE																	
EMPOTRADO											SOLDADO	ATORNILLADO					
EMPOTRADO CON MORTERO			ANCLAJE QUÍMICO			ANCLAJE MECÁNICO			TIRANFONDO Y TACO DE NYLON								
Taladro en el soporte que se rellena con mortero cementoso o polímero y posteriormente se introduce el anclaje.			Taladro en el soporte en el que se coloca un taco químico y posteriormente el anclaje atornillado.			Taladro en el soporte en el que se coloca un taco expansivo mecánico y posteriormente el anclaje atornillado.			Taladro en el soporte en el que se introduce el taco de nylon de y posteriormente el tirafondo atornillado.		Sistema empleado cuando el soporte es una estructura metálica. Las uniones soldadas deben cumplir las Normas UNE-EN 288-1 y UNE-EN 288-2						
USO HABITUAL																	
SOPORTES DE FÁBRICA			SOPORTES HUECOS O MACIZOS			SOPORTES DE MASA HOMOGÉNEA			SOPORTES HUECOS O MACIZOS		SOPORTE ESTRUCTURAL METÁLICO						
LADRILLO PERFORADO	LADRILLO MACIZO	BLOQUES DE TERMOARCILLA	LADRILLO PERFORADO	BLOQUES DE TERMOARCILLA	BLOQUES DE HORMIGÓN	HORMIGÓN ARMADO / EN MASA	LADRILLO MACIZO	HORMIGÓN EN MASA	HORMIGÓN ARMADO	Sólo con cargas ligeras o ménsulas de apoyo.		CANTO DE FORJADO	VIGA DE BORDE	PILAR			
POR LA FORMA DE TRABAJO																	
PUNTUAL O DIRECTO						MEDIANTE SUBESTRUCTURA AUXILIAR											
Apoyo directo al soporte.						Subsistema compuesto por una subestructura metálica intermedia entre el revestimiento y el soporte.											
REGULACIÓN																	
NO REGULABLES				REGULABLE				REGULABLE									
PARTES																	
CUERPO		PASADOR		CUERPO		VARILLA ROSCADA DE REGULACIÓN		DISPOSITIVO DE SUJECIÓN DE LA PLACA		MÉNSULAS		PERFILERÍA VERTICAL (MONTANTES)		OPCIONAL: PERFILERÍA HORIZONTAL (TRAVESAÑOS)		ANCLAJE	
POR EL ASPECTO AL EXTERIOR																	
VISTOS						OCULTOS											
TONILLO PASANTE			UÑETA			BULÓN		RANURA CONTINUA		RANURA AISLADA		TACO DE PRESIÓN		TORNILLO + ADHESIVO			
POR SU FUNCIÓN																	
SUSTENTACIÓN						RETENCIÓN											
Anclajes de carga. Soportan los esfuerzos horizontales debido a la presión del viento y sismo y los esfuerzos verticales debido al peso propio.						Únicamente soportan los esfuerzos horizontales debido a la presión del viento y sismo.											
POR SU POSICIÓN CON RESPECTO A LA PLACA																	
JUNTA HORIZONTAL				JUNTA VERTICAL				REVERSO DE LA PLACA									
BULÓN		UÑETA		RANURA AISLADA		RANURA CONTINUA		BULÓN		UÑETA		TACO DE PRESIÓN		TORNILLO + ADHESIVO		TORNILLO PASANTE	

Tabla 4.14. Clasificación de elementos de fijación. Elaboración propia.

#### 4.2.6. SISTEMAS DE FIJACIÓN PARA LA UNIÓN AL SOPORTE

Estos anclajes son los elementos encargados de transmitir las cargas de la fachada al soporte y/o a la estructura. La elección del sistema de fijación al soporte depende en gran medida del tipo, material y capacidad de carga del soporte, aunque también influyen otros aspectos como la estabilidad o el coste.

#### SEGURIDAD EN LA UNIÓN AL SOPORTE

La resistencia de las fijaciones para la unión al soporte depende, en términos generales de (Vera Soriano, Ficha Técnica editada por ASEMAS N°6 “Revestimientos”):

- Material del soporte.
- Distancia al borde del soporte.
- Homogeneidad de la zona del posible cono de rotura
- Longitud del vástago

La Norma UNE 41957-1:2000 establece las siguientes recomendaciones:

- Cuando el soporte sea de fábrica cerámica o bloques de hormigón:
  - Excentricidad generada por el revestimiento
  - Flexión inducida por las cargas horizontales de viento y sismo
  - Estabilidad del anclaje
  - Integridad de la fábrica por la proximidad del anclaje al borde, dinteles, jambas y coronación.
  - Respetar las armaduras de las fábricas armadas, no se deben cortar ni romper
- Cuando el soporte es de hormigón armado
  - Tener en cuenta si se trata de hormigón fisurado a efectos de dimensionado e idoneidad de la fijación.
  - Tener en cuenta el armado del hormigón para no fijar en las zonas de recubrimiento del hormigón.

#### CLASIFICACIÓN DE FIJACIONES POR SU TIPOLOGÍA

##### Empotrados

- Con mortero: es el sistema más tradicional. Se emplea en soportes resistentes, abriendo el orificio en el soporte que se rellena con mortero aditivado y posteriormente introduciendo el anclaje. No entran en carga inmediatamente y tienen una regulación limitada, ya que únicamente se permite su ajuste durante el tiempo de fraguado del mortero. Con este sistema únicamente se utilizan anclajes directos no regulables, por lo que han ido quedando en desuso en este tipo de fachadas.

Los morteros empleados en este sistema deben ser tipo grout, es decir, con base cemento sin retracción o ligeramente expansivos (Vera Soriano, 1998).

- Químicos: los anclajes químicos funcionan con resinas sintéticas. Trabajaban por adherencia y no ejercen presión de expansión. Se colocan abriendo el orificio en el soporte e introduciendo la mezcla con una cánula. Después se introduce el anclaje y se espera el tiempo de secado. Se pueden utilizar en todo tipo de soportes, aunque es más adecuado para soportes huecos. En este caso se utiliza un elemento tamiz para favorecer la difusión de la resina. Alcanzan sus capacidades de carga en función de la resina utilizada para adherirse al material. Pueden entrar en carga inmediatamente y ser regulables. Con este sistema se pueden utilizar anclajes directos o mediante subestructura auxiliar.

El empleo de morteros de resinas -normalmente epoxídicas- debe ser evaluado ante el riesgo de incendio, dado que la estabilidad por encima de los 70°C está comprometida a causa de la bajada de módulo en los polímeros (Vera Soriano, 1998).

- Mecánicos: estos anclajes se caracterizan por utilizar medios mecánicos para hacer la fijación. Se colocan abriendo el orificio en el soporte e introduciendo el taco expansivo mecánico en el que se introduce el tornillo. Son útiles en soportes homogéneos, entran en carga inmediatamente y pueden ser regulables. Tienen una alta resistencia y se pueden utilizar con cargas altas. Al igual que con los anclajes químicos, se pueden utilizar anclajes directos o mediante subestructura auxiliar.
- Tiranfondo y taco de nylon: se puede emplear este tipo de fijación para cargas ligeras o en el caso de ménsulas de apoyo intermedio que no sean de carga. Se pueden utilizar en soportes macizos y huecos.

### **Soldados**

Su uso habitual es en soportes metálicos, aunque también pueden utilizarse en otros soportes como elementos de hormigón armado de poco espesor o antepechos. Pueden estar soldados a placas que se hayan fijado previamente a la estructura o bien posteriormente mediante tacos. Pueden entrar en carga inmediatamente y ser regulables.

### **Atornillados**

Se utilizan habitualmente con soportes metálicos aunque también pueden utilizarse en otros soportes como estructura de hormigón o antepechos. Pueden estar atornillados a perfiles de la estructura, a perfiles embebidos en los previstos para ello o a la subestructura de perfiles metálicos. Pueden entrar en carga inmediatamente y ser regulables. Se utilizan con sistemas mediante subestructura auxiliar.

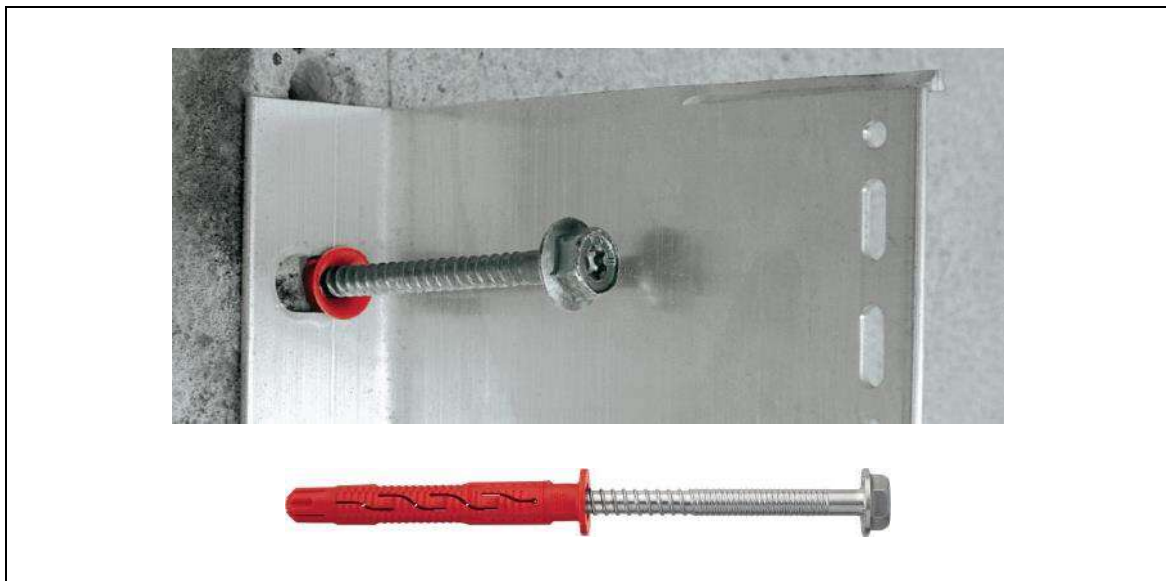
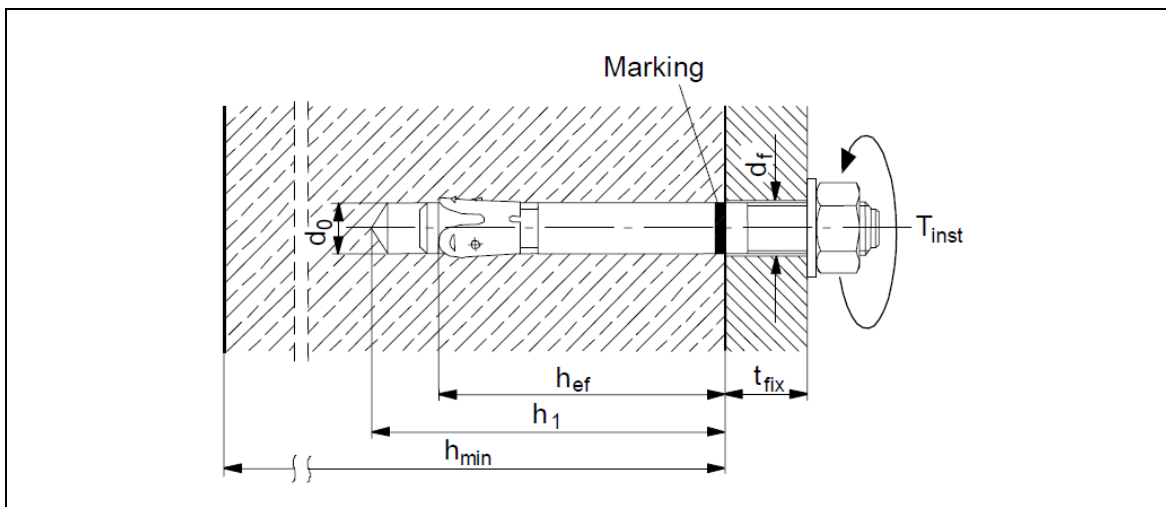
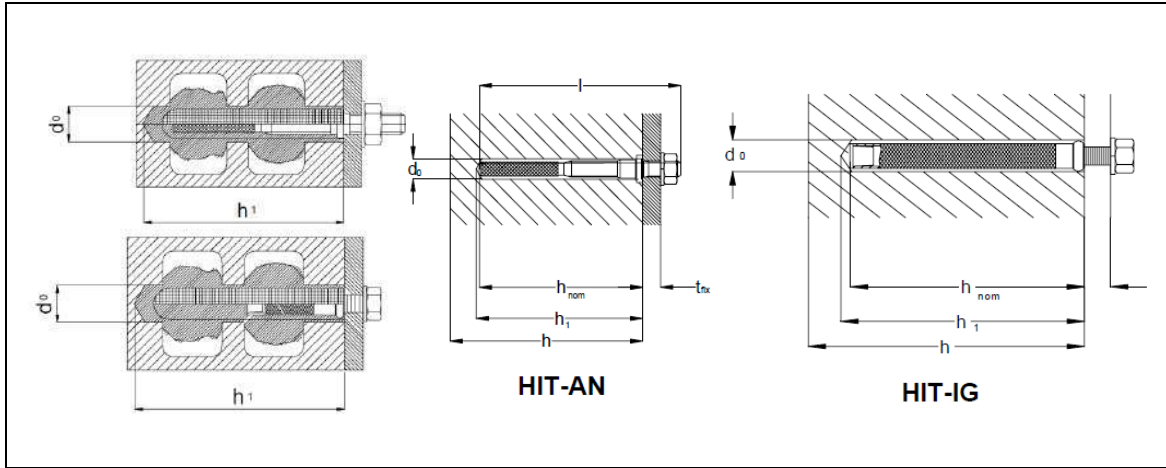


Figura 4.7. (arriba). Anclajes químicos en soporte de ladrillo perforado (izquierda) y de hormigón (derecha). HILTI HIT.  
 Figura 4.8. (centro). Anclaje mecánico en soporte de hormigón. HILTI HST. DITE 98/0001. Catálogo del fabricante.  
 Figura 4.9. (abajo). Anclaje de tirafondo y taco de nylon. Hilfi. Catálogo del fabricante

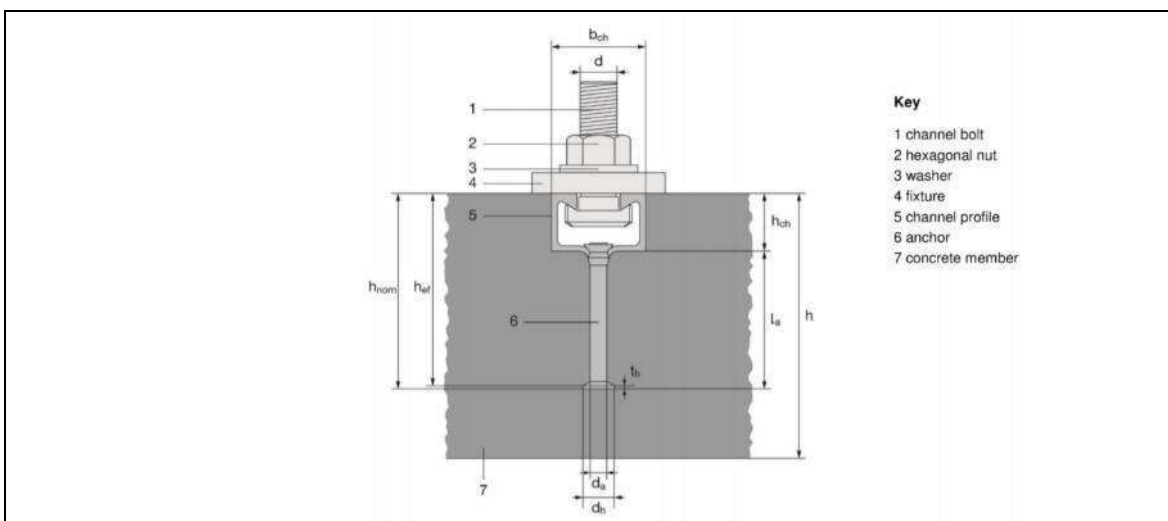
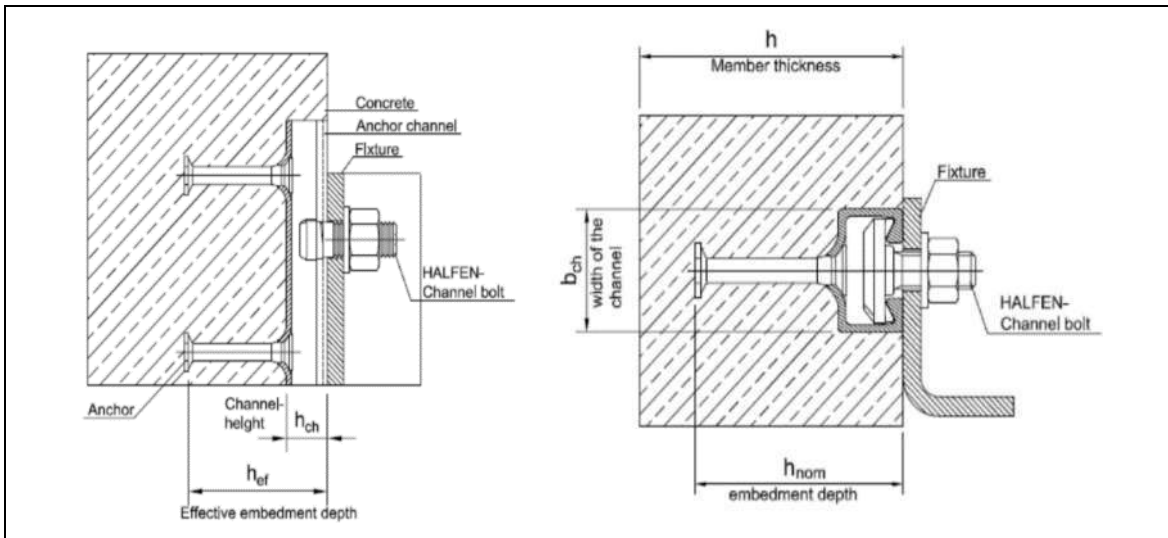
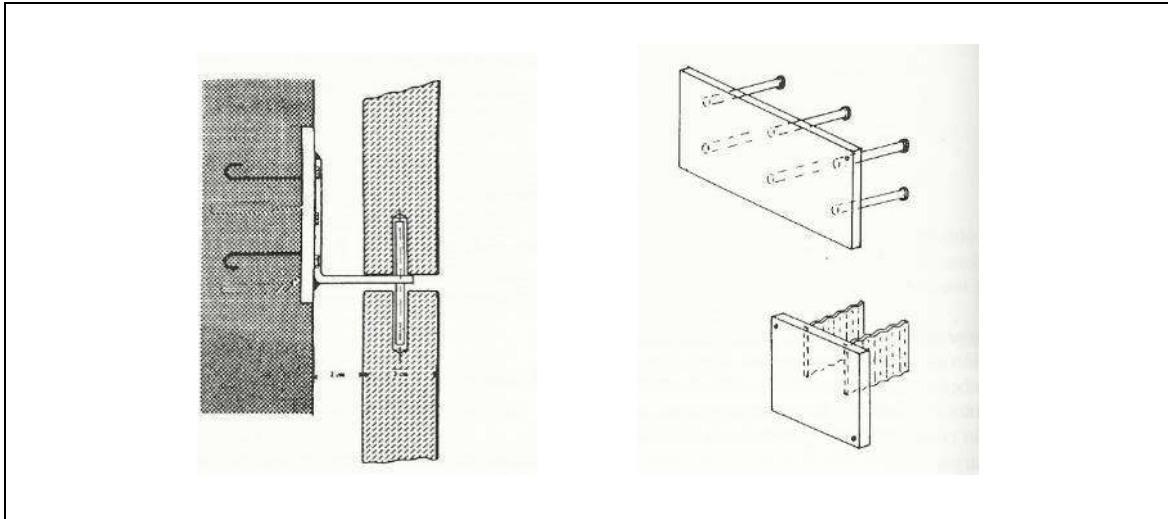


Figura 4.10. (arriba). Anclajes fijados con placa de soldadura. López Jimeno, Carlos; et al... (2012). Manual de rocas ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación. Gráficas Arias Montano, Madrid. pp.591-592  
 Figura 4.11. (centro). Anclajes atornillados en carril embebido HALFEN HTA. ETA-09/0339. Catálogo del fabricante.  
 Figura 4.12. (abajo). Anclajes atornillados en carril embebido HILTI HAC. ETA-17/0339. Catálogo del fabricante.

## **CLASIFICACIÓN DE FIJACIONES POR SU FORMA DE TRABAJO**

En el Manual técnico de anclajes HILTI (2019) se identifican y definen tres formas distintas de trabajar, explicadas a continuación.

### **Por fricción / rozamiento**

La fuerza de tracción aplicada al anclaje se transmite al soporte por fricción. Al expansionar la cabeza contra el material base, bien a través del par de apriete, bien mediante el desplazamiento controlado de una pieza dentro del anclaje, se aumenta el contacto anclaje-soporte, logrando transmitir el esfuerzo.

El contacto se realiza en una zona reducida, por lo que la presión que se ejerce contra el material soporte es muy alta y se puede producir la rotura de este si se excede la carga que es capaz de resistir. Por este motivo no se pueden emplear estos anclajes en soportes poco resistentes. En materiales resistentes es importante respetar las separaciones de los anclajes entre sí y la distancia a los bordes. Suelen trabajar de este modo los anclajes mecánicos.

### **Por forma**

Se adapta al material base por su forma, de tal manera que al girar la camisa del anclaje la cabeza metálica no expande directamente contra el material soporte, sino que lo taladra y se va introduciendo poco a poco en este, creando un cono de contacto entre el anclaje y el soporte.

En este caso, la fuerza de tracción aplicada al anclaje se transmite mediante unos esfuerzos perpendiculares al cono del anclaje, logrando que el anclaje tenga un excelente comportamiento frente a las cargas. Pueden trabajar de este modo anclajes algunos anclajes mecánicos que quedan embebidos o algunos anclajes químicos para materiales perforados que se adapta al soporte al utilizar el tamiz.

### **Por adherencia**

En este caso el anclaje queda unido al soporte por adherencia mediante la resina. Al contar con una superficie mayor de transmisión de cargas esta se distribuye a lo largo de la varilla del anclaje, haciendo que la presión sobre el soporte sea menor.

Estos anclajes distribuyen la carga en una superficie más o menos cilíndrica alrededor de la varilla permitiendo unas separaciones entre anclajes y distancias a borde, por lo general, menores que los mecánicos. Suelen trabajar de este modo los anclajes químicos.



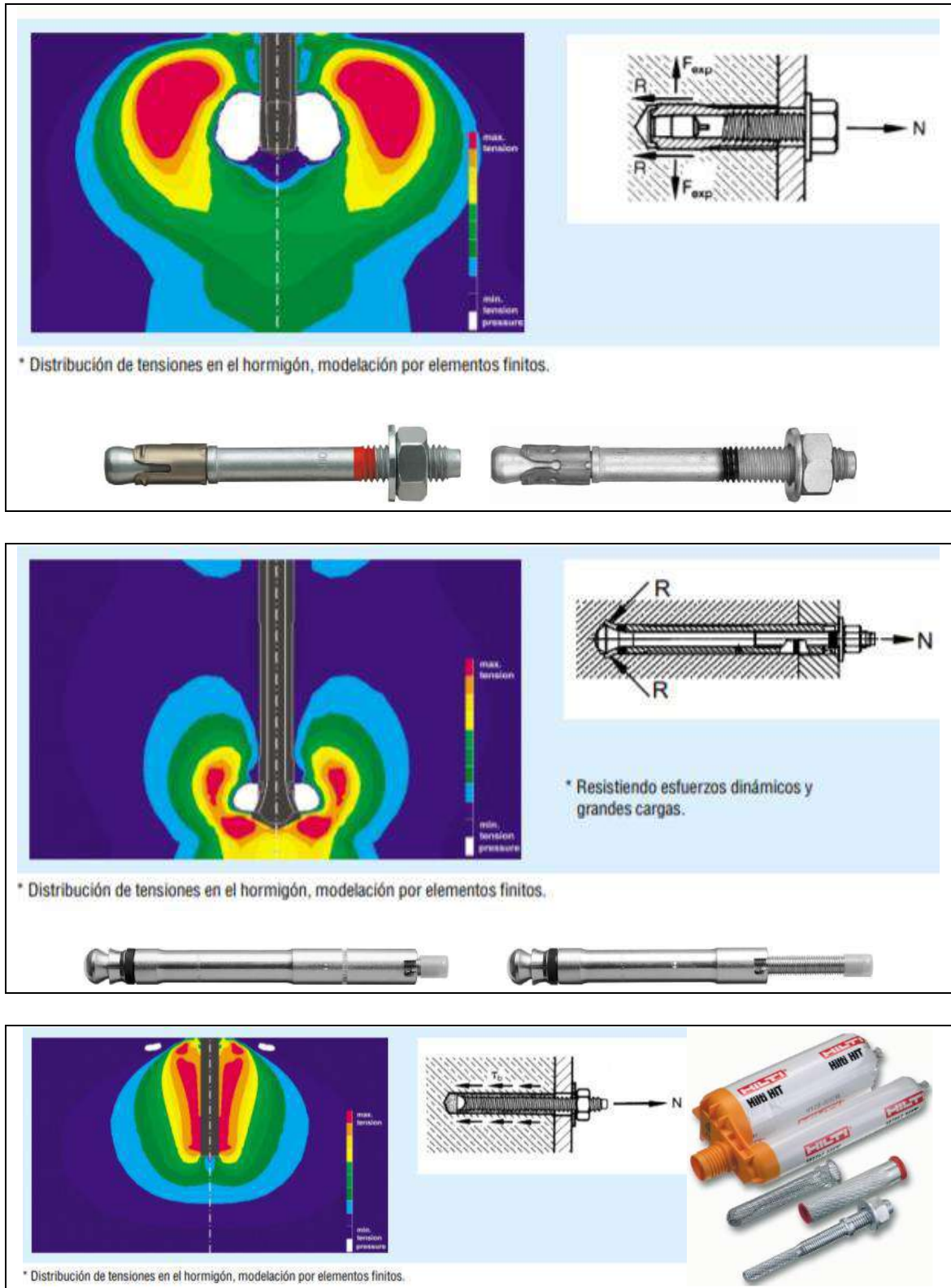


Figura 4.13. (arriba) Distribución de tensiones en hormigón por rozamiento. Manual técnico de anclajes HILTI. 2019. p.5.6, 44

Figura 4.14. (centro) Distribución de tensiones en hormigón por forma. Manual técnico de anclajes HILTI. 2019. p.5.6, 5.26

Figura 4.15. (abajo). Distribución de tensiones en hormigón por adherencia. Manual técnico de anclajes HILTI. 2019. p.5.6, 5.21

### 4.3. COMPARATIVAY ANÁLISIS DE SUBSISTEMAS DE ANCLAJE

En términos generales los sistemas de fijación se pueden englobar en dos grandes grupos: anclajes directos (con fijación de mortero, con fijación mecánica) y anclajes mediante subestructura de perfilera (montantes o montantes y travesaños). Como hemos visto anteriormente, cada uno de ellos tiene distintas variantes en función del fabricante, especialmente en el caso de anclajes mediante subestructura. Además, las necesidades concretas de un proyecto en particular pueden requerir el estudio detallado y la aplicación de variaciones sobre el sistema estándar, desde sencillas modificaciones a diseños complejos.

El comportamiento de los anclajes depende del subsistema utilizado. Se analizan a continuación los aspectos más significativos. Para ello se ha establecido la siguiente clasificación de acuerdo a los subsistemas más habituales en el mercado actual.

De las numerosas clasificaciones existentes, de cara al proyecto y selección del subsistema de anclaje se recomienda trabajar con dos clasificaciones. Por un lado, por la forma de trabajo del subsistema y, por otro lado, por la forma de unión a la placa.

#### Clasificación por la forma de trabajo

- Anclajes puntuales regulables
- Mediante subestructura regulable de montantes
  - Sistema de anclajes de cara + anclajes de apoyo a soporte
  - Sistema forjado a forjado
- Mediante subestructura de montantes y travesaños
  - Sólo travesaños
  - Travesaños + grapas
  - Sistema de anclajes de cara + anclajes de apoyo a soporte
  - Sistema forjado a forjado

#### Clasificación por la unión a la placa

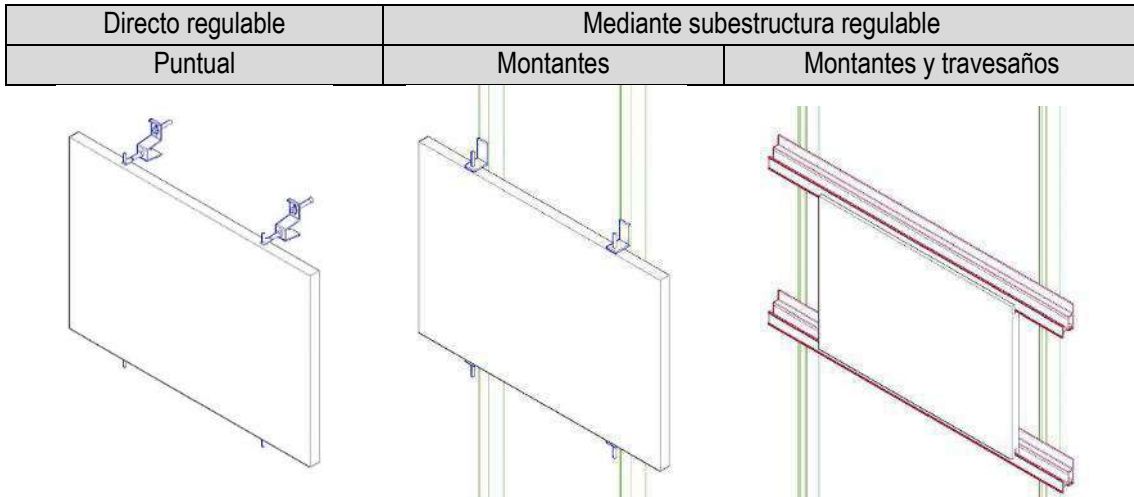
- Anclajes en el canto de la placa:
  - Canto vertical:
    - Bulón: de continuación
    - Grapa pivote: de continuación, de remate lateral
  - Canto horizontal:
    - Grapas de uña vista: de remate inferior, de remate superior, de continuación
    - Bulón: de remate inferior, de remate superior, de continuación
    - Grapa pivote: de remate inferior, de remate superior, de continuación
    - Grapa de puntual: de remate inferior, de remate superior, de continuación
    - Grapa de discontinua: de remate inferior, de remate superior, de continuación
    - Grapa de ranura continua: de remate inferior, de remate superior, de continuación
- Anclajes en el reverso de la placa
  - Anclaje oculto por destalonado
  - Grapa uña inclinada (para puntos singulares)

En las páginas siguientes se hace una comparativa de los subsistemas de anclaje a partir de su comportamiento en función de la clasificación por la forma de trabajo y un análisis de las soluciones más habituales de acuerdo con la siguiente clasificación. La selección de las 10 soluciones a analizar se ha realizado a partir de la observación detallada y el estudio de los sistemas que ofrecen distintos fabricantes nacionales e internacionales (Anexo 1), de tal manera que se pretende dar un enfoque global y generalizado del panorama actual.

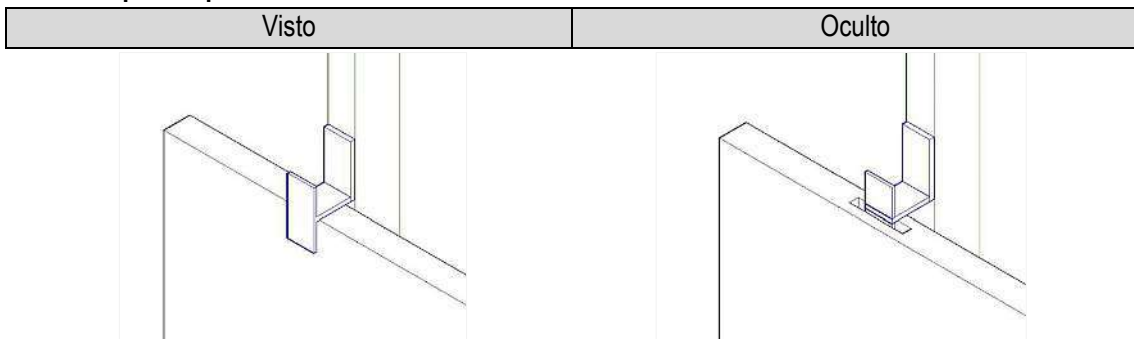
SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS											
Unión al soporte	Soporte	Resistente		Resistente / No resistente							
	Unión al soporte	Directo regulable		Mediante subestructura regulable							
		Puntual		Montantes					Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición respecto a la placa	Junta horizontal	Junta vertical	Junta horizontal	Junta vertical	Junta horizontal		Junta horizontal	Reverso de la placa		
	Aspecto	Oculto		Oculto			Visto	Oculto			
	Tipo de grapa: unión placa - anclaje	Bulón / pivote	Bulón / pivote	Bulón / pivote	Bulón / pivote	Ranura discontinua	Ranura aislada	Uñeta	Ranura continua	Ranura aislada	Destalonado de fondo
SOLUCIÓN ANALIZADA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabla 4.14. Elaboración propia

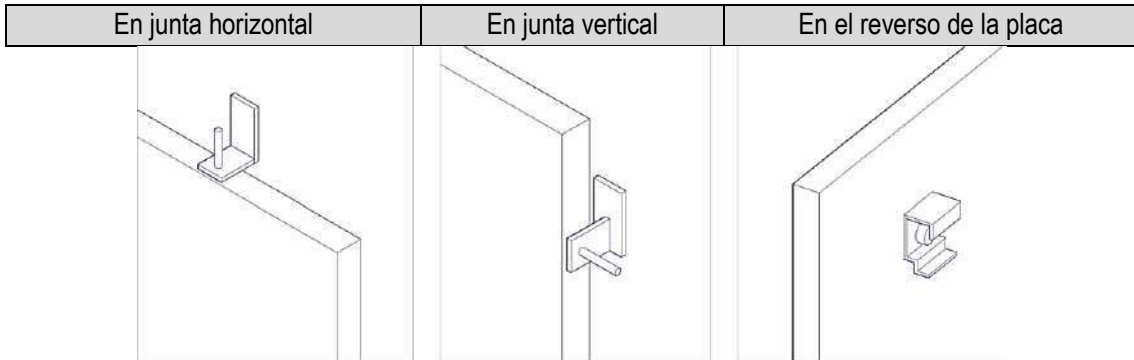
**a. Subsistemas de anclaje**



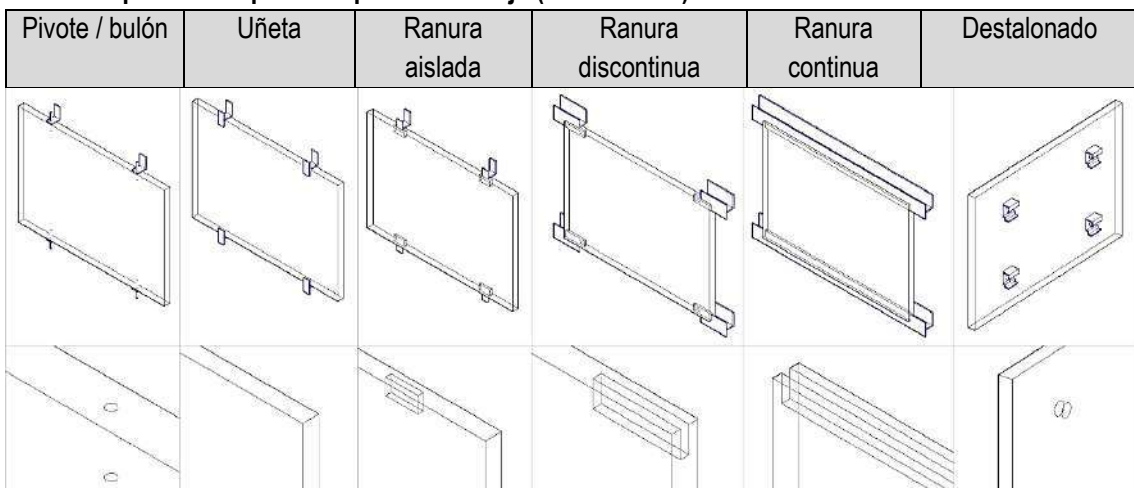
**b. Grapas: aspecto**



**c. Grapas: posición en placa**

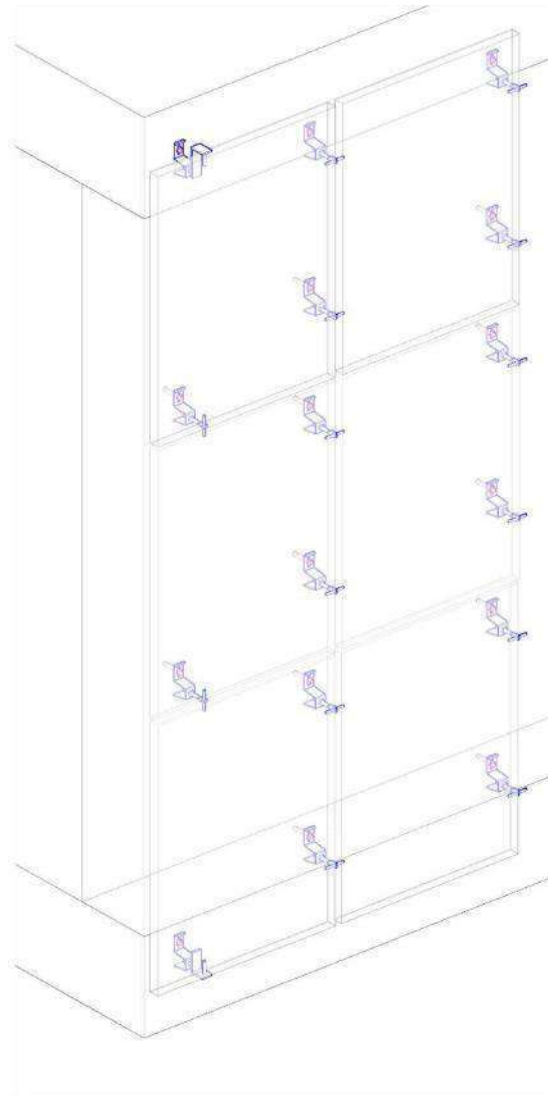
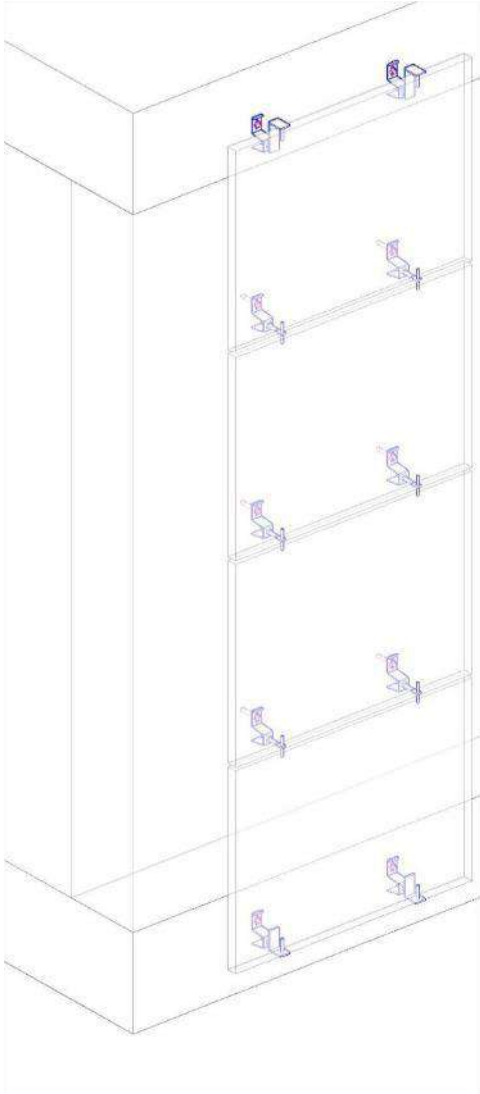


**d. Grapas: unión placa de piedra - anclaje (mecanizado)**



Figuras 4.16, 4.17, 4.18 y 4.9. Elaboración propia

### 4.3.1 ANCLAJES DIRECTOS



## DEFINICIÓN

Este subsistema consiste en anclajes puntuales que transmiten las cargas del revestimiento directamente al soporte. Comprende los anclajes puntuales directos, ya sea empotrados al muro soporte o fijados mecánicamente.

Los anclajes empotrados son los más simples para su utilización en cerramientos portantes. Se introducen en taladros en el soporte rellenos de resinas epoxi o mortero aditivado sin retracción. La regulación es limitada y únicamente se consigue durante el proceso de fraguado del relleno, aprovechando la diferencia de diámetro entre el taladro y el eje roscado del anclaje, y dependiendo de la habilidad del montador. Aunque tienen una capacidad de resistencia compatible con despieces de placas de piedra, ha ido cayendo en desuso, quedando relegado fundamentalmente a casos con despieces sencillos, placas de dimensiones intermedias o reducidas y cámaras de poco espesor. Por este motivo no se va a contemplar este tipo de anclajes en la etapa de análisis.

Los anclajes fijados mecánicamente, aunque con un coste mayor, ofrecen ventajas respecto a los anteriores y su uso se ha generalizado durante varias décadas. Resisten mayores cargas y son compatibles con espesores de cámara más elevados. Además, se facilita la puesta en obra al tener regulación en 2 o 3 direcciones.

## ELEMENTOS DEL SISTEMA

Este subsistema está compuesto por los siguientes elementos:

Elementos del sistema	Criterios a definir	Descripción	Función
Anclajes	Número / Posición	4 puntos de anclaje en canto vertical	Anclajes inferiores de carga y superiores de retención.
		4 puntos de anclaje en canto horizontal	Cada anclaje es de carga de la placa superior y de retención de la inferior.
Fijaciones	A la estructura	Estructura de hormigón armado	Carga
		Estructura metálica	Carga
		Estructura mixta	Carga
	Al muro soporte	Hormigón armado	Carga
		Fábrica de ladrillo resistente	Carga
		Bloques de hormigón rellenos	Carga

Tabla 4.15. Elementos del sistema de anclajes directos. Elaboración propia

## FIJACIÓN DEL REVESTIMIENTO

En los anclajes directos la fijación de la placa se produce mediante un pivote, bulón o uña en el extremo libre del anclaje. El diseño y configuración de los mismos dependerá del fabricante, pero su funcionamiento no varía. Cada anclaje funciona como elemento de carga de la placa superior y retención de la placa inferior. Para la fijación de cada placa se requieren 4 puntos de fijación y 4 anclajes.

El diseño de los anclajes varilla o bulón permite que puedan ubicarse en la junta vertical o en la junta horizontal. La distancia óptima entre el eje del anclaje y el borde de la placa es  $0,21 L$  (UNE-EN 22203), siendo  $L$  el lado de la placa en el que instalan los anclajes, aunque se deberán comprobar las indicaciones del fabricante o requerir el cálculo por parte de la oficina técnica, en su caso. Los anclajes con terminación en forma de uña únicamente permiten su posición únicamente en la junta horizontal. Cuando se utilizan anclajes en las juntas horizontales es importante que se controle que se dejan las adecuadas holguras o colocación de elementos flexibles, ya que de lo contrario podría terminar sucediendo que las placas no apoyen todo su peso en las fijaciones inferiores, sino que se reparta en los 4 puntos de fijación.

En este tipo de anclajes se debe determinar la resistencia del anclaje de acuerdo a la norma UNE-EN 13364 y con el espesor de placa real, comprobando que su resistencia alcance un valor mínimo de  $0,5 \text{ KN}$  y supere en un 20% el peso de la placa.

### **REQUISITOS DEL DESPIECE**

A la hora de proyectar el despiece del revestimiento debe tenerse en cuenta la compatibilidad del mismo con las juntas estructurales del edificio y con las juntas en los materiales del soporte, de tal manera que una misma placa no se fije a soportes con movimientos independientes.

### **MECANIZADO DE LA PLACA**

- Taladro en los cantos (vertical u horizontal)
- Ranura puntual en cantos horizontales.

Este sistema requiere mecanización de los cantos de las placas compatible con el tipo de anclaje: ranura puntual para los anclajes de uña y taladro para los de pivote o bulón. Algunos fabricantes ofrecen anclajes con una fijación de uña vista, de uso recomendado en el caso de utilizar placas con tendencia a la exfoliación, en cuyo caso la fijación es vista y no requiere mecanizado de placa.

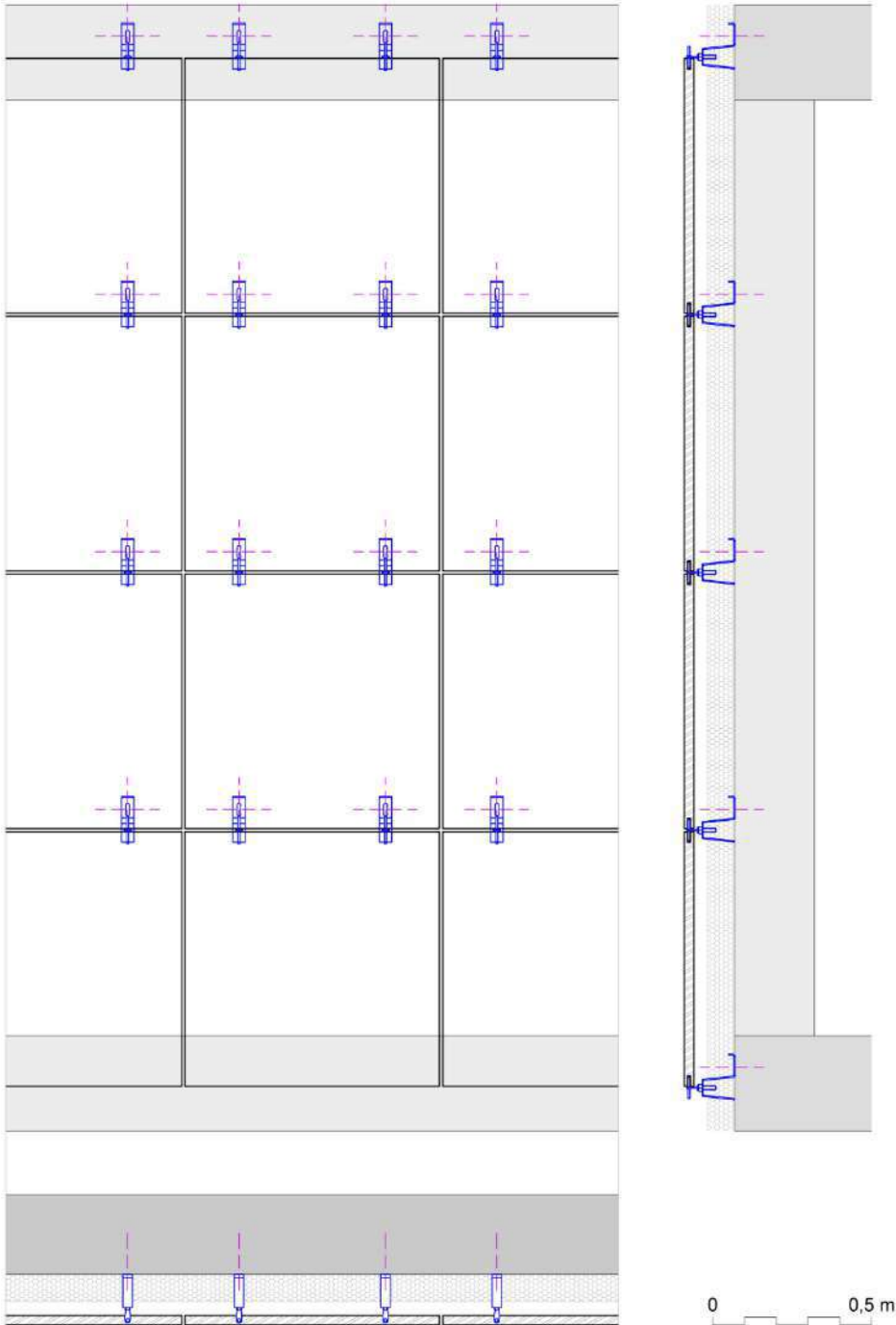
### **LIMITACIONES DEL SISTEMA**

Los sistemas de anclajes puntuales tienen una limitación en cuanto a vuelos, es decir, la distancia entre la cara exterior del muro soporte y el eje del bulón o grapa de anclaje. Esta distancia máxima dependerá del fabricante y del modelo, pero en caso de espesores elevados (generalmente a partir de 120 milímetros) se deberá comprobar la longitud de ménsula y la capacidad de carga del anclaje. Los nuevos requerimientos en cuanto a espesores de aislamientos requeridos para cumplir la justificación de los DB del CTE han impulsado que varios fabricantes dispongan de herramientas para ampliar ligeramente el vuelo máximo mediante la incorporación de dispositivos de refuerzo.

También algún fabricante ha incluido en su catálogo anclajes puntuales especialmente diseñados para cargas elevadas, como el modelo UNA/UHA de Halfen, que admite cámaras de hasta 30 milímetros de espesor. Estos modelos tienen un coste superior al de los anclajes puntuales estándar y no todos los fabricantes disponen de estas opciones. Los sistemas con perfilera, en cambio, son compatibles con la instalación de mayores espesores de aislamiento y de cámaras.

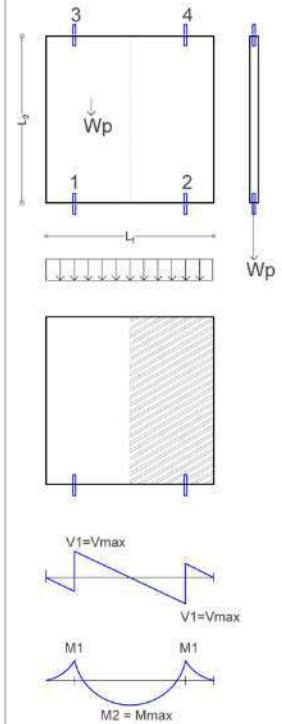
# Solución 1 ANCLAJES DIRECTOS REGULABLES

Configuración: anclajes ubicados en junta horizontal

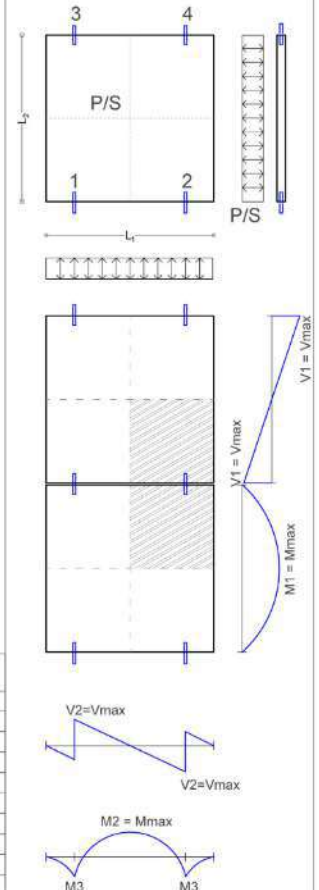


## Reparto de cargas

### Peso propio



### Presión / succión



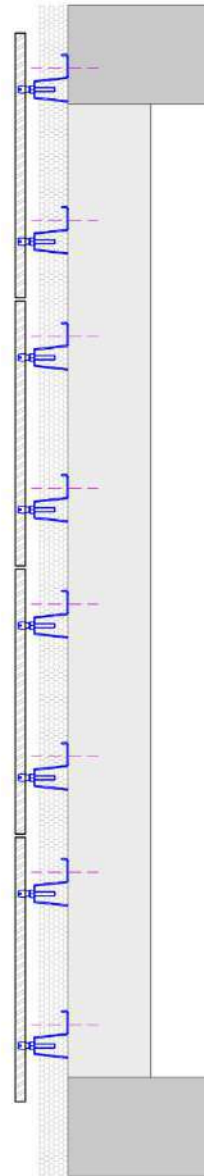
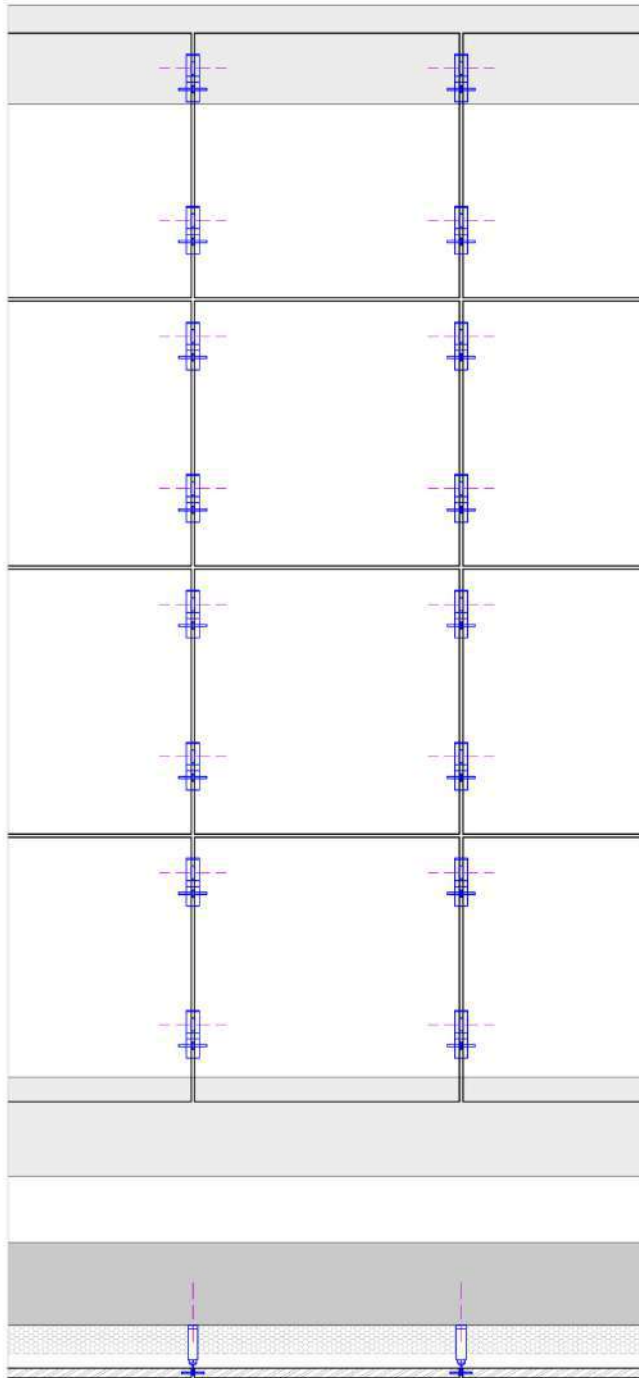
### Elementos básicos para definir el despiece

Placas	Dimensiones	si proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte
Anclajes	Mecanizado	Perforación de taladros en los cantos horizontales, profundidad superior a la longitud del pivote. Acabado oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas verticalmente comparten fijación
	Posición	En el canto horizontal, $L_1$ . La distancia óptima del eje del pivote al borde de la placa es de $0,21 L_1$
Fijaciones	Función	Anclajes inferiores de carga (fuerzas horizontales + verticales) y superiores de retención (fuerzas horizontales)
	Reparto de cargas	Cada anclaje soporta $\frac{1}{2}$ de la carga total del peso propio de la placa y $\frac{1}{2}$ del total de esfuerzos de P/S de las placas
	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
Replanteo	Tipo	si material y condiciones del soporte
	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte



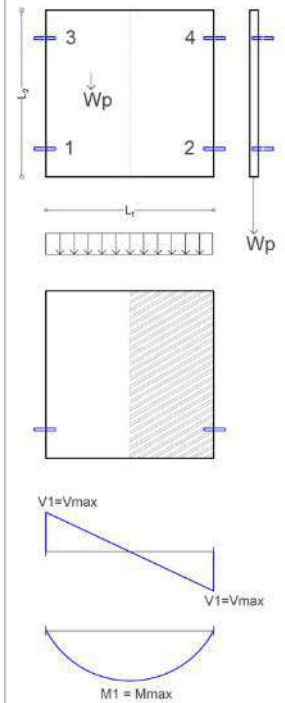
## Solución 2 ANCLAJES DIRECTOS REGULABLES

Configuración: anclajes ubicados en junta vertical

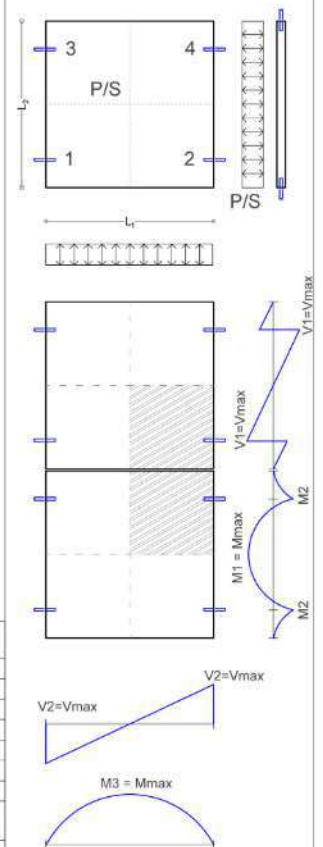


### Reparto de cargas

#### Peso propio



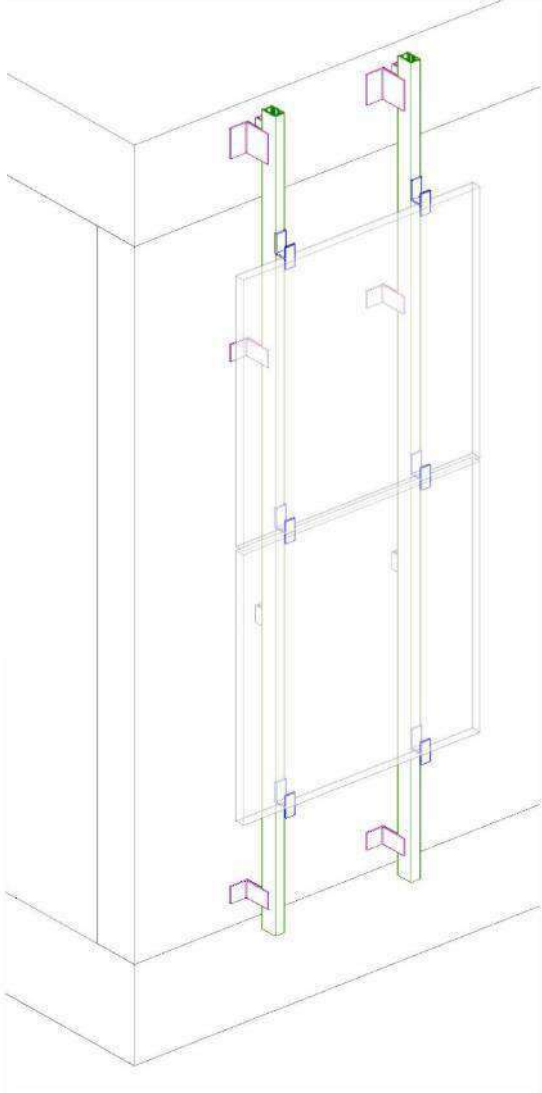
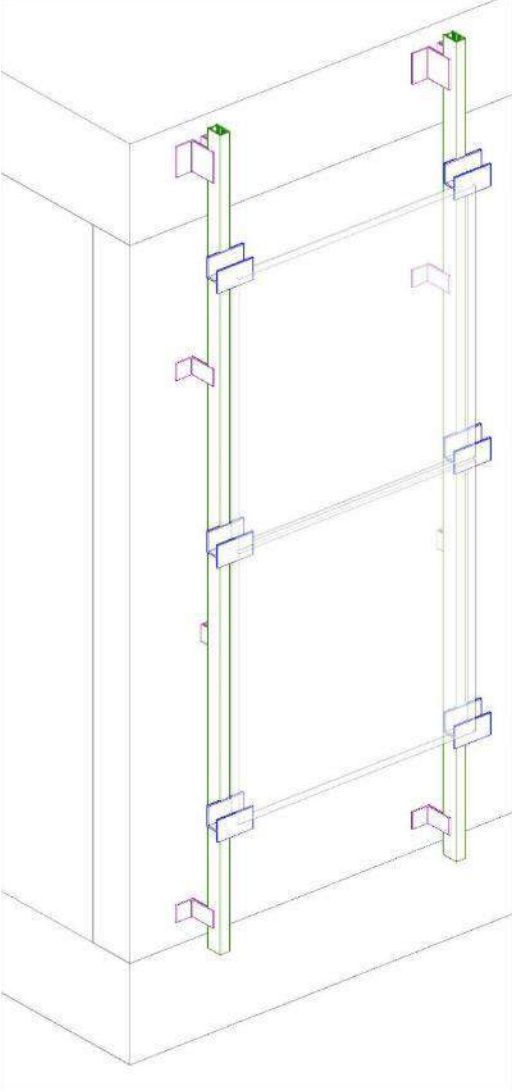
#### Presión / succión



### Elementos básicos para definir el despiece

Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta vertical s/ anclaje, junta horizontal libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte
	Mecanizado	Perforación de taladros en los cantos verticales, profundidad superior a la longitud del pivote. Acabado oculto
Anclajes	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas horizontalmente comparten fijación
	Posición	En el canto vertical, $L_2$ . La distancia óptima del eje del pivote al borde de la placa es de $0,21 L_2$
	Función	Anclajes inferiores de carga (fuerzas horizontales + verticales) y superiores de retención (fuerzas horizontales)
	Reparto de cargas	Cada anclaje de carga soporta $\frac{1}{2}$ de la carga de peso propio de cada placa contigua y $\frac{1}{4}$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua. Cada anclaje de retención soporta $\frac{1}{4}$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua.
Fijaciones	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
	Tipo	s/ material y condiciones del soporte
Replanteo	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte

4.3.2 ANCLAJES CON SUBESTRUCTURA DE MONTANTES



## DEFINICIÓN

Este subsistema consiste en la utilización de una serie de montantes a los que se fijan las placas del revestimiento mediante grapas de fijación y que transmiten las cargas mayoritariamente a la estructura del edificio. Frente al sistema anterior, esta solución permite incluso liberar al soporte de toda carga y transmitir todas las acciones del revestimiento a la estructura si se utiliza un sistema de forjado o forjado.

## ELEMENTOS DEL SISTEMA

Este subsistema está compuesto por los siguientes elementos:

Elementos del sistema	Criterios a definir	Descripción	Función
Grapas anclaje piedra	Número / Posición	4 puntos de anclaje en canto vertical	Anclajes inferiores de carga y superiores de retención.
		4 puntos de anclaje en canto horizontal	Cada anclaje es de carga de la placa superior y de retención de la inferior.
		4 puntos de anclaje mínimo en el reverso de la placa	Todos los anclajes son de carga
Montantes	Altura máxima	Definida por fabricante	Transmitir las cargas de las placas a los montantes
	Distancia máxima entre montantes	Definida por fabricante	
	Vuelo máximo	Definido por fabricante	
Escuadras	Distancia máxima	Definida por fabricante	Controlar dilataciones de montantes. Asegurar planeidad de la fachada Definir el espesor de la cámara.
	Sistemas verticales	A la estructura	Carga
		Al soporte	Apoyo simple
	Sistema forjado a forjado	A la estructura	Carga
Fijaciones	A la estructura	Estructura de hormigón	Carga
		Estructura metálica	Carga
		Estructura mixta	Carga
	Mixto: mediante acción combinada de ménsulas de carga en estructura + ménsula de apoyo en el soporte	Hormigón armado	Carga
		Fábrica de ladrillo resistente	Carga
		Bloques de hormigón rellenos	Carga
		Hormigón armado / en masa	Apoyo simple
		Ladrillo	Apoyo simple
		Bloques de termoarcilla	Apoyo simple
		Bloques de hormigón	Apoyo simple

Tabla 4.16. Elementos del sistema de montantes. Elaboración propia

Las escuadras cumplen dos importantes funciones. Por un lado, controlar las dilataciones de los montantes mediante la utilización de puntos de unión fijos y puntos de unión rasgados que permiten el libre desplazamiento. La morfología de las escuadras depende del fabricante, en general son piezas bastante

similares en forma de L o de U que incorporan varios puntos de unión y muestras para adaptarse a múltiples configuraciones. Se requiere un cálculo para determinar el número, tipo y posición de los puntos de unión montante-escuadra.

Por otro lado, asumen la función de asegurar la planeidad del plano de la fachada ventilada. Para los casos con desplomes notables algunos fabricantes incluyen unas piezas especiales que permiten asumir y rectificar el desplome consiguiendo el aplomado del conjunto.

En función de la configuración del subsistema se pueden distinguir varios tipos:

- Escuadras para sistemas verticales. En este sistema se utilizan dos tipos de escuadras, de tal manera que se asegure la libre dilatación de los montantes: escuadras de carga que funcionan como puntos fijos y se fijan generalmente a la estructura. Soportan los esfuerzos de peso propio del revestimiento y elementos de fijación además de la parte proporcional de esfuerzos debido al viento; y escuadras de apoyo, que funcionan como puntos deslizantes que soportan únicamente la parte proporcional de esfuerzos debidos al viento y se fijan al soporte.

Pueden ser de aluminio o de acero inoxidable. Las de aluminio suelen incorporar una pieza plástica que evita el puente térmico y el par galvánico mientras que en las de acero esto no es necesario ya que tiene un coeficiente de conductividad térmica inferior. En el caso de utilizar una solución para la certificación Passivhaus algunos fabricantes ofrecen escuadras especiales más exigentes para la reducción de los puentes térmicos, aunque con una capacidad de carga inferior.

- Escuadras para sistemas forjado a forjado. La diferencia frente a las anteriores es que se instalan únicamente en los cantos de los forjados, de tal manera que cada montante se atornilla a una única escuadra que funciona como escuadra de carga y soporta todas las acciones transmitidas. Esta escuadra de carga suele ubicarse en la parte superior del montante. Generalmente cada perfil se conecta al siguiente a través de un elemento conector que conforma una junta de dilatación entre montantes. Este elemento únicamente se fija a un montante, de tal manera que el otro montante se desliza sobre el conector en el momento de su dilatación.

En ambos casos existen en el mercado opciones de escuadras que permiten conectar en dos montantes contiguas fijándose una de ella con apoyo fijo y la otra con apoyo deslizante.

Los montantes se unen a las escuadras y una vez asegurado el aplomado del subsistema se atornillan con tornillos autotaladrantes. Se tendrá en cuenta la longitud máxima de los montantes, siendo la más habitual la equivalente a una planta, aunque en algunos fabricantes se admiten longitudes superiores. En cualquier caso, se tendrán en cuenta los apoyos requeridos. Cada montante se fija "colgado" mediante una o dos escuadras de carga en el canto del forjado superior, viga o muro de carga. Si el muro soporte lo permite, se dispondrán anclajes intermedios de apoyo, cuya función es de retención, teniendo en cuenta la distancia máxima permitida entre apoyos. Si el único punto de apoyo permitido es el canto de forjado, el montante se fijará con anclaje de carga al forjado superior y con anclaje de apoyo al anclaje inferior. En cualquier caso, se debe tener en cuenta el vuelo máximo del perfil, esto es, la distancia máxima entre el punto de apoyo y el extremo del montante.

La distancia entre montantes dependerá del formato y tipo de despiece, así como de las grapas empleadas para la fijación de las placas. Se debe respetar la distancia máxima entre montantes, así como la junta mínima entre montantes contiguos según fabricante, a efectos de permitir la libertad de movimientos. Otro aspecto fundamental de cara a la libre dilatación de los montantes es que todos los montantes alineados

dilaten en la misma dirección, ya que dilataciones sobre una placa en sentidos opuestos podrían llegar a producir su rotura.

### **FIJACIÓN DEL REVESTIMIENTO**

La fijación de la placa se puede hacer mediante diferentes tipos de grapas o fijaciones. En caso de utilizar anclajes de pivote o bulón se tendrá en cuenta lo indicado anteriormente para los anclajes directos. Los tipos de grapas que ofrecen la mayoría de los fabricantes son:

- Placas fijadas con anclaje de bulón en junta horizontal
- Placas fijadas con anclaje de bulón en junta vertical
- Placas fijadas con anclaje de ranura puntual en junta horizontal
- Placas fijadas con anclaje de uñeta vista / oculta en junta horizontal

### **REQUISITOS DEL DESPIECE**

Se debe asegurar la compatibilidad de movimientos, de tal manera que una misma placa no puede estar fijada a dos montantes, lo que habrá que tener en cuenta al diseñar el despiece.

### **MECANIZADO DE LA PLACA**

- Taladro en los cantos (vertical u horizontal)
- Ranura puntual en cantos horizontales.
- Ranura discontinua en cantos horizontales.

Este sistema requiere mecanización de los cantos de las placas compatible con el tipo de anclaje: ranura puntual para los anclajes de uña y taladro para los de pivote o bulón. Algunos fabricantes ofrecen anclajes con una fijación de uña vista, de uso recomendado en el caso de utilizar placas con tendencia a la exfoliación, en cuyo caso la fijación es vista y no requiere mecanizado de placa.

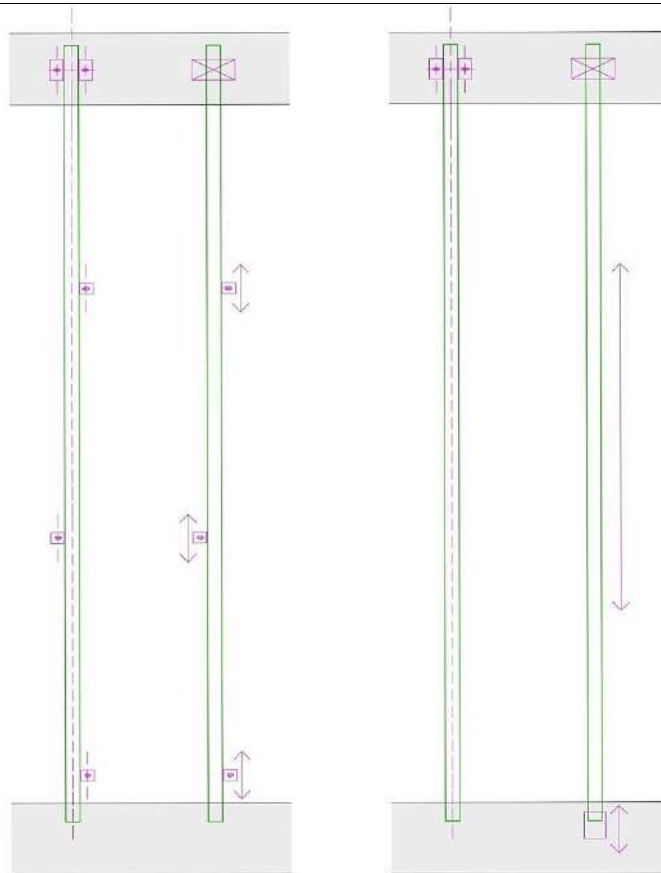
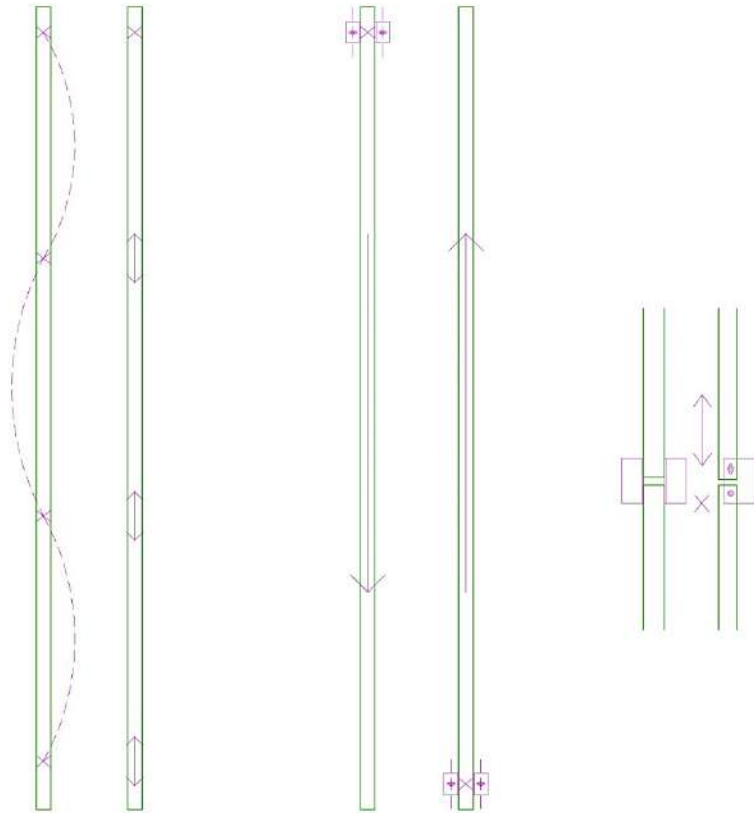
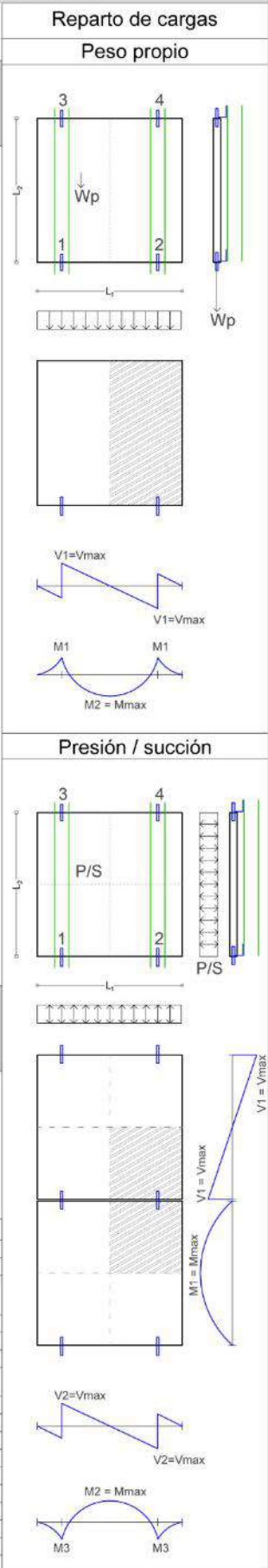
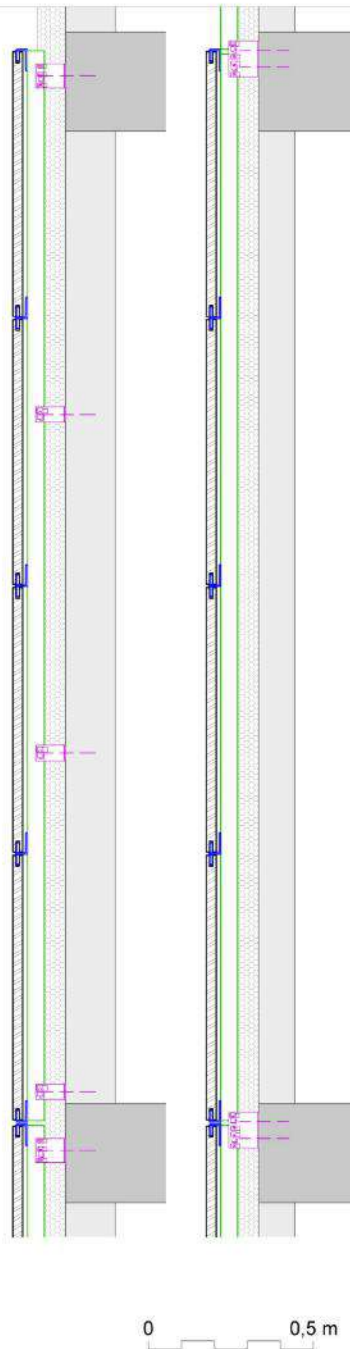
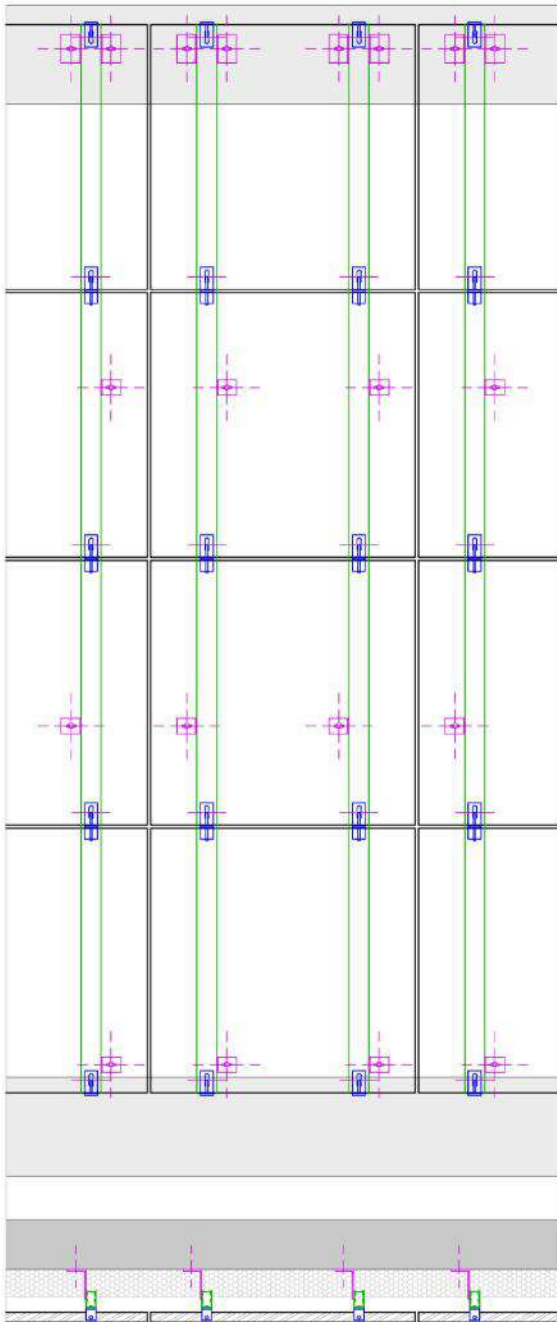


Figura 4.20 (arriba). A la izquierda, montantes con varios apoyos fijos que no permiten la libre dilatación. A la derecha, montantes con apoyos fijos y apoyos deslizantes que permiten la libre dilatación del perfil. Elaboración propia.  
 Figura 4.21 (abajo). Montantes alineados dilatando en la misma dirección. Dilataciones sobre una placa en sentidos opuestos podrían llegar a producir su rotura. Elaboración propia.

### Solución 3 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES

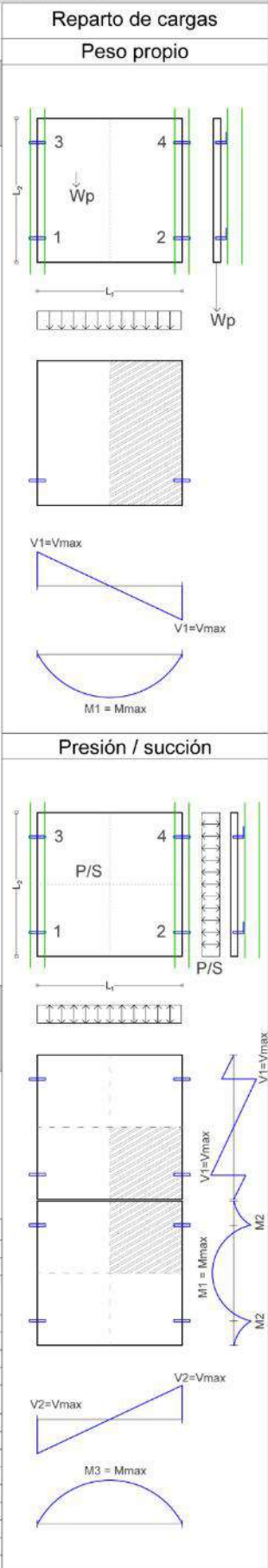
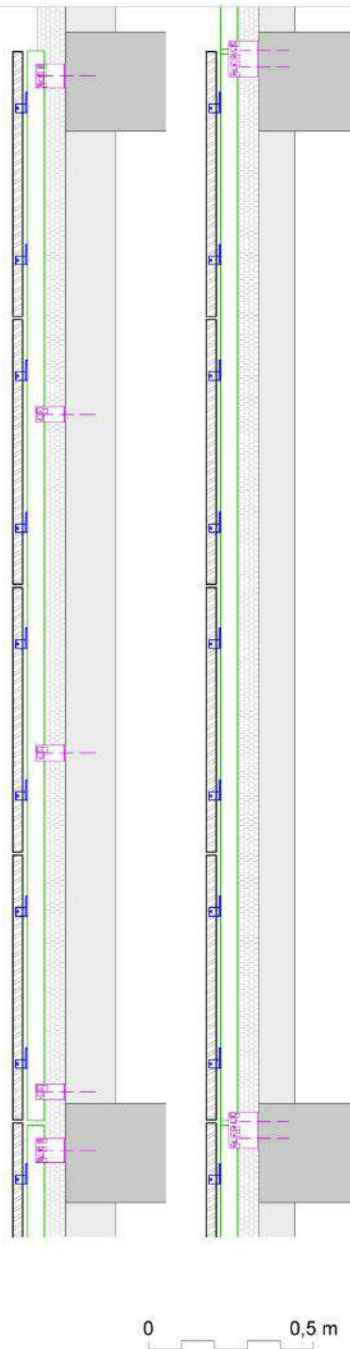
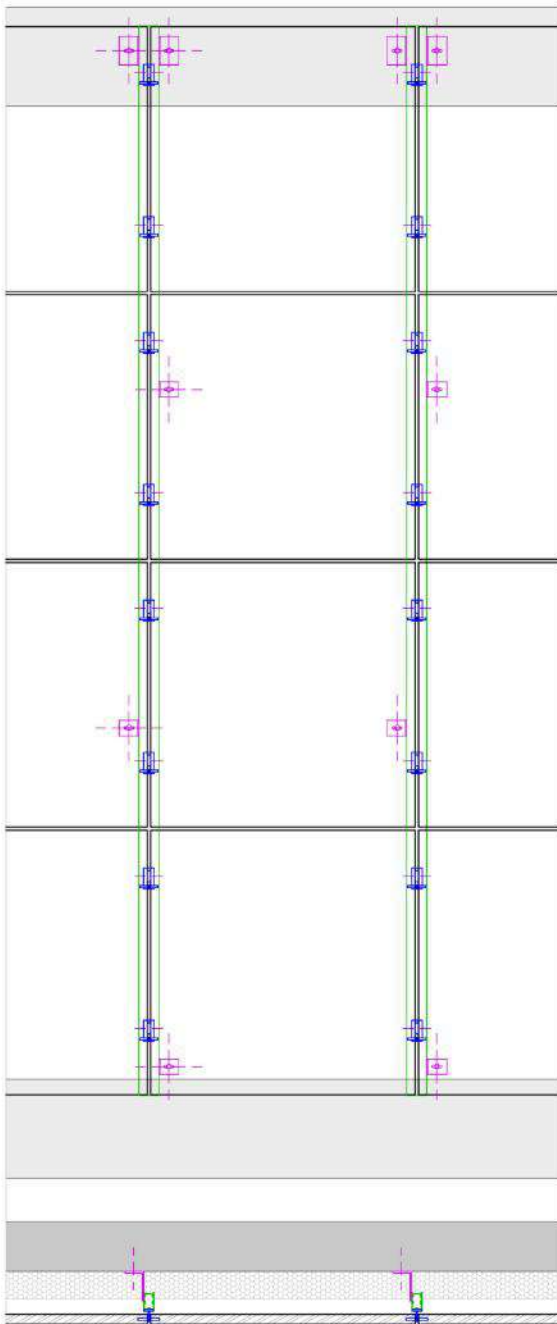
Configuración: grapas tipo pivote ubicadas en junta horizontal



Elementos básicos para definir el despiece		
Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/ anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
Grapas	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las cargas de las placas no se transmiten a varios montantes interrumpidos verticalmente. Juntas según norma UNE 22202.2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
	Mecanizado	Perforación de taladros en los cantos horizontales, profundidad superior a la longitud del pivote. Acabado oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas verticalmente comparten fijación
	Posición	En el canto horizontal, $L_x$ . La distancia óptima del eje del pivote al borde de la placa es de $0,21 L_x$
Montantes	Función	Cada grapa es de carga (fuerzas horizontales + verticales) de la placa superior y de retención de la inferior (fuerzas horizontales)
	Reparto de cargas	Cada grapa soporta $\frac{1}{2}$ de la carga total del peso propio de la placa y $\frac{1}{2}$ del total de esfuerzos de P/S de las placas
Escuadras	Tipo	Continuación, remate superior, remate inferior
	Posición	En función de la dimensión de las placas, $L_x$ . Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
Fijaciones	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
	Tipo	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara. Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
Replanteo	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
	Posición	s/ material y condiciones del soporte
		Ejes de puntos de unión al soporte + posición grapas en montantes

## Solución 4 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES

Configuración: grapas tipo pivote ubicadas en junta vertical

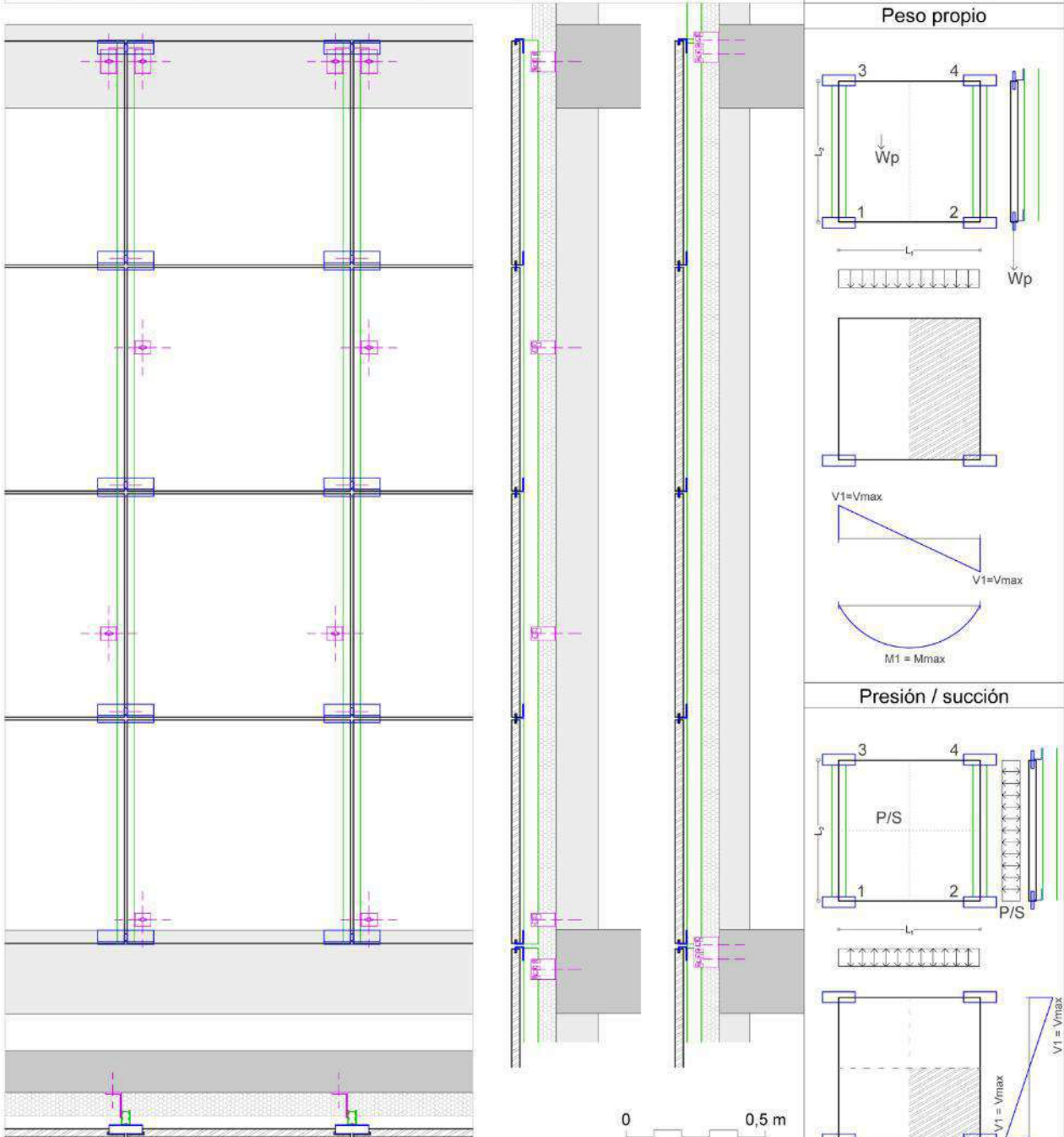


Elementos básicos para definir el despiece		
Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta vertical s/ anclaje, junta horizontal libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las cargas de las placas no se transmiten a varios montantes interrumpidos verticalmente. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
Grapas	Mecanizado	Perforación de taladros en los cantos verticales, profundidad superior a la longitud del pivote. Acabado oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas horizontalmente comparten fijación
	Posición	En el canto vertical, $L_2$ . La distancia óptima del eje del pivote al borde de la placa es de $0,21 L_2$
	Función	Grapas inferiores de carga (fuerzas horizontales + verticales) y superiores de retención (fuerzas horizontales)
Reparto de cargas	Función	Cada grapa de carga soporta $1/2$ de la carga de peso propio de cada placa contigua y $1/4$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua. Cada grapa de retención soporta $1/4$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua.
	Tipo	Continuación, remate superior, remate inferior
Montantes	Posición	En función de la dimensión de las placas, $L_1$ Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
Escuadras	Posición	s/ montantes
	Función	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara.
	Tipo	Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
Fijaciones	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
	Tipo	s/ material y condiciones del soporte
Replanteo	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición grapas en montantes



## Solución 5 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES

Configuración: grapas tipo uñeta en ranura discontinua, ubicadas en junta horizontal

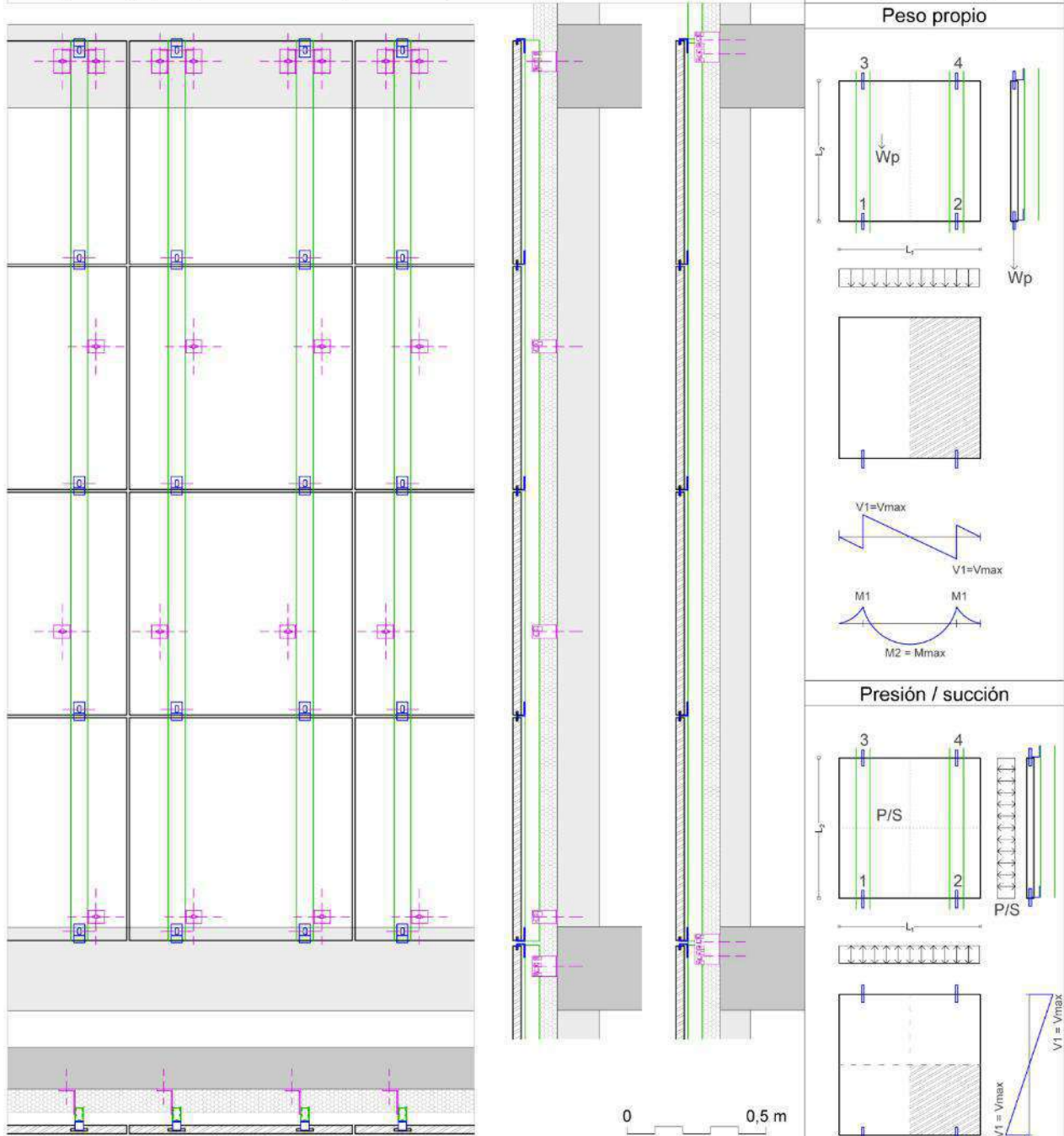


### Elementos básicos para definir el despiece

Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/ anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las cargas de las placas no se transmiten a varios montantes interrumpidos verticalmente. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
Grapas	Mecanizado	Perforación de ranuras discontinuas en los cantos horizontales. Acabado oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas horizontal y verticalmente comparten fijación
	Posición	En el canto horizontal, $L_p$ alineadas con montantes
	Función	Cada grapa es de carga (fuerzas horizontales + verticales) de las placas superiores y de retención de las inferiores (fuerzas horizontales)
Reparto de cargas	Función	Cada grapa soporta $\frac{1}{2}$ del peso propio de cada placa contigua y $\frac{1}{4}$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua
	Tipo	Continuación, remate superior, remate inferior
Montantes	Posición	En función de la dimensión de las placas, $L_p$ Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
Escuadras	Posición	s/ montantes
	Función	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara.
	Tipo	Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
Fijaciones	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
	Tipo	s/ material y condiciones del soporte
Replanteo	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición grapas en montantes

## Solución 6/7 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES

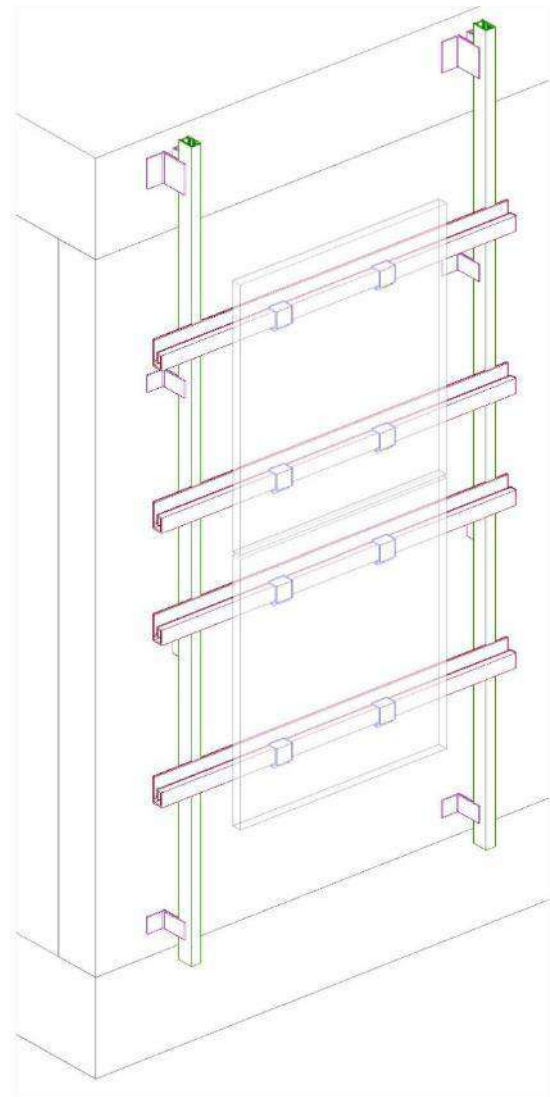
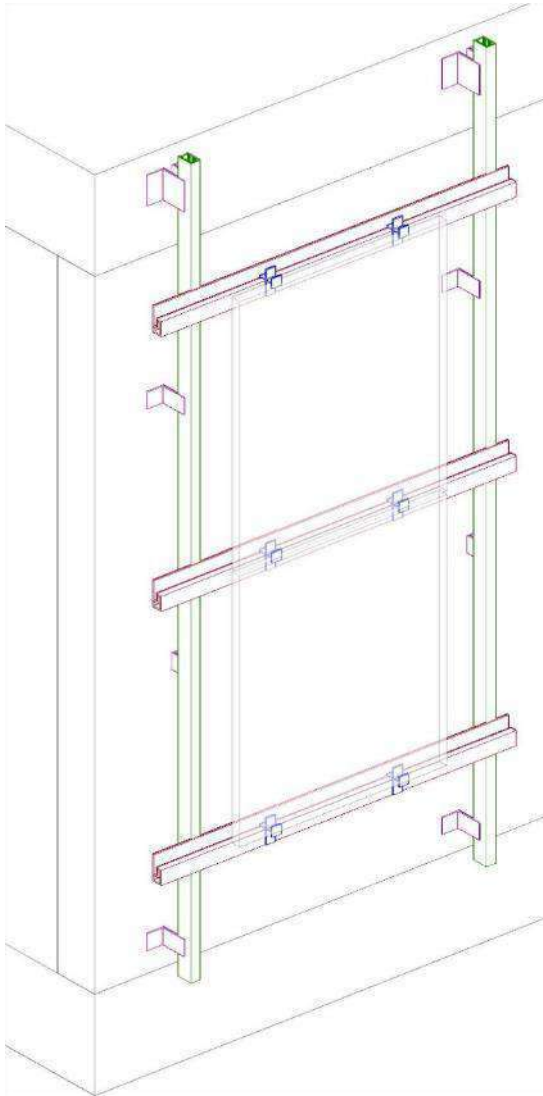
Configuración: grapas tipo uñeta vista/oculta, ubicadas en junta horizontal



Elementos básicos para definir el despiece

Elementos básicos para definir el despiece		
Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/ anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las cargas de las placas no se transmiten a varios montantes interrumpidos verticalmente. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
	Mecanizado	Perforación de ranuras puntuales en los cantos horizontales. Acabado visto / oculto
Grapas	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas verticalmente comparten fijación
	Posición	En el canto horizontal, $L_x$ alineadas con montantes
	Función	Cada grapa es de carga (fuerzas horizontales + verticales) de las placas superiores y de retención de las inferiores (fuerzas horizontales)
	Reparto de cargas	Cada grapa soporta $\frac{1}{2}$ del peso propio de cada placa contigua y $\frac{1}{4}$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua
Montantes	Tipo	Continuación, remate superior, remate inferior
	Posición	En función de la dimensión de las placas, $L_x$ Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
Escuadras	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
	Posición	s/ montantes
	Función	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara.
Fijaciones	Tipo	Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
Replanteo	Posición	s/ material y condiciones del soporte
	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición grapas en montantes

### 4.3.3 ANCLAJES CON SUBESTRUCTURA DE MONTANTES Y TRAVESAÑOS



## DEFINICIÓN

Este subsistema incluye una subestructura en dos niveles: montantes verticales, cuya función es transmitir las cargas a la estructura o soporte resistente, y travesaños horizontales, cuya función es recibir las cargas de las placas y transmitir las a los montantes. Según fabricante y producto las placas se pueden apoyar directamente sobre los travesaños o bien fijarse a los mismos mediante fijaciones puntuales.

## ELEMENTOS DEL SISTEMA

Este subsistema está compuesto por los siguientes elementos:

Elementos del sistema	Criterios a definir	Descripción	Función
Grapas anclaje piedra (opcional)	Número / Posición	4 puntos de anclaje mínimo en canto horizontal	Cada anclaje es de carga de la placa superior y de retención de la inferior.
		4 puntos de anclaje mínimo en el reverso de la placa	Todos los anclajes son de carga
Travesaños	Longitud máxima	Definido por fabricante	Transmitir las cargas de las placas a los montantes
	Distancia máxima entre travesaños	Depende del despiece y de la altura de las placas	
	Vuelo máximo	Definido por fabricante	
Montantes	Altura máxima	Definida por fabricante	Transmitir las cargas de las placas a los montantes
	Distancia máxima entre montantes	Definida por fabricante	
	Vuelo máximo	Definido por fabricante	
Escuadras	Distancia máxima	Definida por fabricante	Controlar dilataciones de montantes. Asegurar planeidad de la fachada Definir el espesor de la cámara.
	Sistemas verticales	A la estructura	Carga
		Al soporte	Apoyo simple
Sistema forjado a forjado	A la estructura	Carga	
Fijaciones	A la estructura	Estructura de hormigón	Carga
		Estructura metálica	Carga
		Estructura mixta	Carga
	Mixto: mediante acción combinada de ménsulas de carga en estructura + ménsula de apoyo en el soporte	Hormigón armado	Carga
		Fábrica de ladrillo resistente	Carga
		Bloques de hormigón rellenos	Carga
		Hormigón armado / en masa	Apoyo simple
		Ladrillo	Apoyo simple
		Bloques de termoarcilla	Apoyo simple
		Bloques de hormigón	Apoyo simple

Tabla 4.17. Elementos del sistema de montantes y travesaños. Elaboración propia

Para las escuadras y montantes se debe tener en cuenta lo indicado en el caso anterior. En función del tipo y características del soporte se puede utilizar un sistema a base de escuadra de carga y escuadras de apoyo o un sistema de escuadras de forjado a forjado. En cuanto a los montantes se tendrán en cuenta, al igual que en el caso anterior, la libre dilatación de perfiles, la dirección de dilatación, la longitud máxima y juntas de dilatación entre montantes, los apoyos necesarios y los vuelos máximos.

La principal diferencia con el caso anterior tiene que ver con la distancia entre montantes. Cuando únicamente hay montantes, su posición dependerá de las dimensiones de las placas y del despiece utilizado. En cambio, al incorporar los travesaños, será la posición de estos la compatible con las placas de piedra, de tal manera que la distancia entre montantes dependerá de distancia máxima entre montantes según fabricante.

## **FIJACIÓN DEL REVESTIMIENTO**

La fijación de la placa se puede hacer mediante diferentes tipos de grapas o fijaciones. Los tipos de grapas que ofrecen la mayoría de los fabricantes son:

- Placas fijadas directamente a los travesaños continuos (no requieren el uso de grapas de fijación)
- Placas fijadas con grapas de uñeta vista / oculta en junta horizontal
- Placas fijadas con anclaje por destalonado de fondo

Las grapas puntuales en forma de uña trabajan igual que en el caso anterior, soportando el peso de la placa superior y parte proporcional de viento y con efecto retenedor de la plana inferior soportando su parte proporcional de viento.

Cuando se utilizan travesaños continuos sobre los que apoya la placa estos trabajan como anclaje de carga de la placa superior y retención de los inferiores. Si la parte inferior del travesaño no es continua sino discontinua serían estos elementos puntuales los encargados del efecto antivuelco. Frente a los de apoyos puntuales el perfil continuo tiene la ventaja de permitir que las cargas se distribuyan de una forma más uniforme evitando picos y zonas de máxima tensión. No obstante, para asegurar su correcto funcionamiento requiere que el mecanizado se haga correctamente y con las holguras necesarias. Algunos fabricantes incorporan elementos de goma para evitar el contacto directo entre la placa y el anclaje. Cuando se utiliza este sistema se deben incorporar elementos de retención que eviten el desplazamiento horizontal de las placas.

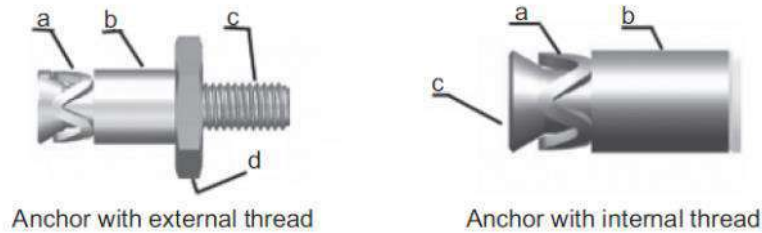
En los sistemas de apoyo continuo la junta horizontal tiene que tener una medida suficiente que permita levantar y colocar la piedra, además de permitir la sustitución de las placas. Las verticales en cambio pueden ir a junta mínima.

El sistema de anclajes por destalonado de fondo Es un sistema de fijación oculta que consiste en un taco y un tornillo que se ubica en un taladro cilíndrico-cónico practicado en la parte posterior de la placa. La geometría del taco garantiza que no se produzcan tensiones en la placa. Los taladros en la placa se realizan en taller, en dos pasos: taladrado y destalonado, utilizando para ello herramientas especiales.

Cada placa se fija mediante un mínimo de 4 anclajes, que a diferencia de los casos anteriores trabajan todos solidariamente frente a las cargas de peso propio y de viento. Para evitar que las placas se desplacen horizontalmente se fija uno de los anclajes superiores dejando al resto que dilaten libremente.

Existen principalmente dos tipos de tecnologías, tal y como define Sousa Camposinhos (2012):

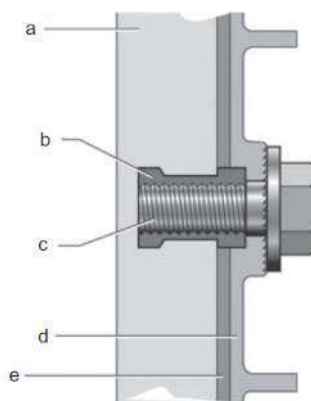
- Tecnología en la que el anclaje tiene un perno cónico generalmente de 6 u 8 mm de diámetro, un anillo de expansión, un manguito y, opcionalmente, una nuez. Los pernos cónicos y los anillos de expansión están hechos de acero inoxidable, el manguito de acero inoxidable o carbono y la tuerca de acero inoxidable o aluminio. Este anclaje se instala empujando el manguito de anclaje contra el anillo de bloqueo, lo que lo obliga a expandirse dentro del orificio practicado y bloquearlo dentro de la piedra, haciendo que el anclaje esté libre de presiones sin carga aplicada. Este sistema es el empleado en la tecnología Fischer.



a) Anillo de expansión; b) manguito; c) perno cónico; d) nuez

Figuras 4.22 y 4.23. Anclaje de perno cónico. Sousa Camposinhos, Rui de (2012). Undercut anchorage in dimension Stone cladding. Construction Materials. p.2

- Tecnología consistente en un anclaje hecho con un taco ranurado transversalmente con rosca interior. El borde superior del anclaje es hexagonal y el respectivo perno hexagonal cuenta con una arandela de seguridad, todo ello en acero inoxidable. El taco, comprimido en su extremo inferior, se inserta en el taladro con la grapa seleccionada. Posteriormente se atornilla el tornillo ejerciendo una ligera presión en la grapa. El mecanismo de bloqueo aprisiona la grapa y asegura la unión. Finalmente, el taco se expande mediante la introducción del tonillo ajustándose perfectamente a la sección del taladro. Este sistema es el empleado en la tecnología Keil, que se verá más adelante.



a) placa de piedra; b) orificio c) taco; d) grapa

Figuras 4.24. Anclaje con taco expansivo. Sousa Camposinhos, Rui de (2012). Undercut anchorage in dimension Stone cladding. Construction Materials. p.2

Como resultado de un estudio practicado en placas de 3 variedades de granito, dos de arenisca y una de mármol, en las que se empleaba este sistema de anclaje, Sousa Camposinhos (2012) destaca una serie de conclusiones que demuestran los beneficios de esta tecnología.

- Para el mismo tipo de piedra la carga de rotura no varía con el tamaño de la rosca.
- La profundidad de empotramiento del anclaje está directamente relacionada con la capacidad de tracción del anclaje.
- La capacidad de carga del anclaje es mayor cuanto mayor sea el empotramiento.
- Las mediciones del ángulo del cono de rotura muestran que se pueden emplear una distancia mínima al borde de la placa.
- En las variedades estudiadas la capacidad de anclaje de este tipo de anclajes superó en tres veces a la de los anclajes de bulón.

Esta tecnología, pese tener una capacidad de carga superior conlleva un coste superior en comparación con el resto de grapas, por lo que su uso suele quedar reservado para determinadas situaciones y no es habitual su utilización en despieces convencionales de formato estándar.

#### **REQUISITOS DEL DESPIECE**

- Se debe asegurar la compatibilidad de movimientos, de tal manera que una misma placa no puede estar fijada a dos montantes interrumpidos verticalmente ni a dos travesaños interrumpidos horizontalmente, por lo que habrá que tenerlo en cuenta al diseñar el despiece.
- Se deberá tener en cuenta la longitud máxima de los travesaños y la junta de dilatación mínima entre dos travesaños interrumpidos horizontalmente.
- Cada junta de dilatación en los travesaños requiere la utilización de dos montantes.

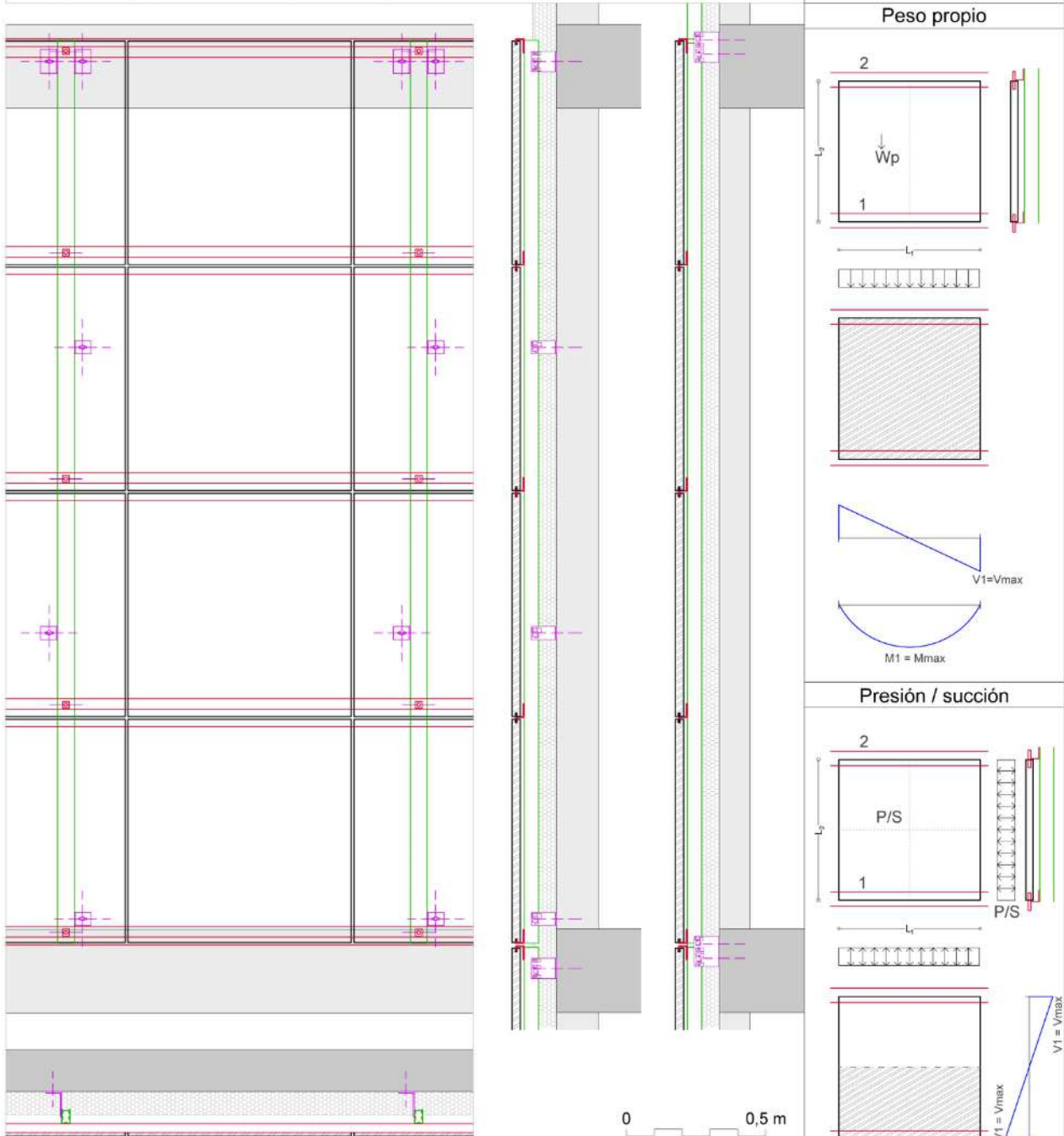
#### **MECANIZADO DE PLACAS**

- Ranura continua en juntas horizontales
- Ranuras puntuales en juntas horizontales
- Perforaciones en el reverso de la placa

Este sistema requiere mecanización de las placas compatible con el tipo de anclaje: ranura continua para los anclajes de perfil continuo, ranura puntual para los anclajes de uña y taladro troncocónico en el reverso de la placa para el sistema por destalonado de fondo. Algunos fabricantes ofrecen anclajes con una fijación de uña vista, de uso recomendado en el caso de utilizar placas con tendencia a la exfoliación, en cuyo caso la fijación es vista y no requiere mecanizado de placa.

## Solución 8 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES Y TRAVESAÑOS

Configuración: grapa ranura continua, ubicada en junta horizontal



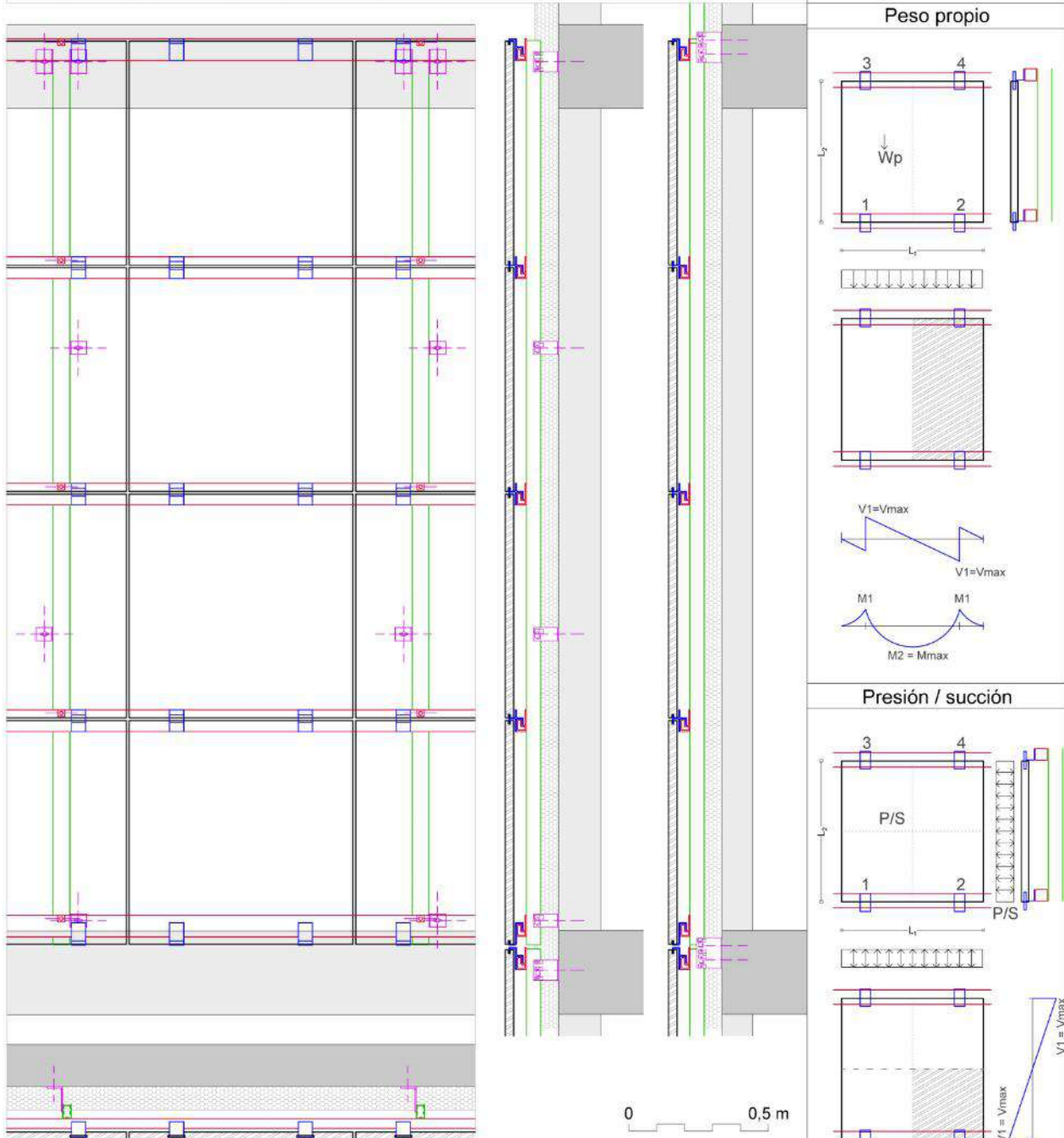
### Elementos básicos para definir el despiece

Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las cargas de las placas no se transmiten a varios montantes interrumpidos verticalmente. Las juntas verticales de travesaños requieren la utilización de dos montantes, y deben coincidir con una junta vertical en el despiece. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
Travesaños	Mecanizado	Perforación de ranuras continuas en los cantos horizontales. Acabado oculto
	Posición	En función de la dimensión de las placas. $L_2$ . Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
	Función	Transmitir cargas a los montantes. Cada anclaje es de carga de las placas superiores y de retención de las placas inferiores.
Montantes	Reparto de cargas	Cada perfil de carga soporta la carga total del peso propio de cada una de las placas superiores y 1/2 del total de esfuerzos de presión/succión de cada una de las placas superiores e inferiores.
	Posición	Definida por la distancia recomendada o máxima según fabricante. Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
Escuadras	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
	Posición	s/montantes
	Función	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad, definir el espesor de la cámara
Fijaciones	Tipo	Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
Replanteo	Tipo	s/ material y condiciones del soporte
	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición travesaños



## Solución 9 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES Y TRAVESAÑOS

Configuración: grapa ranura puntual, ubicada en junta horizontal

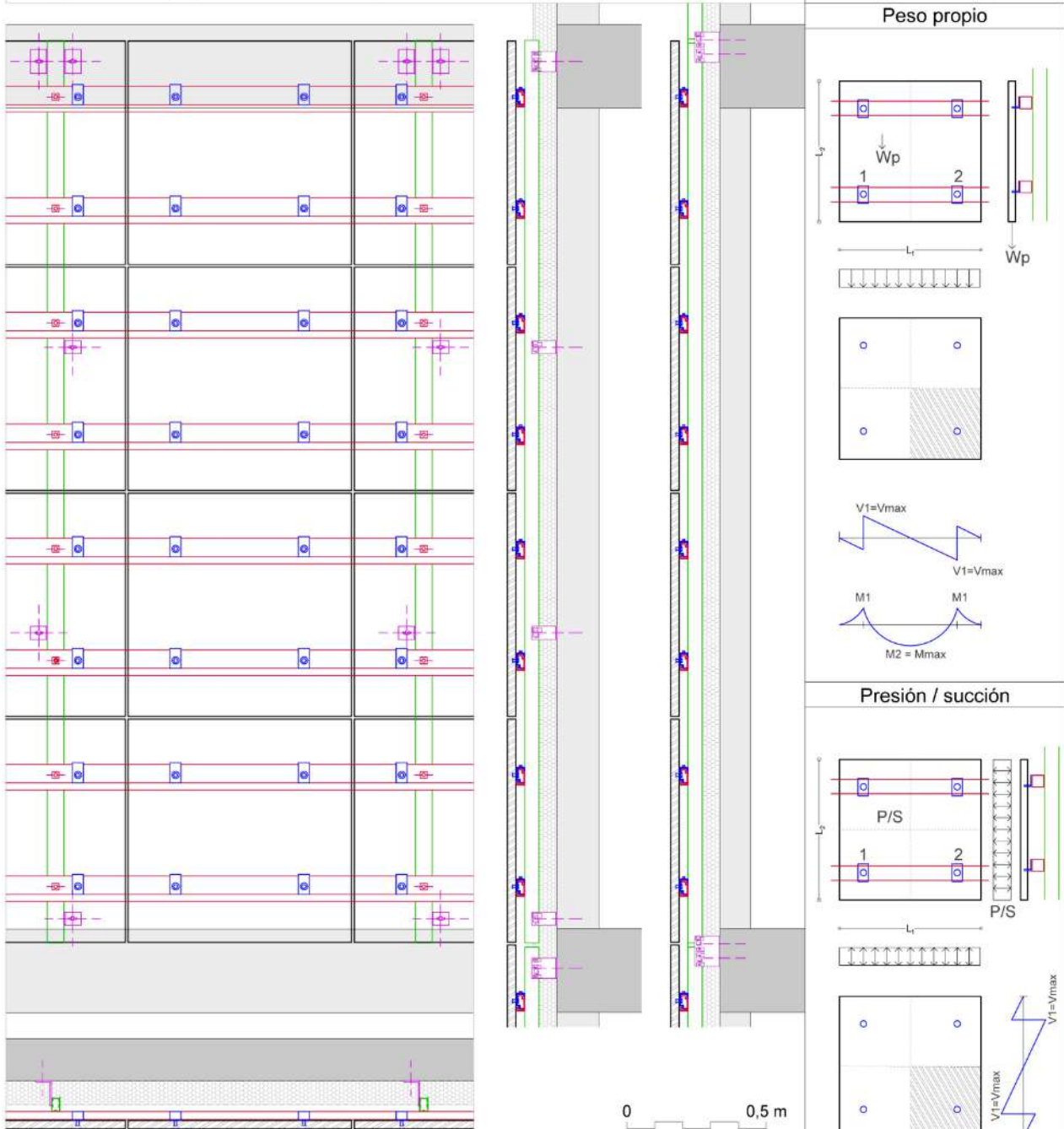


### Elementos básicos para definir el despiece

Placas	Dimensiones	sí proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal s/ anclaje, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben coincidir con una junta horizontal en el despiece. Las juntas verticales de travesaños requieren la utilización de dos montantes, y deben coincidir con una junta vertical en el despiece. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y asociadas al soporte.
Grapas	Mecanizado	Perforación de ranuras puntuales en los cantos horizontales. Acabado visto / oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes. Dos placas contiguas verticalmente comparten fijación
	Posición y función	En el canto horizontal, $L_1$ . Cada grapa es de carga de las placas superiores y de retención de las inferiores
	Reparto de cargas	Cada grapa soporta $\frac{1}{2}$ del peso propio de cada placa y $\frac{1}{4}$ del total de esfuerzos de P/S de cada placa contigua
Travesaños	Tipo	Continuación, remate superior, remate inferior
	Posición	En función de la dimensión de las placas, $L_2$ . Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
Montantes	Función	Transmitir cargas a los montantes
	Posición	Definida por distancia recomendada o máxima según fabricante.
Escuadras	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
	Posición	sí montantes
Fijaciones	Función	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara.
	Tipo	Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
Replanteo	Tipo	sí material y condiciones del soporte
	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición travesaños + posición grapas en travesaños

# Solución 10 SUBSISTEMA DE PERFILERÍA REGULABLE DE MONTANTES Y TRAVESAÑOS

Configuración: anclajes por destalonado de fondo, ubicados en el reverso de la placa



### Elementos básicos para definir el despiece

Elemento	Descripción	Detalles
Placas	Dimensiones	s/ proyecto
	Juntas entre placas	Junta horizontal libre, junta vertical libre, asegurando valores mínimos
	Juntas generales	Las juntas horizontales de montantes deben ser compatibles con una junta horizontal en el despiece. Las juntas verticales de travesaños requieren la utilización de dos montantes, y deben ser compatibles con una junta vertical en el despiece. Juntas según norma UNE 22202:2011. Compatibilidad con juntas estructurales y soporte.
Anclajes	Mecanizado	Perforación de taladros cónicos en el reverso de la placa. Acabado oculto
	Número	Cada placa se fija mediante 4 puntos de anclajes.
	Posición y función	En el reverso de la placa. La distancia del eje del taladro al borde de la placa se sitúa en un rango entre 5 centímetros y 0.25 L. La posición será simétrica respecto al eje vertical y simétrica respecto al horizontal, pero no necesariamente respecto a ambos ejes simultáneamente. La posición idónea para conseguir el mínimo momento flector es de 1/5 L. Todos los anclajes son de carga.
Reparto de cargas	Cada grapa soporta 1/4 del peso propio y 1/4 del total de esfuerzos de P/S de cada placa	
Travesaños	Posición	Definida por la posición de los anclajes. Vuelo y longitud máx. s/ fabricante
Montantes	Función	Transmitir cargas a los montantes
	Posición	Definida por distancia recomendada o máxima según fabricante.
Escuadras	Función	Transmisión de las cargas a las escuadras de carga
	Posición	s/ montantes
	Tipo	Controlar dilataciones de montantes, asegurar planeidad de la fachada, definir el espesor de la cámara. Escuadras de carga a estructura, escuadras de apoyo a soporte
Fijaciones	Función	Transmisión de la totalidad de las cargas a la estructura
Replanteo	Tipo	s/ material y condiciones del soporte
	Posición	Ejes de puntos de unión al soporte + posición travesaños + posición grapas en travesaños

4.3.4 COMPATIBILIDAD CON EL SOPORTE

Anclajes directos					
Estructura <input checked="" type="checkbox"/>					
Material	Habitualmente estructuras de hormigón o mixtas.				
Fijación a la estructura	Empotrada <input checked="" type="checkbox"/>			Soldada <input checked="" type="checkbox"/>	Atornillada <input type="checkbox"/>
	Mecánica <input checked="" type="checkbox"/>	Química <input checked="" type="checkbox"/>	Con mortero <input type="checkbox"/>		
Muro soporte <input checked="" type="checkbox"/>					
Material	Hormigón armado <input checked="" type="checkbox"/>	Fábrica cerámica <input checked="" type="checkbox"/>		Bloques de hormigón <input checked="" type="checkbox"/> *	
		Maciza <input checked="" type="checkbox"/>	Perforada <input checked="" type="checkbox"/>		Bloques <input type="checkbox"/>
*No se admiten soportes ligeros, ladrillo hueco ni bloques huecos sin rellenar.					
Fijación al muro soporte	Empotrada <input checked="" type="checkbox"/>			Otros <input checked="" type="checkbox"/> *	
	Mecánica <input checked="" type="checkbox"/>	Química <input checked="" type="checkbox"/>	Mortero <input type="checkbox"/>		
* En caso de cargas ligeras se podría utilizar anclaje mediante tirafondo y taco de nylon.					
Observaciones	Este sistema permite la regulación en dos o tres direcciones en función del fabricante y modelo, lo que aporta una clara ventaja frente a los anclajes puntuales con fijación de mortero. Este aspecto se debe tener en cuenta en caso de encontrarnos con soportes con defectos de planeidad. Si los defectos son notables se requerirá valoración de la dirección facultativa previa al replanteo definitivo para la selección del sistema de anclaje más adecuado, siendo más recomendable el sistema mediante subestructura de perfilaría.				
Anclajes con subestructura					
Estructura <input checked="" type="checkbox"/>					
Material	Estructuras de hormigón, metálicas y/o mixtas.				
Fijación a la estructura	Empotrada <input checked="" type="checkbox"/>			Soldada <input type="checkbox"/> *	Atornillada <input checked="" type="checkbox"/> *
	Mecánica <input checked="" type="checkbox"/>	Química <input checked="" type="checkbox"/>	Con mortero <input type="checkbox"/>		
	Cuando los soportes no admiten ningún tipo de fijación (soportes deteriorados, soportes que no permitan longitud de empotramiento suficiente, cerramientos en seco sin resistencia suficiente o que no permitan perforaciones, soportes autoportantes) se utiliza un sistema mediante ménsulas de carga, con sistema forjado a forjado. Una única ménsula en el canto sirve para dar apoyo fijo a la ménsula inferior y apoyo deslizante a la superior. Generalmente montantes colgados con el punto fijo en su parte superior y deslizante en el inferior. * En caso de fijación a estructura metálicas se utilizan uniones atornilladas o soldadas.				
Muro soporte <input checked="" type="checkbox"/>					
Material	Hormigón armado <input checked="" type="checkbox"/>	Fábrica cerámica <input checked="" type="checkbox"/>		Bloques de hormigón <input checked="" type="checkbox"/> *	
		Maciza <input checked="" type="checkbox"/>	Perforada <input checked="" type="checkbox"/>		Bloques <input checked="" type="checkbox"/> *
Los montantes suelen anclarse con una escuadra de carga fijada al forjado y varias de apoyo fijadas al muro soporte. *Se admiten soportes ligeros no resistentes en caso de subestructuras fijadas exclusivamente a la estructura portante del edificio.					
Fijación al muro soporte	Empotrada <input checked="" type="checkbox"/>			Otros <input checked="" type="checkbox"/> *	
	Mecánica <input checked="" type="checkbox"/>	Química <input checked="" type="checkbox"/>	Mortero <input type="checkbox"/>		
* En caso de anclajes de apoyo y cargas ligeras se podría utilizar anclaje mediante tirafondo y taco de nylon.					
Observaciones	Este sistema permite la regulación en tres direcciones y permite asumir desplomes y desniveles. Se debe valorar la longitud máxima de los montantes según modelo y fabricante, generalmente de 3 a 6 metros. La profundidad del empotramiento del anclaje en el soporte depende del material y de la carga soportada y del diámetro del anclaje.				

Tabla 4.18. Compatibilidad con el soporte. Elaboración propia

A la hora de seleccionar el espesor del soporte habrá que tener en cuenta el peso del revestimiento y la excentricidad entre el eje del anclaje y la cara exterior del soporte. Cuando se utilizan placas de grandes dimensiones, con elevados espesores o amplias excentricidades es posible tener que aumentar el espesor previsto del soporte para evitar problemas de estabilidad. Cuando se desconozca la resistencia del soporte utilizado o se utilice un tipo de soporte que no disponga de una evaluación previamente realizada y especificada por los fabricantes o manuales técnicos correspondientes se requiere la realización de pruebas y ensayos de extracción que aseguren que los valores de resistencia obtenidos son adecuados.

### 4.3.5 OTROS CONDICIONANTES

#### CONDICIONANTES ECONÓMICOS

Los sistemas de anclajes puntuales son más económicos que los sistemas con perfilería. Según los datos cedidos por la empresa Strow Sistemas, un sistema de perfilería estándar puntual puede presupuestarse entre 10-15 €/m<sup>2</sup> y un sistema estándar con perfilería entre 20-35 €/m<sup>2</sup>. Al coste de la perfilería hay que sumarle el coste de los materiales (piedra natural, aislamiento, soporte, ...) y de la mano de obra.

El coste final dependerá fundamentalmente del sistema de anclaje seleccionado y de la complejidad del despiece. Las fachadas consideradas más complejas, bien por los condicionantes de la fachada (plana, curva, con volúmenes, número y tipo de huecos, puntos singulares complejos, ...), bien por el tipo de despiece, requieren de un mayor trabajo y planificación por parte de la oficina técnica, mano de obra especializada y trabajos complejos de replanteo, además de necesitar generalmente una mayor densidad de anclajes/perfilería por metros cuadrado, lo que se traduce en un coste mayor. Otros aspectos que influirán en el precio final son la densidad de perfilería, necesidad de adaptación/modificación de los componentes del sistema y la dificultad añadida para la resolución de los puntos singulares.

#### PUESTA EN OBRA

La mano de obra supone una parte importante del coste total. Los sistemas de anclajes puntuales no necesitan una mano de obra especializada y las labores de replanteo suelen ser más sencillas, pero es importante que la ejecución se haga de manera correcta, prestando especial atención a la regulación, para evitar patologías futuras. También se deberán tener en cuenta las juntas de dilatación de la estructura del edificio y del muro soporte. En estos sistemas el aislamiento se instala previamente a los anclajes. A la hora de hacer los taladros se recortarán los huecos en el aislamiento, que se repondrán una vez colocados los anclajes al muro soporte. Los sistemas con perfilería, al contrario, requieren una mano de obra especializada que conozca la tecnología a utilizar y los trabajos de replanteo son más complejos. Es importante la unión de los distintos elementos de acuerdo a las indicaciones del fabricante, así como la previsión de las juntas de dilatación de los perfiles de la subestructura. Al igual que en el caso anterior, también se tendrán en cuenta las juntas de dilatación estructurales. En estos sistemas, el aislamiento se instala posteriormente a la colocación de los montantes, favoreciendo el replanteo del subsistema de anclaje sobre el soporte.

Por otro lado, los distintos subsistemas permiten diferentes rendimientos por metro cuadrado. Según la información obtenida de la empresa Masa, mientras que un subsistema mediante anclajes directos regulables se puede estimar en aproximadamente 5m<sup>2</sup> por pareja y día, un subsistema a base de perfilería de montantes se sitúa en aproximadamente 30 m<sup>2</sup> por pareja y día. En el caso de utilizar subestructura mediante montantes y travesaños se puede alcanzar 50-60 m<sup>2</sup> por pareja y día.

Para asegurar una puesta en obra satisfactoria y la correcta instalación del sistema de anclaje es importante el trabajo previo por parte de la oficina técnica, tanto en el cálculo y estudio de cargas como en la documentación de definición del proyecto. Según datos cedidos por la empresa Strow Sistemas, la mano de obra para la instalación de la fachada puede suponer hasta el 33% del presupuesto. En el caso concreto de la piedra natural, una mano de obra cualificada que conozca el funcionamiento del sistema y las particularidades del material junto con un adecuado control y seguimiento en obra son aspectos fundamentales para asegurar un resultado adecuado y evitar futuros fallos o patologías motivadas por mala ejecución. En los proyectos con despieces complejos o puntos singulares de difícil resolución es fundamental utilizar mano de obra especializada y suficientemente cualificada para asegurar una correcta ejecución, además de una prioritaria labor de control y seguimiento por parte de la dirección facultativa, oficina técnica y asesor o consultor de piedra.

#### **4.4. CÁLCULO**

---

El proyecto técnico de la fachada trasventilada deberá incluir una memoria que incluya la justificación del adecuado comportamiento del sistema frente a las solicitaciones previstas. En el cálculo se verificará que los valores de resistencia a flexión, cortante e impacto son admisibles teniendo para las dimensiones de las placas a utilizar y la distancia entre apoyos, aplicando los correspondientes coeficientes de seguridad.

##### **4.4.1. ACCIONES**

Las acciones sobre el sistema de fachada se determinan de acuerdo a lo indicado en el CTE DB-SE-AE, cuyo objeto es la determinación de las acciones sobre los edificios, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio.

- Acciones permanentes: Peso propio
- Acciones variables: Viento
- Acciones accidentales: Sismo, Impacto

#### 4.4.2. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE VIENTO

Las presiones que ejerce el viento sobre un edificio dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de su superficie, así como de la dirección, intensidad y racheo del viento, determinándose de acuerdo con el CTE DB-SE-AE.

De acuerdo al artículo 3.3.2 la acción del viento ejerce una presión estática, en general perpendicular a la superficie, que puede expresarse como:  $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_f$ , donde:

- $q_b$  es la presión dinámica del viento.
- $c_e$  es el coeficiente de exposición.
- $c_p$  es el coeficiente eólico o de presión.

Presión dinámica ( $q_b$ ): como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m<sup>2</sup>. Pueden obtenerse valores más precisos de acuerdo al apartado D.1 del Anejo D del DB, mediante la expresión:  $q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$ , donde

$\delta$  es la densidad del aire: depende de la altitud, temperatura ambiental y fracción de agua entre en suspensión, entre otros. Como valor en general puede adoptarse 1,25 kg/m<sup>3</sup>. En emplazamientos cercanos al mar el valor puede ser mayor al ser probable la acción de rocío.

$v_b$  es el valor básico de la velocidad del viento: depende del emplazamiento, pudiendo obtenerse el valor de cada localidad mediante el mapa a continuación, siendo 0,42 kN/m<sup>2</sup> para la zona A, 0,45 kN/m<sup>2</sup> para la zona B y 0,52 kN/m<sup>2</sup> para la zona C.

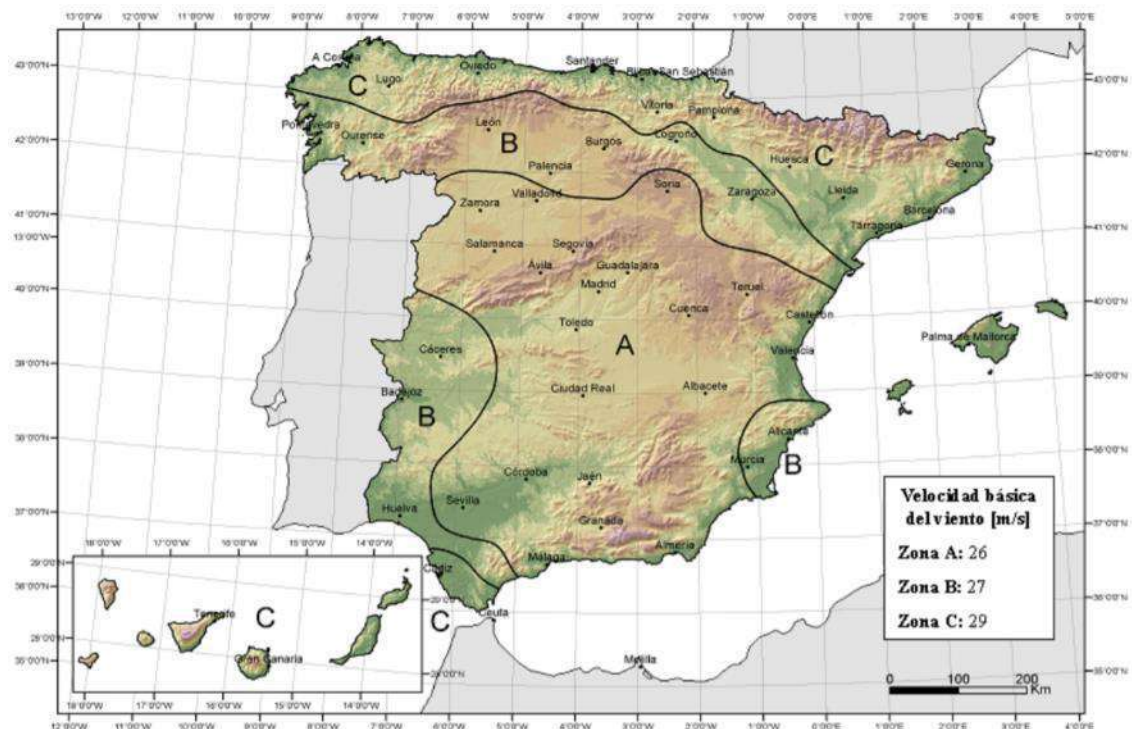


Figura 4.25. CTE DB SE-AE p.23

**Coefficiente de exposición ( $c_e$ ):** se determina en función del grado de aspereza del entorno y de la altura, de acuerdo al apartado 3.3.3 del BD y a la siguiente tabla:

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
<b>I</b> Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
<b>II</b> Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
<b>III</b> Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
<b>IV</b> Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
<b>V</b> Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 4.19. CTE DB SE-AE p.8

- Siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento y el grado de aspereza el primero de los tipos de la tabla al que pertenezca la dirección de viento analizada.
- En el caso de edificios situados en las cercanías de acantilados o en pendientes superiores 40°, la altura se medirá desde la base de dichos accidentes topográficos.

Para alturas superiores a 30 metros los valores se obtienen de acuerdo al apartado D.2 del Anejo D del DB, mediante las siguientes expresiones:

$$c_e = F \cdot (F + 7 k)$$

$$F = k \ln (\max (z, Z) / L)$$

obteniendo los parámetros k, L, Z de la siguiente tabla

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
<b>I</b> Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
<b>II</b> Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
<b>III</b> Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
<b>IV</b> Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
<b>V</b> Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 4.20. CTE DB SE-AE p.24

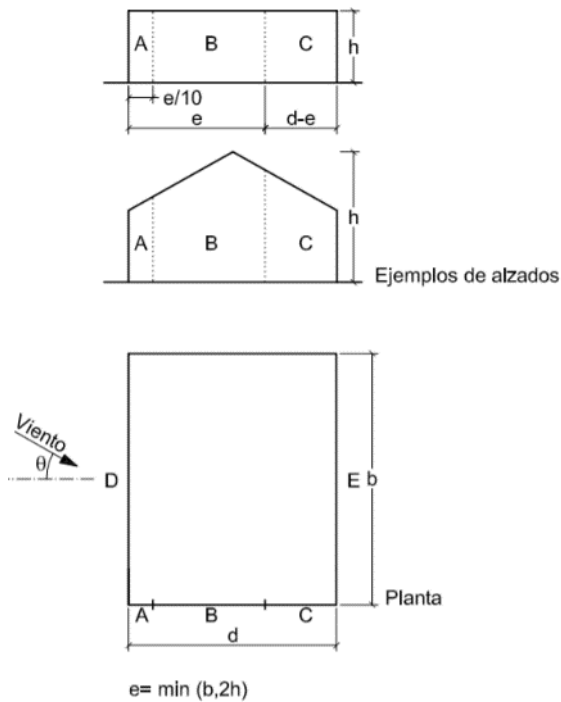
**Coefficiente eólico o de presión ( $c_p$ ):** se determina en función de la esbeltez en el plano paralelo al viento, de acuerdo al apartado 3.3.4 del BD. Como coeficientes globales pueden adoptarse los indicados en la siguiente tabla:

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coefficiente eólico de presión, $c_p$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coefficiente eólico de succión, $c_s$	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 4.21. CTE DB SE-AE p.8



Para análisis locales de los elementos de fachada o cerramiento (revestimientos, carpinterías, acristalamientos, anclajes, correas, ...) la acción de viento se determinará como resultante de la que existe en cada punto, a partir de los coeficientes que se establecen en apartado D.3 del Anejo D del DB.



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Tabla 4.22. CTE DB SE-AE p.25

En caso de construcciones con formas diferentes a las propuestas se deberá establecer el valor por analogía.

Para evaluar la acción del viento sobre una placa del revestimiento en concreto puede utilizar la siguiente expresión (Molina Molina, 2017):

$$F_v = a \cdot q_e$$

donde a es la superficie de la placa en m<sup>2</sup>

### 4.4.3. DETERMINACIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA

Las acciones sísmicas sobre el revestimiento no se considerarán en el caso de edificios de moderada importancia, tal y como indica el Eurocódigo 8 aplicado a los elementos no estructurales (UNE-EN 22203, apartado 6.2).

En España las zonas sísmicas se clasifican atendiendo a su intensidad, según la siguiente tabla y los valores del mapa sísmico definidos en la Norma de Construcción Sismoresistente (NCSE-02, apartado 2.2).

Zonas	Intensidad	$a_b/g$
Zona 1	Muy débil	$a_b/g < 0,04$
Zona 2	Débil	$0,04 \leq a_b/g < 0,13$
Zona 3	Moderada	$0,13 \leq a_b/g \leq 0,25$
Zona 4	Media	$a_b/g > 0,25$

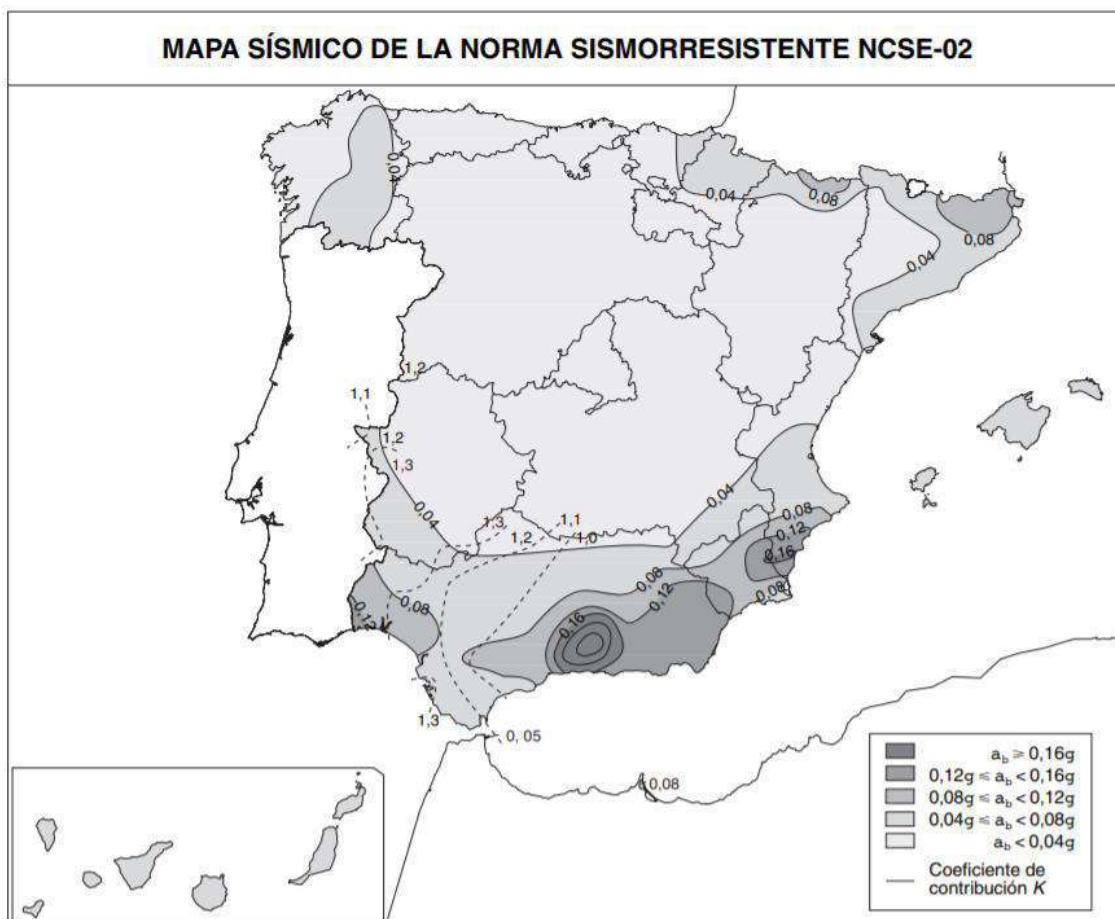


Tabla 4.23 (arriba). UNE-EN 22203. p. 25. Figura 4.26 (abajo). NCSE-02. p.14.

Se puede obtener un valor más preciso por localidades según el anejo 1 de la NCSE-02.

La fuerza sísmica horizontal es complementaria de la presión del viento, por lo que se deberán sumar ambas a efectos de determinar el espesor de la placa por esfuerzos de flexión y por cortante en el anclaje. La fuerza sísmica horizontal se puede obtener mediante la siguiente expresión (UNE-EN 22203, apartado 6.2):

$$F_s = S_a \cdot W_p \cdot \gamma_a / q_a$$

siendo

$F_s$  la fuerza sísmica horizontal en KN

$W_p$  el peso de placa en KN

$\gamma_a = 1$  coeficiente de importancia del elemento considerado

$q_a = 2$  coeficiente de comportamiento del elemento considerado

$S_a$  el coeficiente sísmico aplicado a los elementos no estructurales, según la siguiente expresión:

Sustituyendo  $S_a = 5,5 \frac{a_b}{g} S$  anterior resultaría:  $F_s = 2,75 \frac{a_b}{g} S \cdot W_p$

siendo S el parámetro del suelo según la clase de terreno, de acuerdo a lo definido en la NCSE-02, apartado 2.4.

- Terreno tipo I: roca compactar, suelo cementado o granular muy denso.
- Terreno tipo II: roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.
- Terreno tipo III: suelo granular de compacidad media o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme.
- Terreno tipo IV: suelo granular suelto o suelo cohesivo blando.

Clase de terreno	S (para zonas sísmicas 1 a 4)
Tipo I	1,0
Tipo II	1,3
Tipo III	1,6
Tipo IV	2,0

Tabla 4.24. UNE-EN 22203. p. 26

La presión sísmica sobre una placa es, por tanto,  $P_s = \frac{F_s}{L \times W}$  (m<sup>2</sup>)

siendo

$F_s$  la fuerza horizontal sobre la placa en kN

L y W las dimensiones de la placa en m.

#### 4.4.4. CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

El subsistema de anclaje debe evaluarse mediante un cálculo estructural que garantice tanto su estabilidad mecánica como la eficacia de la unión al soporte. Debe soportar las mismas acciones que las placas de piedra además del esfuerzo flector provocado por la excentricidad del eje del anclaje respecto del soporte. En función del despiece y dimensiones de las placas de piedra, del tipo y posición de los anclajes y del ancho de la cámara, el fabricante facilitará la memoria de cálculo del proyecto, que refleje la metodología de cálculo y la aplicación según los parámetros del proyecto en particular. En general, la empresa suministradora del subsistema de anclaje se encarga de realizar los cálculos y comprobaciones necesarias.

A continuación se muestra como ejemplo el contenido de memoria de cálculo para el proyecto de fachada trasventilada con placas de piedra natural, empleando un subsistema de anclaje mediante subestructura según la documentación facilitada por la empresa Sistema Masa.

- Antecedentes
  - a. Introducción y objetivos
  - b. Descripción general del proyecto
- Bases para el cálculo
  - a. Características de los materiales empleados
  - b. Acciones consideradas
    - i. Viento
    - ii. Sismo
    - iii. Acciones térmicas
    - iv. Impacto
    - v. Fuego
    - vi. Efecto de las heladas
  - c. Coeficientes de seguridad
  - d. Consideraciones para el cálculo
    - i. Valores de los límites elásticos de los materiales de los componentes
    - ii. Flecha máxima admisible
    - iii. Tensiones admisibles
    - iv. Comprobaciones:
      - Resistencia de las grapas, comprobación a tensión y flecha.
      - Resistencia a cortante y a arrancamiento de los tornillos de unión de las grapas con los perfiles verticales.
      - Resistencia de los perfiles verticales a acciones horizontales, comprobación a tensión y flecha.
      - Resistencia de las escuadras, comprobación a tensión y flecha.
      - Resistencia a cortante de las uniones del perfil vertical con la escuadra.
      - Resistencia a cortante de los tornillos de unión de las escuadras con los perfiles verticales.
      - Solicitaciones en anclaje, fuerza de arrancamiento y cizalla.
  - e. Método de cálculo
  - f. Anclajes y subestructura
  - g. Ménsulas
- Programa de cálculo utilizado
- Normativa
- Justificación del CTE

#### 4.4.5. TRANSMISIÓN Y REPARTO DE CARGAS EN LOS ANCLAJES

El reparto de cargas dependerá del tipo de anclaje utilizado para la sujeción de la placa, de su posición y de su función. De acuerdo a su función se distinguen dos tipos de anclajes, tal y como se ha comentado en el apartado referente al subsistema de anclaje, pudiendo ser de sustentación o de retención. Los anclajes de sustentación absorben las cargas verticales debidas al peso propio y las cargas horizontales. Los anclajes de retención, en cambio, absorben únicamente fuerzas horizontales.

Independientemente de los cálculos específicos que se incluyan en la memoria de cálculo es importante que el proyectista tenga nociones sobre la transmisión de la carga de la placa en función del tipo de anclaje que la soporta, de tal manera que pueda tener en cuenta esta información a la hora de elaborar su propuesta de despiece.

#### ANCLAJES PUNTUALES

Desde el punto de vista de conseguir la igualdad de momentos negativos y positivos en la placa la norma UNE-EN 22203 recomienda como distancia óptima de los puntos de anclaje al canto de la placa  $r = 0,21 L$ , siendo  $L$  la longitud del lado en el que se ubican los anclajes.

Cuando se utilizan anclajes de bulón o de ranura puntual dobles en el sistema de subestructura, la distancia anterior puede variar a efectos de evitar la utilización de grapas asimétricas cuando el lado de las placas continuas no es el mismo.

Cuando se utilizan anclajes de bulón ubicados en el lado mayor de la placa ( $L_1$ ), el límite tolerable de acuerdo a la norma UNE-EN 22203 es  $L_1 / L_2 \leq 2,41$ .

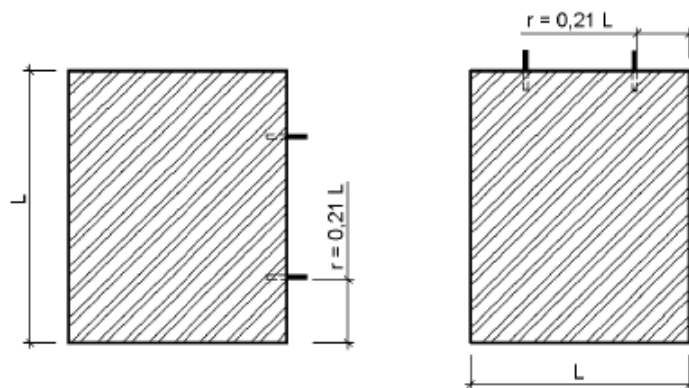


Figura 4.27. UNE-EN 22203. p.42

**REPARTO DE CARGAS EN JUNTAS HORIZONTALES**

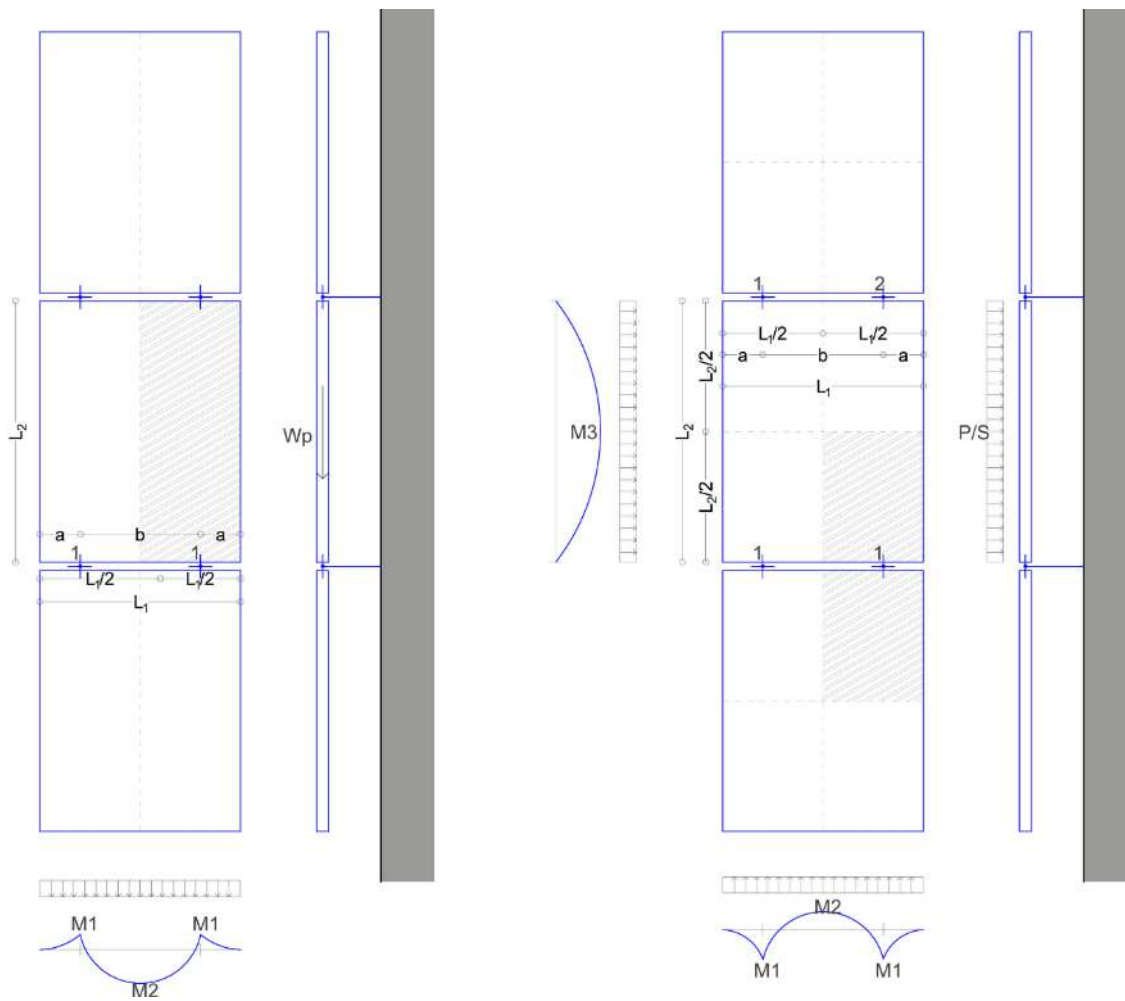


Figura 4.28. Izquierda, solicitaciones debidas al peso propio. Derecha, solicitaciones debidas al viento. Elaboración propia

En esta configuración cada placa se sujeta con al menos cuatro anclajes ubicados en las juntas horizontales. Los anclajes se colocan a la misma distancia (a) al borde la placa. Los anclajes en el borde inferior de la placa son de sustentación y los anclajes en el borde superior son de retención. El reparto de cargas se produce de la siguiente manera:

- Anclaje de sustentación (1)
- Anclaje de retención (2)

Solicitaciones debidas al peso propio

Las solicitaciones debidas al peso propio se transmiten a través de los anclajes de sustentación ubicados en el inferior de la placa. Cada anclaje de sustentación soporta:  $Wp_1 = Wp / n^{\circ}$  anclajes de sustentación

Solicitaciones debidas al viento

Las solicitaciones debidas al viento se transmiten a través de los anclajes de sustentación y los de retención. Cada anclaje soporta:  $P/S_{1-2} = P/S / n^{\circ}$  total de anclajes de la placa superior +  $P/S / n^{\circ}$  total de anclajes de la placa inferior.

**REPARTO DE CARGAS EN JUNTAS VERTICALES**

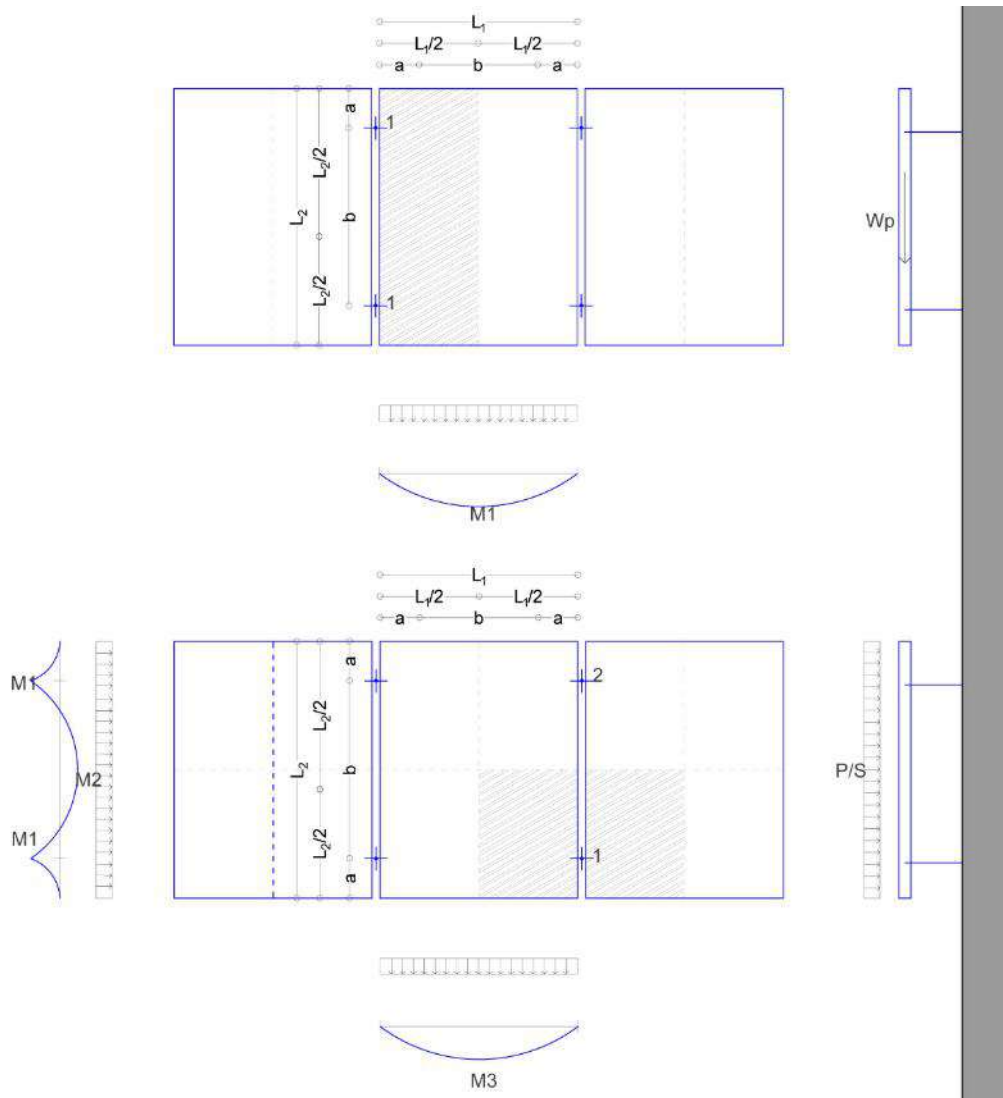


Figura 4.29. Izquierda, solicitaciones debidas al peso propio. Derecha, solicitaciones debidas al viento. Elaboración propia

En esta configuración cada placa se sujeta con al menos cuatro anclajes ubicados en las juntas verticales. Generalmente los anclajes se colocan a la misma distancia ( $a$ ) al borde de la placa, aunque en ocasiones los anclajes de sustentación se colocan a una distancia al borde distinta que los anclajes de retención. Los cálculos a continuación se han hecho para el caso más habitual, suponiendo que el valor ( $a$ ) es el mismo. Los anclajes en el borde inferior de la placa son de sustentación y los anclajes en el borde superior son de retención. El reparto de cargas se produce de la siguiente manera:

- Anclaje de sustentación (1)
- Anclaje de retención (2)

Solicitaciones debidas al peso propio: las solicitaciones debidas al peso propio se transmiten a través de los anclajes de sustentación ubicados en el inferior de la placa. Cada anclaje de sustentación soporta:  $W_p / n^\circ$  anclajes de sustentación.

Solicitaciones debidas al viento: las solicitaciones debidas al viento se transmiten a través de los anclajes de sustentación y los de retención. Cada anclaje soporta:  $P/S_{1-2} = P/S / n^\circ$  total de anclajes de la placa +  $P/S / n^\circ$  total de anclajes de la placa adyacente.

## ANCLAJES CONTINUOS

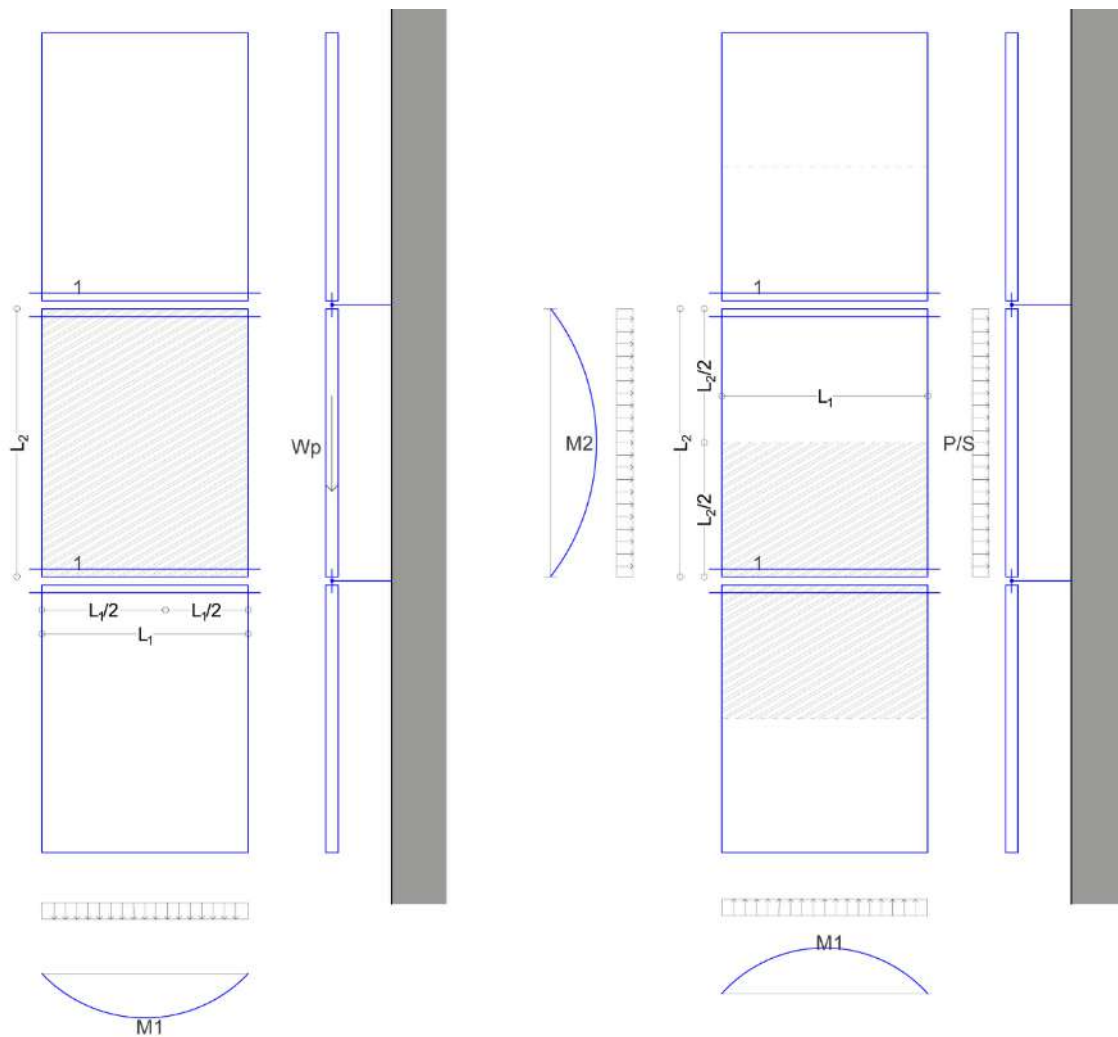


Figura 4.30. Izquierda, solicitaciones debidas al peso propio. Derecha, solicitaciones debidas al viento. Elaboración propia

En esta configuración cada placa se sujeta con un perfil continuo de sustentación ubicado en el borde inferior de la placa y un perfil continuo de retención o dos o más grapas de retención, ubicadas en el borde superior de la placa. El reparto de cargas se produce de la siguiente manera:

- Anclaje de sustentación (1)
- Anclaje de retención (2)

Solicitaciones debidas al peso propio: las solicitaciones debidas al peso propio se transmiten a través del perfil continuo que soporta el total de la carga  $W_p$ .

Solicitaciones debidas al viento: las solicitaciones debidas al viento se transmiten a través del perfil de sustentación y de los anclajes de retención. El perfil de sustentación soporta  $\frac{1}{2} P/S$ , mientras que los anclajes de retención soportan  $\frac{1}{2} P/S / n^\circ$  total de anclajes de retención.



**ANCLAJES EN EL REVERSO DE LA PLACA**

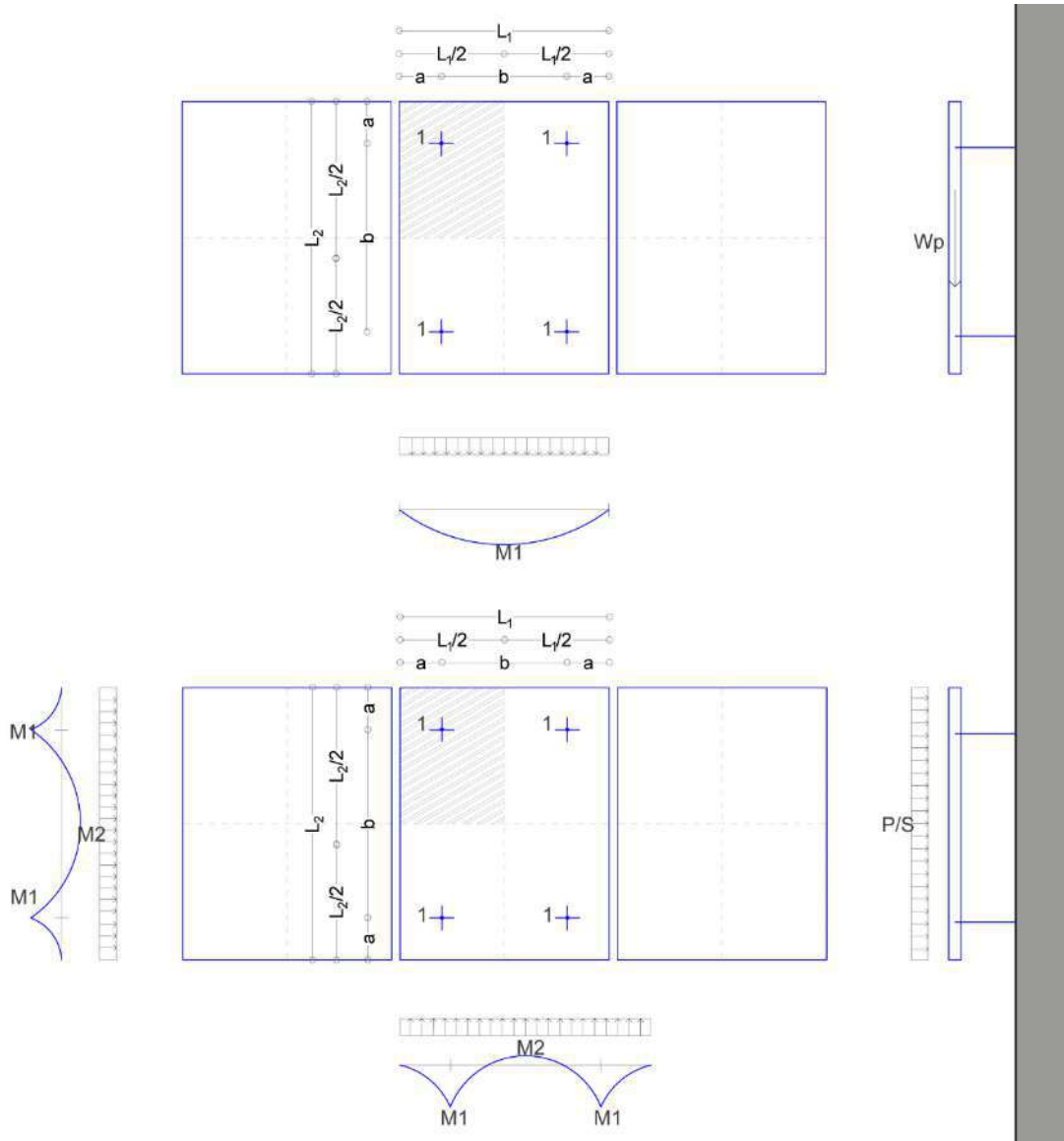


Figura 4.31. Arriba, solicitaciones debidas al peso propio. Abajo, solicitaciones debidas al viento. Elaboración propia

En esta configuración cada placa se sujeta con al menos cuatro anclajes ubicados en el reverso de la placa, funcionando todos ellos como anclajes de sustentación y retención. Los anclajes en el borde inferior de la placa son de sustentación y los anclajes en el borde superior son de retención. El reparto de cargas se produce de la siguiente manera:

- Anclaje de sustentación/retención (1)

Solicitaciones debidas al peso propio: cada anclaje soporta:  $Wp_1 = Wp / n^\circ \text{ total de anclajes}$

Solicitaciones debidas al viento: cada anclaje soporta:  $P/S_1 = P/S / n^\circ \text{ total de anclajes}$

#### 4.4.6. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA PLACA

##### CÁLCULO

El espesor necesario de las placas del revestimiento se calcula teniendo en cuenta las solicitaciones sobre la placa.

- Esfuerzos de flexión debidos al viento y acciones sísmicas.
- Esfuerzos de cortante en el anclaje, debidos al viento, acciones sísmicas y el peso propio de la placa.
- Esfuerzos por impacto

El sistema de cálculo se determina en la norma UNE-EN 22203, considerando de manera separada cada uno de los 3 esfuerzos indicados.

##### ESPESOR PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE FLEXIÓN (VIENTO Y SISMO)

Se calcula según lo indicado en el artículo 6.4.1 de la norma UNE-EN 22203, mediante la expresión

$$e = \sqrt{\frac{0,75 \cdot F_p (P + P_s) \cdot L^2}{V_i E \cdot 10^3}}$$

siendo:

- e el espesor de la placa en mm
- P la presión del viento en KN/m<sup>2</sup>
- P<sub>s</sub> la presión debida a acciones sísmicas en KN/m<sup>2</sup>, obtenida según la ecuación anteriormente descrita
- L el vano entre anclajes
- V<sub>i</sub>E el valor inferior esperado en MPa
- F<sub>p</sub> = 6 el factor de seguridad frente a la resistencia a la flexión

Para calcular la P<sub>s</sub> se necesita conocer el peso de la placa, para lo que se darán valores estimativos del espesor, resolviéndose la ecuación por iteración del valor del espesor.

La norma UNE-EN 22203 también establece los siguientes espesores mínimos, independientemente del valor resultante de la ecuación.

- Granitos, pizarras lulitas, ...: 20 milímetros
- Mármoles: 25 milímetros
- Calizas, areniscas, arcosas o travertinos: 30 milímetros

En el caso de rocas con planos de esquistosidad (pizarras, filitas, ...) o rocas con planos de estratificación de reducido espesor (algunas variedades de mármoles, calizas o cuarcitas obtenidas por lajado natural) no admiten mecanización de sus cantos para la introducción de anclajes, debiendo empelarse anclajes vistos.

ESPESOR PARA SOPORTAR ESFUERZOS DE CORTANTE EN EL ANCLAJE (VIENTO, SISMO Y PESO PROPIO)

Se calcula según lo indicado en el artículo 6.4.2 de la norma UNE-EN 22203, en función del tipo de anclaje:

- Anclajes de bulón:

De manera general para utilizar un anclaje de bulón se debe justificar que el valor de resistencia de la resistencia al anclaje alcance un valor mínimo de 0,5 kN y que supere el peso de la placa en un 20%. Para casos particulares se comprobará el valor de resistencia del anclaje para el diámetro de bulón utilizado mediante la siguiente expresión:

$$Ra \geq \frac{P \cdot F + P_s}{L \cdot W \cdot n \cdot F_c}$$

siendo:

Rael valor de la resistencia al anclaje en kN

P la presión de viento en kN/m<sup>2</sup>

P<sub>s</sub> la acción sísmica en kN/m<sup>2</sup>

L y W las dimensiones de la placa en m

n el número de anclajes empleados en la placa

F el factor de seguridad frente al valor de resistencia al anclaje, recomendándose F=8

F<sub>c</sub> el factor de corrección de la resistencia al anclaje debido al tamaño del cráter en la rotura. Generalmente las rocas alcanzan valores de 1.

El valor de Ra se obtiene mediante un ensayo tecnológico, según lo definido en la norma UNE-EN 13364. Para dicho ensayo se empleará una muestra con el espesor real. Una vez obtenido el valor mediante ensayo se debe minorar mediante el siguiente factor de corrección:

$$F_c = \frac{b_M}{2 b_A}$$

siendo:

b<sub>A</sub> la dimensión mayor del cráter producido en la probeta en el ensayo, cuyo valor debe ser proporcionado por el fabricante.

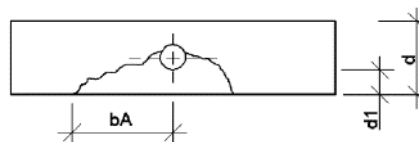


Figura 4.32. UNE-EN 22203. p.29.

b<sub>M</sub> la sección resistente al arrancamiento, en función de b<sub>A</sub>, la distancia del anclaje al borde de la placa (r), siendo su valor r= 0,21 L.

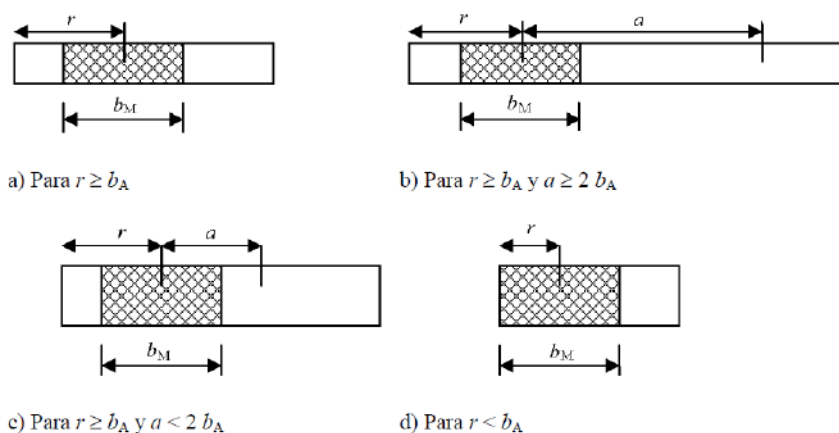


Figura 4.33. UNE-EN 22203. p.30.

	Valores de $r$	Valores de $b_M$	Valores de $F_c$
Caso a	$r \geq b_A$	$2 b_A$	1
Caso b	$r \geq b_A$ y $a \geq 2 b_A$	$2 b_A$	1
Caso c	$r \geq b_A$ y $a < 2 b_A$	$b_A + a/2$	$\frac{b_A + \frac{a}{2}}{2 \cdot b_A}$
Caso d	$r < b_A$	$2 r$	$\frac{r}{b_A}$

Tabla 4.25. Valores de  $b_M$  y  $F_p$ . UNE-EN 22203. p.30.

- Otras tipologías de anclajes:

Para cualquier otro tipo de anclaje se debe realizar un ensayo de carga sobre un modelo de sistema equivalente al real y aplicando sobre estas cargas estáticas uniformes repartidas sobre la placa hasta alcanzar presiones 8 veces superiores a la presión del viento. En caso de no alcanzar el valor requerido se deberá ampliar el espesor de la placa hasta obtener el resultado esperado.

ESPESOR PARA SOPORTAR IMPACTOS

Las placas del revestimiento están sometidas a impactos, especialmente las ubicadas en el zócalo de la fachada. El espesor de la placa debe ser suficiente para absorber la energía de impactos indicada en el artículo 6.4.3 de la norma UNE-EN 22203.

	Hasta 3,00 m de altura	De 3 m a 6 m de altura	Más de 6 m de altura
<b>Edificios</b>	5	4	3
<b>Viviendas unifamiliares</b>	4	3	—

Tabla 4.26. Energía de rotura (Julios). UNE-EN 22203. p.31.

Como valor de referencia se adoptará el ViE del valor de energía de rotura por impacto obtenido mediante ensayo, afectado por un factor de seguridad de 1,2. En zonas con tránsito peatonal o expuestas a impactos de cuerpos duros puede ser necesario aumentar el espesor de la placa, incrementar el número de anclajes o macizar la cámara.

### MÉTODO DE PREDIMENSIONADO

En la guía de la piedra natural (Instituto Valenciano de la Edificación, Instituto Tecnológico de la Construcción. 2011) se propone el siguiente método de predimensionado que puede resultar de utilidad para el proyectista.

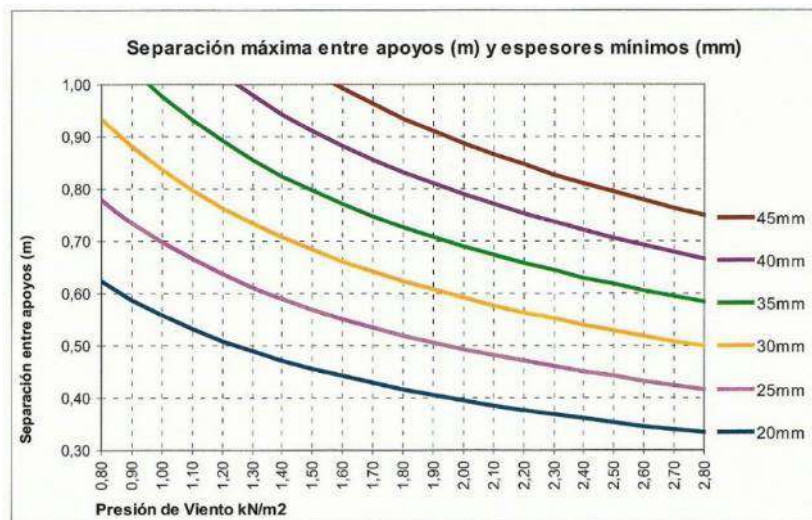
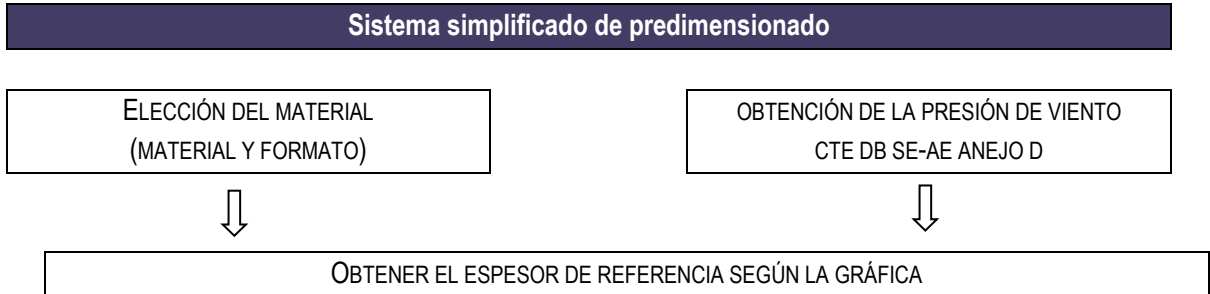


Tabla 4.27. Tabla para la obtención del espesor de referencia. Cálculos realizados para mármoles y calizas de densidad alta con una resistencia a flexión de 7,10 N/mm<sup>2</sup>. Instituto Valenciano de la Edificación, Instituto Tecnológico de la Construcción. 2011. p.85



TENER EL EQUIVALENTE CON EL MATERIAL DESEADO, EN FUNCIÓN DE SU RESISTENCIA A FLEXIÓN

ESPEORES EQUIVALENTES PARA DISTINTOS MATERIALES O RESISTENCIAS A FLEXIÓN (Rf) EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE REFERENCIA							
MATERIALES	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ESPEORES EQUIVALENTES (mm)					
Espesor de referencia (mm)		20	25	30	35	40	45
Pizarras P2 Ext. contra	62,1	7	8	10	12	14	15
Pizarras P1 Int. paralela	49,6	8	9	11	13	15	17
Cuarcitas	13,8	15	18	22	25	29	32
Granitos	10,3	20	21	25	29	33	37
Mármoles	7,1	20	25	30	35	40	45
Calizas densidad media	3,4	30	35	43	51	58	65
Calizas densidad baja	2,9	30	39	47	55	63	70
Areniscas	2,4	35	43	52	60	69	77

Tabla 4.28. Tabla para la obtención del espesor equivalente. Instituto Valenciano de la Edificación, Instituto Tecnológico de la Construcción. 2011. p.86

#### 4.4.7. DIMENSIONADO DE JUNTAS

De cara al dimensionado de las juntas hay que tener en cuenta la influencia térmica y los efectos de dilataciones y contracciones producidos en la placa, así como los producidos en la estructura del edificio, soporte y subsistema de anclaje.

En la norma UNE 22203:2011 se incluye un Anexo C en el que se describe un método de cálculo de las juntas de compresión y expansión a causa de los movimientos relativos debido a las oscilaciones térmicas que se originan desde la instalación de aplacado hasta el momento de máximas temperaturas, tanto en verano como en invierno.

Los movimientos relativos se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$D_r = 1\,000 \cdot \left[ (T_{sp} - T_{se}) \alpha_s - (T_{ae} - T_{aa}) \alpha_r \right] \cdot d$$

siendo:

- $D_r$  el desplazamiento relativo entre soporte y aplacado en milímetros
- $d$  la distancia entre juntas (de expansión o de compresión) en metros
- $T_{sp}$  la temperatura del soporte protegido, una vez finalizada la obra, en un instante determinado (invierno o verano)
- $T_{se}$  la temperatura del soporte expuesto durante el montaje
- $T_{ae}$  la temperatura que puede adquirir el aplacado expuesto
- $T_{aa}$  la temperatura del aplacado, almacenado en obra, antes de su colocación
- $\alpha_s$  y  $\alpha_r$  los coeficientes de dilatación lineal térmica del soporte y del revestimiento respectivamente, en  $m/m\ ^\circ C$

La expansión térmica no está incluida en las normas armonizadas, por lo que no está incluida en la declaración de prestaciones y el marcado CE. No obstante, se puede determinar mediante los dos métodos alternativos indicados en la norma UNE-EN 14581. Algunos valores orientativos de  $\alpha$  para variedades de rocas y soportes son:

TIPO DE ROCA	$\alpha$ (m/m $^\circ C$ )
Mármol blando macael	-1 a $11 \cdot 10^{-6}$
Caliza Capri	$4 \cdot 10^{-6}$
Caliza en general	0,9 a $12 \cdot 10^{-6}$
Caliza blanda	$7 \cdot 10^{-6}$
Caliza dolomítica	$10 \cdot 10^{-6}$
Mármol	3 a $15 \cdot 10^{-6}$
Mármol blanco carrara	$7 \cdot 10^{-6}$
Travertino	4 a $7 \cdot 10^{-6}$
Granito	2 a $12 \cdot 10^{-6}$
Granito negro	$11 \cdot 10^{-6}$
Arenisca	$12 \cdot 10^{-6}$
Basalto	4 a $11 \cdot 10^{-6}$
Pizarra	6 a $12 \cdot 10^{-6}$
TIPO DE SOPORTE	$\alpha$ (m/m $^\circ C$ )
Ladrillo	$8 \cdot 10^{-6}$
Hormigón	$13 \cdot 10^{-6}$
Mampostería	$11 \cdot 10^{-6}$

Tabla 4.29. Coeficientes de dilatación línea  $\alpha$  en función de la variedad de roca y soporte. El signo negativo indica contracción. Elaboración propia a partir de la tabla incluida en el Anexo C de la norma UNE 22203:2011

SITUACIONES PIEDRA	TEMP. INVIERNO (°C)	TEMP. VERANO (°C)
Temperatura ambiente a la sombra	-10	30
Piedra clara	-15	50
Piedra oscura	-15	70
Piedra almacenada en obra (protegida)	15	20
SITUACIONES SOPORTE	TEMP. INVIERNO (°C)	TEMP. VERANO (°C)
Soporte expuesto durante el montaje del aplacado	10	40
Soporte protegido	15	30

Tabla 4.30. Temperaturas de la piedra y el soporte en invierno y verano en °C. Normalmente la temperatura de las placas en invierno y a la sombra es 5°C superior a la temperatura ambiente a una cierta distancia del edificio. Elaboración propia a partir de la tabla incluida en el Anexo C de la norma UNE 22203:2011.

Para las juntas de contorno entre placa y placa se debe tener en cuenta el coeficiente de expansión térmica de la roca. De manera general la norma UNE 22203 establece un valor mínimo de 2 milímetros. López Jimeno, et al...., (2012) propone los siguientes valores mínimos de referencia en función de las dimensiones de las placas.

- Placas de formato pequeño (< 1,25 m<sup>2</sup>): 6 milímetros
- Placas de formato normal (1,25 m<sup>2</sup>): 8 milímetros
- Placas de formato grande (1,8 m<sup>2</sup>): 12 milímetros

## 4.5. PUESTA EN OBRA

### 4.5.1. COMPROBACIONES PREVIAS

Una vez ejecutada la estructura del edificio y el soporte y antes de iniciar la puesta en obra del aislamiento y del subsistema de anclaje se deberá verificar la modulación y el cálculo inicial de los componentes de la fachada considerados en la fase de proyecto. Las verificaciones a realizar de acuerdo a la información facilitada por la empresa Strow Sistemas son:

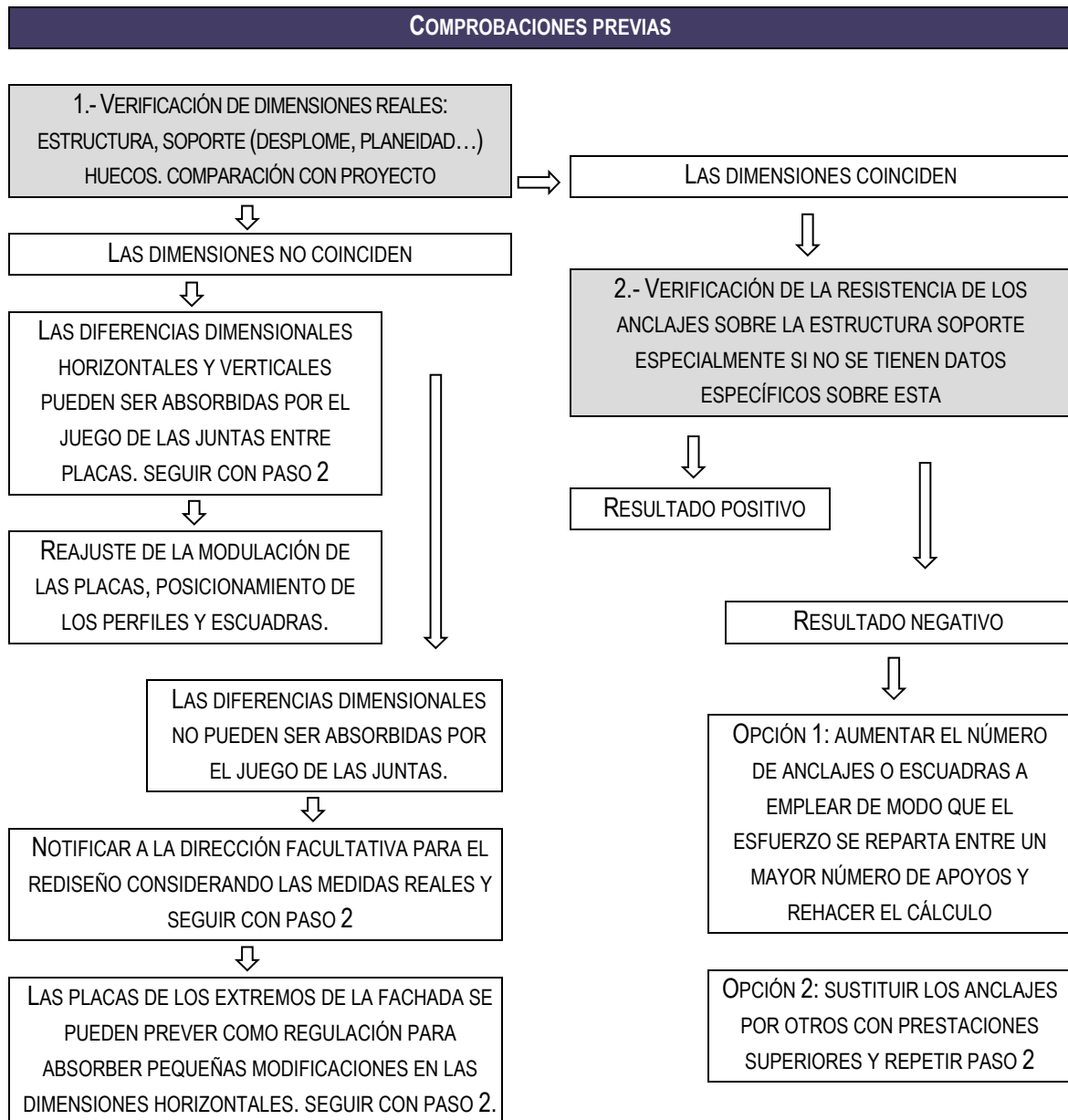


Figura 4.32. Esquema de comprobaciones previas a la instalación del sistema de fachada de acuerdo a la información facilitada por Strow sistemas. Elaboración propia.



#### 4.5.2. REPLANTEO

El replanteo constituye un proceso esencial para la correcta instalación de un sistema de fachada ventilada, que consiste en fijar las líneas de nivel, plomos y líneas auxiliares para marcar la posición de las ménsulas o anclajes puntuales en función del subsistema elegido.

Para hacer el replanteo se creará un plano virtual sobre el plano de trabajo (soporte, estructura). Liñán Romero (2013) recomienda comprobar los siguientes aspectos:

- Planimetría del soporte
- Espesor total del cerramiento
- Espesor libre de la cámara de aire
- Espesor del aislamiento
- Tolerancias del sistema según la documentación técnica facilitada.

Con las medidas tomadas en obra se procederá a realizar el despiece definitivo del proyecto. Para ello es importante concretar los detalles constructivos de los puntos singulares (dinteles, jambas, antepechos, esquinas, cambios de plano, coronaciones, encuentro con otros materiales,...).

Una vez aprobado el plano el plano de despiece definitivo, se realiza el plano ejecutivo de colocación de la perfilería, incluyendo ejes, cotas, numeración de perfiles o anclajes, arranques, posición del aplacado,... así como toda la información necesaria para la puesta en obra.

Se proponen a continuación los siguientes pasos recomendados durante la etapa de replanteo:

##### 1. Información básica de partida

- Longitud de cada plano de fachada, incluidos huecos
- Altura de cada plano de fachada, incluidos huecos
- Altura de cada planta
- Posición y dimensiones de los huecos en fachada
- Situación de instalaciones u otros elementos en la fachada

##### 2. Posición de las líneas de referencia

- Referencia y definición de la resolución del remate inferior
- Referencia y definición de la resolución del remate superior
- Encuentro con otros paramentos verticales u horizontales (vuelos, marquesinas,...)
- Resolución de las esquinas
- Encuentros con otros elementos de la fachada
- Huecos en fachada
- Referencia del nivel de cada planta

3. Fijación de las líneas de referencia de montaje, habitualmente:

- En el caso de anclajes puntuales: líneas de nivel, de plomo, cordeles para comprobar la planeidad, ...
- En el caso de sistemas con subestructuras: líneas de arranque, de nivel de planta, auxiliares de colocación de ménsulas y perfiles, de plomo, ...

4. Colocación de maestras y miras

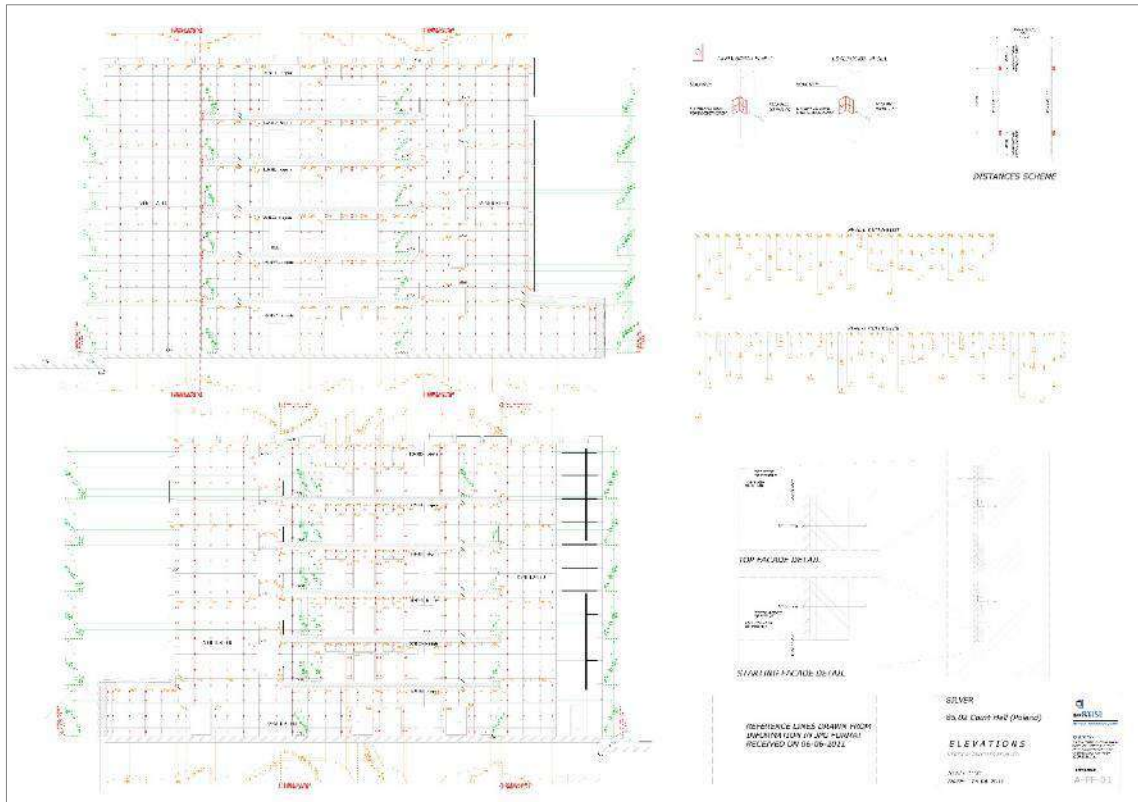
Elementos auxiliares colocados a plomo para comprobar la planimetría de la placa del revestimiento que se vaya a colocar.

5. Huecos y puntos singulares

Se marcarán las referencias necesarias con respecto a jambas, dinteles, vierteaguas y demás elementos singulares. Es fundamental la comprobación del correcto replanteo de los premarcos en función de su solución constructiva.

6. Comprobaciones periódicas:

- Desviaciones
- Tolerancias
- Ajustes y compensación de errores
- En el caso de anclajes puntuales se recomiendan las comprobaciones con la colocación de cada pieza. En el caso de subestructuras se recomienda comprobar cada montante y travesaño, además de las placas del revestimiento cada varios metros.
- En caso de desviaciones superiores a 3 o 4 milímetros se debe desmontar una parte del sistema para su rectificación.



Figuras 4.33 y 4.34. Ejemplos de planos de despiece definitivo. Cedidos por la empresa Sistema masa

### 4.5.3. COLOCACIÓN DEL AISLAMIENTO

Su colocación variará en función del tipo de aislamiento y de sus características, debiendo prestar especial atención en la correcta posición de aislamientos compuestos o aislamientos con caras desiguales. Como se ha indicado anteriormente, los aislantes pueden presentarse en formato de placas o paneles (producto rígido), rollos (producto semirrígido) o para su proyección mecánica. En el caso de placas y rollos hay varios sistemas de fijación al soporte, debiendo seguir las indicaciones del fabricante. También en función del tipo de aislamiento y del producto comercial, este se colocará anterior o posteriormente a la fijación de los anclajes puntuales o ménsulas de fijación.

- **Fijación mecánica:** es el sistema más habitual. Consiste en la fijación del aislante mediante tacos seta, que incluyen una punta o tornillo y una pieza especial que retiene el panel contra el soporte y aumenta la superficie de contacto de la punta evitando desgarros en el material. El número de fijaciones a utilizar dependerá del producto a utilizar, siendo necesarios, generalmente, entre 1 y 4 tacos por metro cuadrado. Para mantener la rotura de puente térmico se recomienda que el taco y la pieza de retención sean de un material termoaislante.
- **Fijación mediante adhesivo:** consiste en la fijación del aislante utilizando morteros o adhesivos.
- **Mixto:** combinación de los dos sistemas anteriores.



Figura 4.35. Ejemplo de fijación mecánica del aislamiento mediante tacos seta (arriba). Ejemplo de instalación de aislamiento semirrígido antes de fijar las ménsulas al soporte (centro). Ejemplo de instalación de aislamiento semirrígido después de fijar las ménsulas al soporte (abajo). Catálogo Isover 2019

#### 4.5.4. INSTALACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

Generalmente el proceso de colocación del subsistema de anclaje dependerá del sistema empleado (anclaje puntual empotrado, anclaje puntual mecánico o anclaje mediante subestructura). En cualquier caso, se deben seguir las instrucciones de montaje indicadas por el fabricante incluidas en el manual de montaje que este facilitará.

##### ANCLAJE PUNTUAL EMPOTRADO

Generalmente cada placa se sujeta con cuatro anclajes. Antes de realizar los agujeros para los anclajes hay que recortar el aislamiento térmico y después del empotramiento del anclaje este se repone. A continuación, se indica el proceso de colocación de este tipo de anclajes según las instrucciones de montaje de la empresa Halfen.

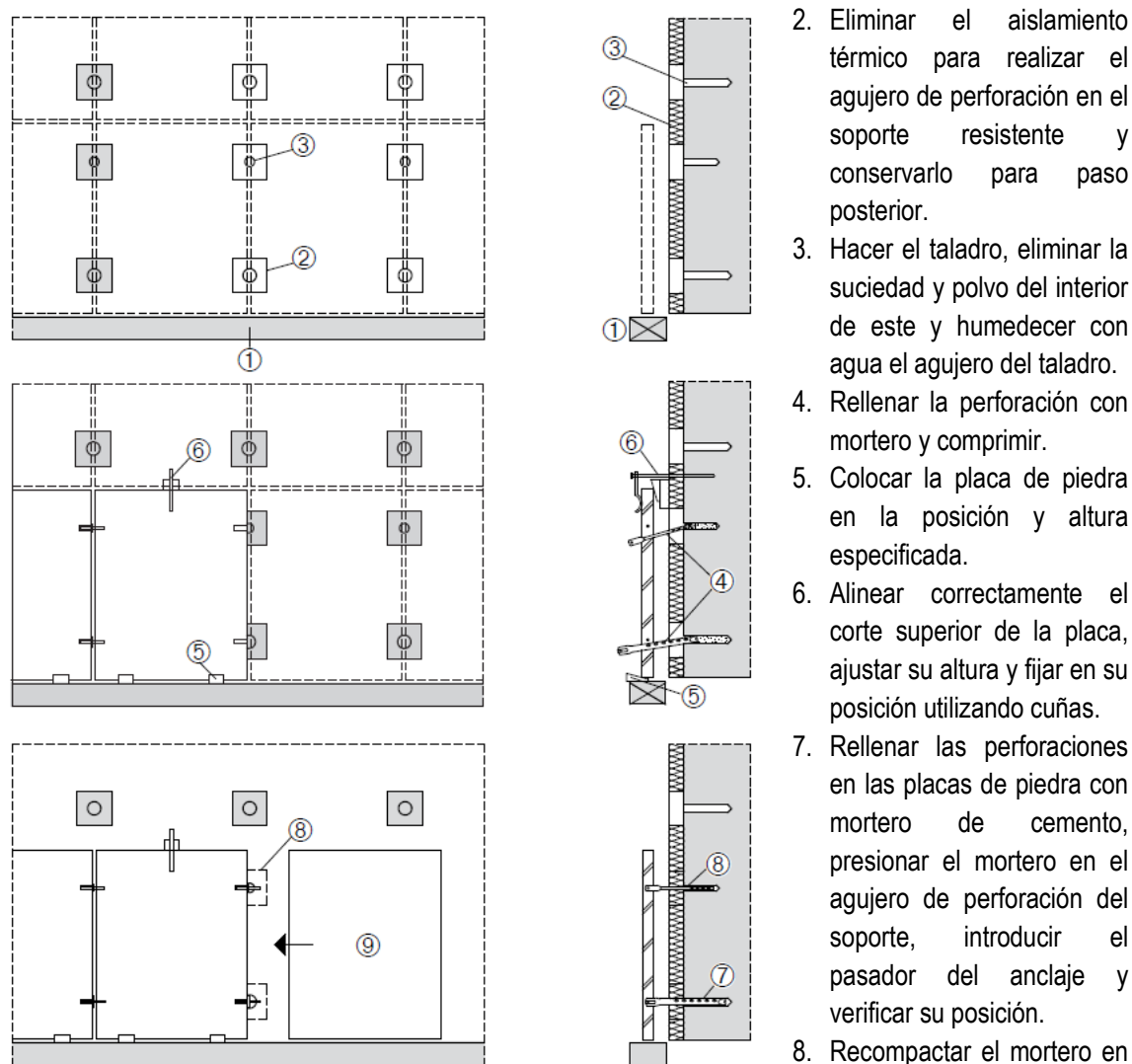


Figura 4.36. Esquema de puesta en obra. Catálogo Halfen. Cedida.

1. Usar un elemento auxiliar alineado con a la altura especificada para apoyar la fila inferior de placas de piedra.

2. Eliminar el aislamiento térmico para realizar el agujero de perforación en el soporte resistente y conservarlo para paso posterior.
3. Hacer el taladro, eliminar la suciedad y polvo del interior de este y humedecer con agua el agujero del taladro.
4. Rellenar la perforación con mortero y comprimir.
5. Colocar la placa de piedra en la posición y altura especificada.
6. Alinear correctamente el corte superior de la placa, ajustar su altura y fijar en su posición utilizando cuñas.
7. Rellenar las perforaciones en las placas de piedra con mortero de cemento, presionar el mortero en el agujero de perforación del soporte, introducir el pasador del anclaje y verificar su posición.
8. Recompactar el mortero en el taladro y reponer el aislamiento.
9. Deslizar la placa contigua y repetir proceso.

## ANCLAJE PUNTUAL REGULABLE

A continuación, se indica el proceso de colocación de este tipo de anclajes según las instrucciones de montaje de la empresa Halfen, para su disposición en juntas verticales y en juntas horizontales. En ambos casos se ha considerado la dirección de montaje de izquierda a derecha y de abajo a arriba.

### Disposición de los anclajes en juntas verticales

1. Fijar la dirección de anclaje. Dirección del montaje: de izquierda a derecha y de abajo a arriba, por lo que la colocación de las placas comienza en el lado izquierdo del edificio.
2. Recortar huecos suficientemente amplios en el aislamiento.
3. Efectuar la profundidad mínima y el diámetro del taladro del taco según la certificación correspondiente. Eliminar el polvo del interior del taladro, poner el taco adecuado y montar el anclaje.
4. Colocar la 1ª placa de piedra natural sobre el 1º anclaje de carga y apuntalar el lado derecho. Fijar el anclaje de carga y el de retención y efectuar el ajuste de precisión. Colocar de nuevo el aislamiento recortado en la posición exacta. Colocar el pasador a través del el prolongador, introduciéndolo en el casquillo de deslizamiento.
5. Rellenar los agujeros de los pasadores de la 2ª placa de piedra natural con mortero. A continuación, desplazar la 2ª placa de piedra natural contra la 1ª.
6. Dejar un espacio libre de al menos 2 mm (lado del casquillo de deslizamiento)
7. Colocar el anclaje de carga y el de retención y hacer el ajuste de precisión.
8. Montaje en la esquina derecha del edificio: La penúltima placa se fija por el borde derecho en la junta vertical con pasadores unilaterales. La última placa de piedra natural del borde derecho del edificio se coloca sobre dos anclajes de carga en la junta horizontal.

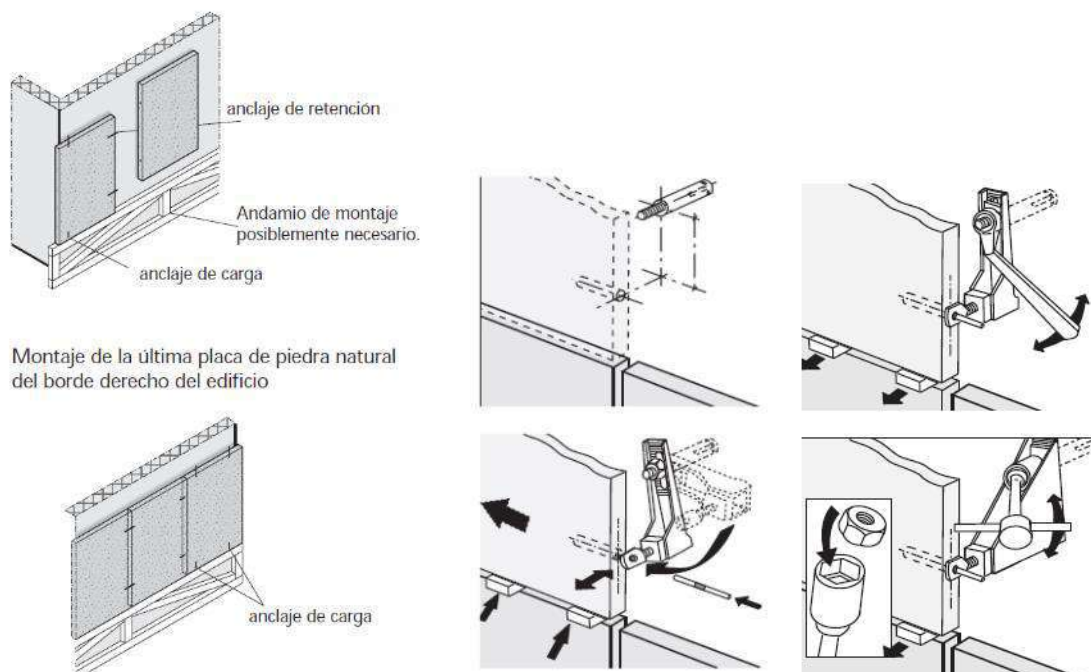


Figura 4.37. Esquema de puesta en obra. Catálogo Halfen. Cedida.

### Disposición de los anclajes en las juntas horizontales

1. Fijar la dirección de anclaje. Dirección del montaje: de izquierda a derecha y de abajo a arriba, por lo que la colocación de las placas comienza en el lado izquierdo del edificio.
2. Recortar huecos suficientemente amplios en el aislamiento.
3. Hacer los taladros para la 1ª y 2ª fila de placas.
4. Eliminar el polvo del interior del taladro, alinear los anclajes de montaje y colocar los tacos. Reponer el aislamiento recortado en la posición exacta.
5. Rellenar con mortero los orificios de los pasadores y colocar la 1ª fila de placas sobre los anclajes de montaje.
6. Colocar los tacos para la 2ª fila de placas y efectuar el ajuste de precisión de la 1ª fila.
7. Dejar un espacio libre de 2 mm mínimo entre el borde superior de la fila de placas y los anclajes de carga de la 2ª fila de placas.
8. Colocar el pasador a través del prolongador e introducirlo en el casquillo de deslizamiento situado debajo.
9. Colocar la 2ª fila de placas y repetir proceso.

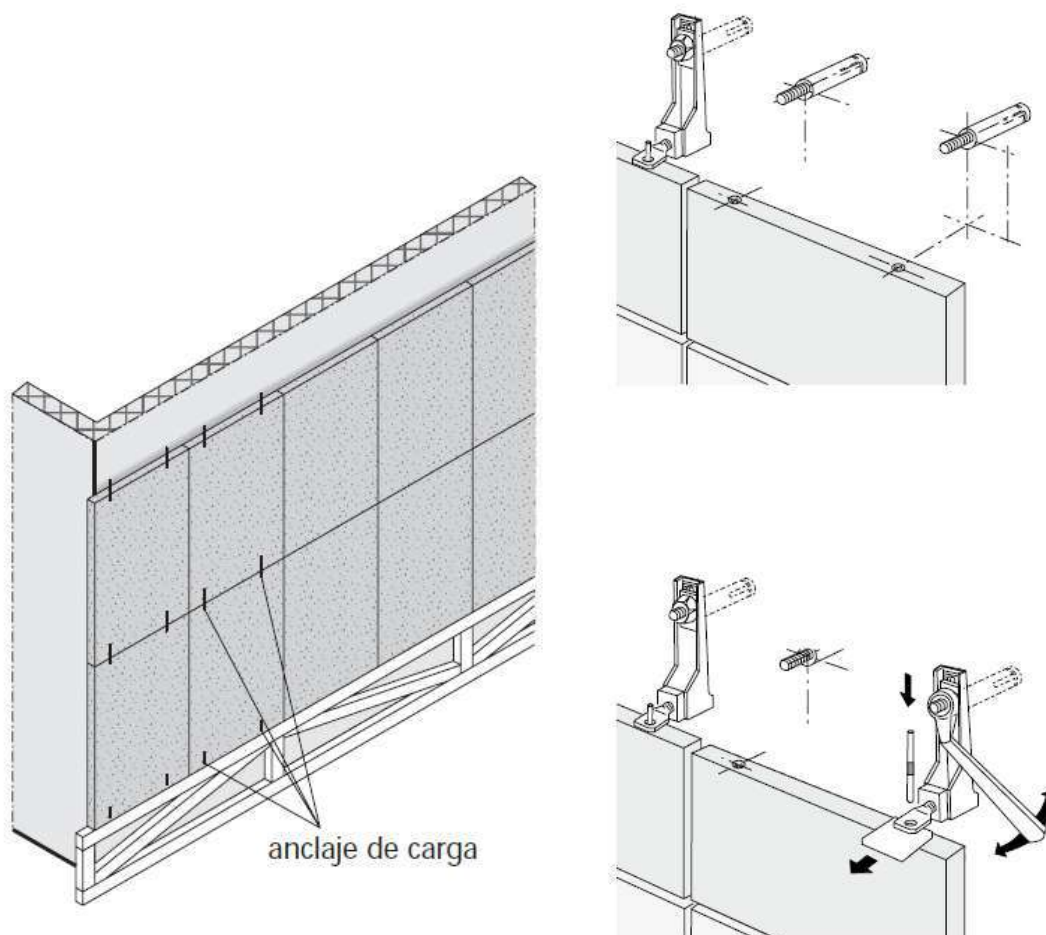


Figura 4.38. Esquema de puesta en obra. Catálogo Halfen. Cedida.

## ANCLAJE MEDIANTE SUBESTRUCTURA DE MONTANTES

A continuación, se indica el proceso de colocación del sistema mediante subestructura según las instrucciones de montaje de la empresa Sistema Masa.

### Paso 1: colocación de escuadras de carga en el canto de los forjados.

1. Marcar la situación del taladro.
2. Realizar el taladro con la profundidad indicada.
3. Limpiar el taladro de impurezas y polvo.
4. Presentar la escuadra en su posición.
5. Introducir el taco.
6. Verificar la posición correcta y ajustar la posición horizontal si fuera necesario.
7. Apretar la tuerca, sin aplicar el par de apriete definitivo hasta que estén instalados los perfiles.

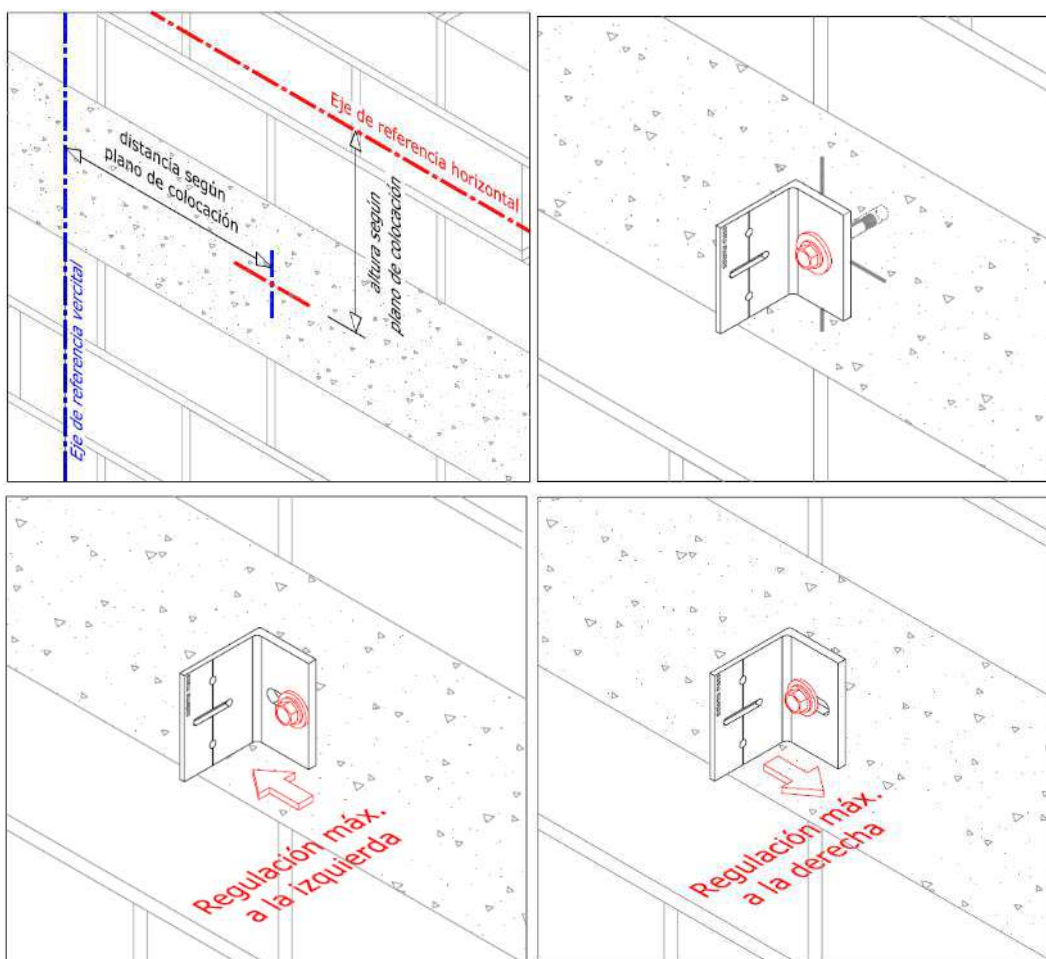


Figura 4.39. Esquema de puesta en obra. Sistema Masa. Cedida

Paso 2: colocación de escuadras de apoyo. Se tendrá en cuenta el soporte y el tipo de anclajes empleados. Para marcar su posición se fijarán ejes de referencia horizontales y verticales. En caso de instalar alguna ménsula sobre soporte metálico se colocará un casquillo de polietileno para evitar problemas de corrosión.



**Paso 3: instalación de montantes.** Se tendrán en cuenta las indicaciones para el empalme de perfiles, juntas entre perfiles contiguos y vuelos máximos.

1. Presentar el perfil a la altura requerida según el plano de instalación.
2. Presentar el tornillo a través de la escuadra de carga. Generalmente los montantes llevan una marca como guía para ello. Fijar el tornillo.
3. Repetir el proceso con el resto de las escuadras.
4. Comprobar el aplome y la alineación del montante.
5. Comprobar que la salida del conjunto concuerde con la definida en proyecto o ajustarla en su caso y verificar que el perfil está aplomado frontalmente y lateralmente.
6. Colocar los tornillos de bloqueo a través de la ménsula de carga.

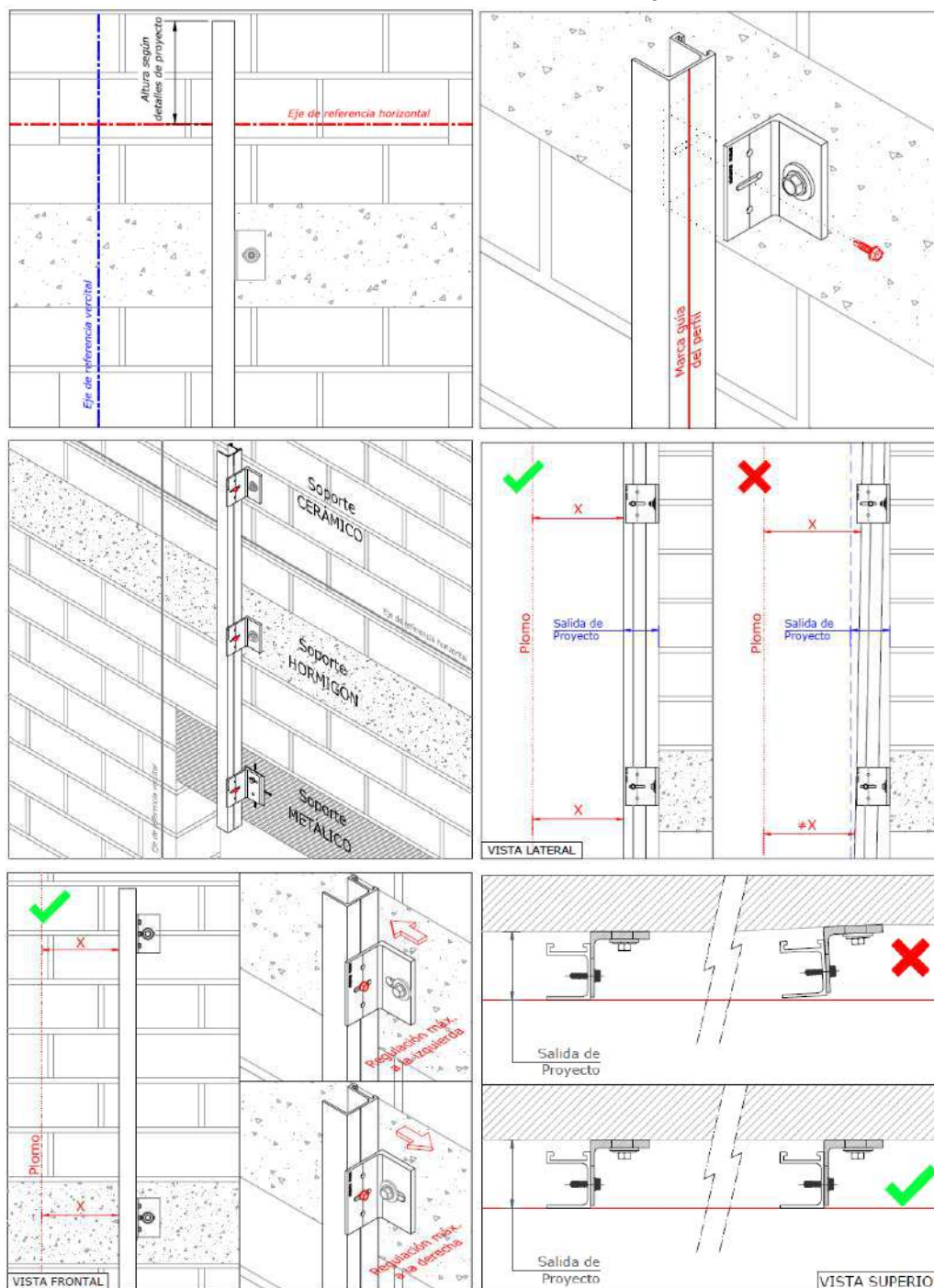


Figura 4.40. Esquema de puesta en obra. Sistema Masa. Cedida

Paso 4: colocación del aislamiento

Paso 5: colocación de las grapas y placas de piedra. El montaje de las grapas se hará en función del modelo empleado, comenzando por las filas inferiores. El proceso general es:

1. Colocación de grapas inferiores.
2. Colocación de la placa de piedra.
3. Colocación de grapas superiores.
4. Repetir el proceso.

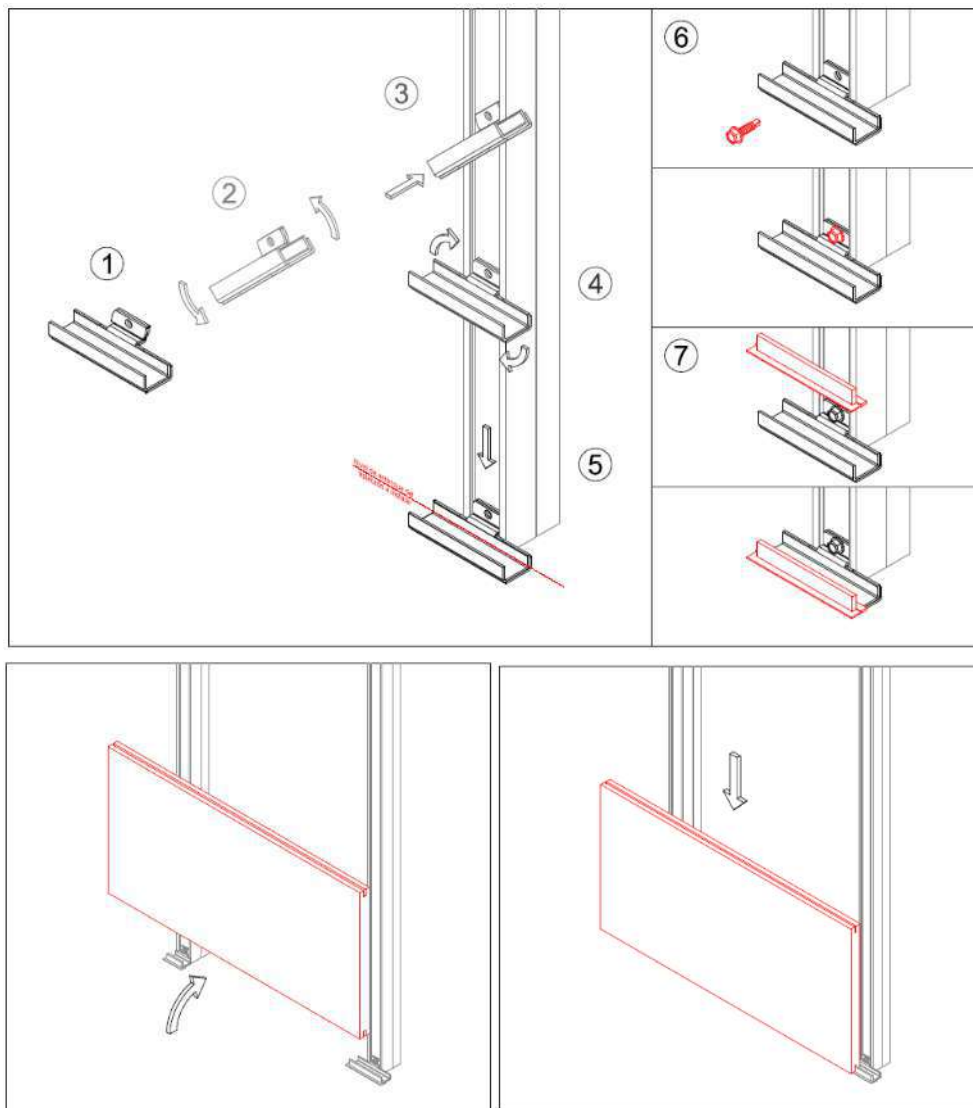


Figura 4.41. Esquema de puesta en obra. Sistema Masa. Cedida

## ANCLAJE MEDIANTE SUBESTRUCTURA DE MONTANTES Y TRAVESAÑOS

A continuación, se indica el proceso de colocación del sistema mediante subestructura según las instrucciones de montaje de la empresa Sistema Masa.

Los pasos 1 al 4 son los mismos que en el caso anterior.

Paso 5: colocación de los travesaños. Se tendrán en cuenta las indicaciones para el empalme de perfiles, juntas entre perfiles contiguos y vuelos máximos.

1. Colocación del travesaño inferior del sistema.
2. Colocación de los restantes travesaños, de abajo a arriba. Para facilitar el proceso Sistema Masa recomienda emplear galgas en cada hilada.

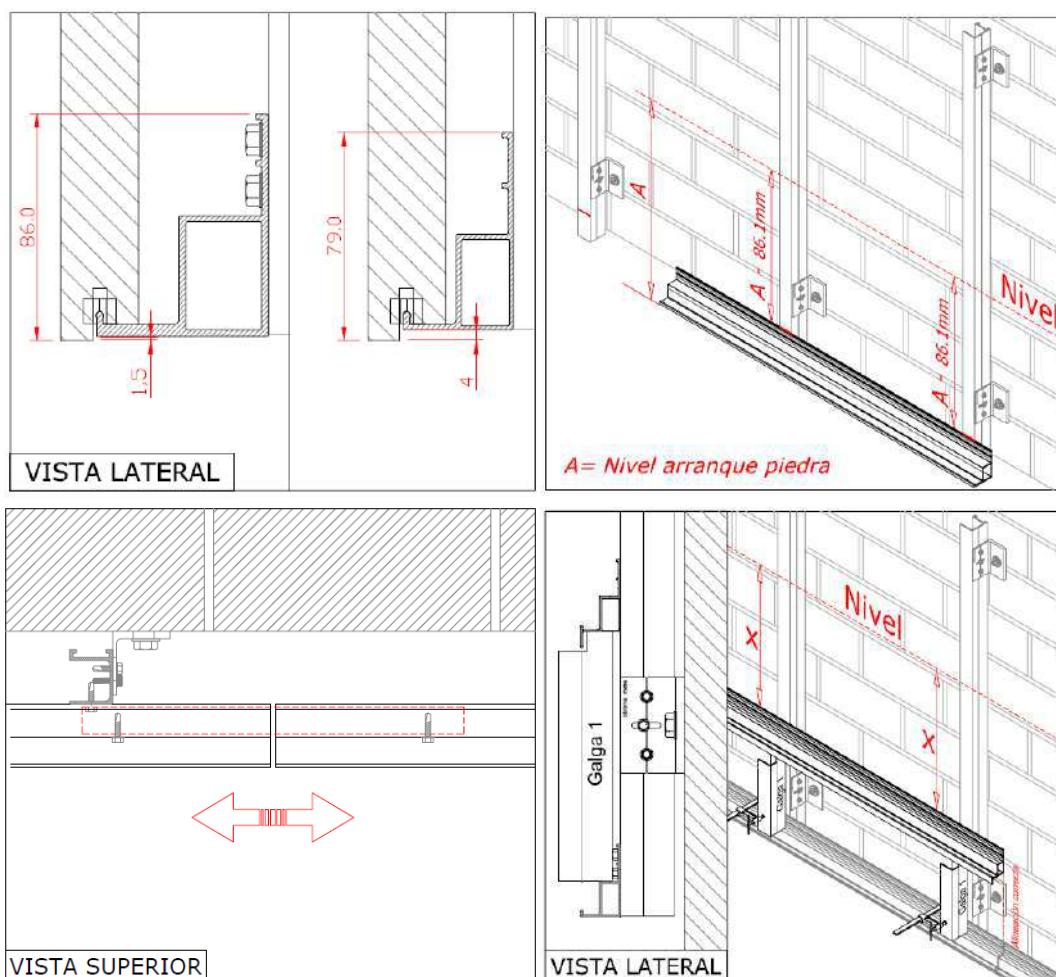


Figura 4.42. Esquema de puesta en obra. Sistema Masa. Cedida

Paso 6: colocación de las placas del revestimiento.

1. Con la pieza inclinada, introducir la ranura superior del aplacado en la pestaña inferior del travesaño.
2. Bajar el aplacado hasta que la ranura inferior encaje en la pestaña del perfil de arranque
3. Una vez encajado entre las pestañas de los perfiles, deslizar la pieza hasta su posición correcta.
4. Bloquear la pieza mediante los casquillos e introducirlos en las pestañas del perfil
5. Deslizar los casquillos hacia el interior de la ranura del aplacado hasta que el regreoso del centro del casquillo contacte con el canto del aplacado.
6. Repetir el proceso para colocar el resto de placas.
7. En las piezas en esquina, se colocará únicamente medio casquillo.

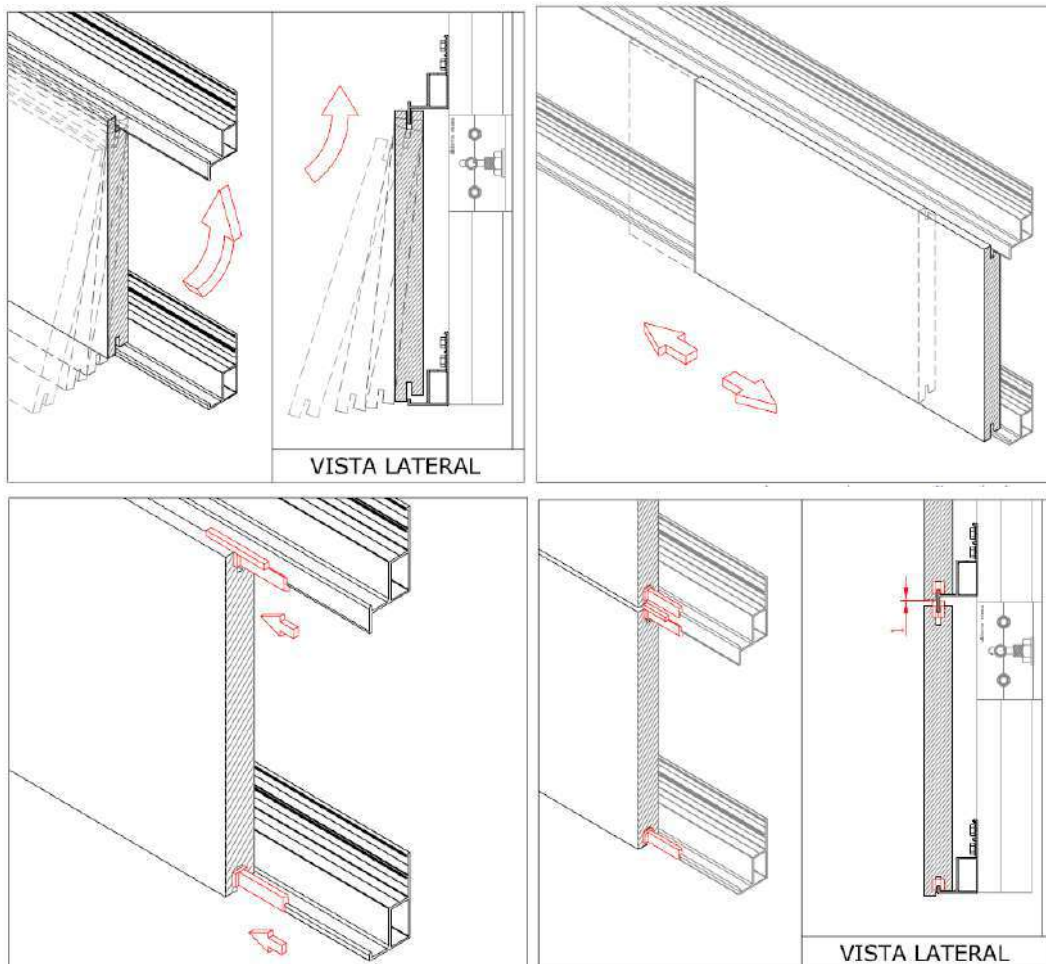


Figura 4.43. Esquema de puesta en obra. Sistema Masa. Cedida

#### 4.6. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA DE APLICACIÓN

---

En este apartado se hace un repaso de la normativa de aplicación vigente de obligado cumplimiento en el panorama español, así como otras normativas de carácter voluntario. Los sistemas de fachada trasventilada son considerados soluciones técnicas alternativas a las consideradas en los Documentos Básicos del CTE. Por este motivo, aunque algunas características del sistema pueden justificarse por aplicación directa de los Documentos Básicos del CTE, para otras se requiere de un análisis más particularizado, justificando con métodos de verificación adecuados que cumplen con los valores límite y prestaciones que implica dicho Documento Básico.

Entre los documentos de referencia podemos considerar:

- Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) y Código Técnico de la Edificación (CTE)
- Especificaciones técnicas armonizadas de la Directiva del Productos de la Construcción- DPC 89/106/CEE y normas armonizadas
- Documentos de Evaluación Europea (DEE)
- Documentos de Idoneidad Técnica Europeos-DITE
- Evaluación Técnica Europea (ETE)
- Informes técnicos de EOTA (EOTA Technical Reports)
- Normas nacionales UNE
- Otras normas y documentos nacionales de idoneidad tales como el Documento de Adecuación al Uso-DAU
- Norma Tecnológica de la Edificación (NTE)
- Otras normas no nacionales de referencia (ASTM, DIN,...)

#### 4.6.1. LEY DE ORDENACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (LOE) Y CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

La legislación nacional en materia de edificación parte de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) tiene por objeto regular el proceso de la edificación, “estableciendo las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en dicho proceso, así como las garantías necesarias para el adecuado desarrollo del mismo, con el fin de asegurar la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de los edificios y la adecuada protección de los intereses de los usuarios”, tal y como se indica en sus disposiciones generales.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la LOE. Se divide en dos partes: por un lado, se detallan todas las exigencias en materia de seguridad y de habitabilidad preceptivas a la hora de construir un edificio según la LOE y, por otro lado, se incluyen los diferentes Documentos Básicos, textos de carácter técnico que se encargan de trasladar al terreno práctico las exigencias detalladas en la primera parte del CTE. Los Documentos Básicos son los siguientes:

- DB-SE: Seguridad Estructural
- DB-SE AE: Acciones en la edificación
- DB-SE C: Cimientos
- DB-SE A: Acero
- DB-SE F: Fábrica
- DB-SE M: Madera
- DB-SI: Seguridad en caso de incendio
- DB-SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB-HS: Salubridad
- DB-HR: Protección frente al ruido
- DB-HE: Ahorro de energía

También prevé el CTE la existencia de documentos de apoyo, guías y documentos con comentarios existentes de cada uno de los requisitos, cuya finalidad es facilitar el cumplimiento del mismo. Toda la documentación relativa al CTE se actualiza periódicamente y puede consultarse en la página web <https://www.codigotecnico.org/index.html>.

De acuerdo al Artículo 5 de la Parte 1 del CTE, sobre condiciones generales para el cumplimiento del CTE, “para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE podrá optarse por:

- a) adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; o
- b) soluciones alternativas, entendidas como aquéllas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a los que se obtendrían por la aplicación de los DB.”

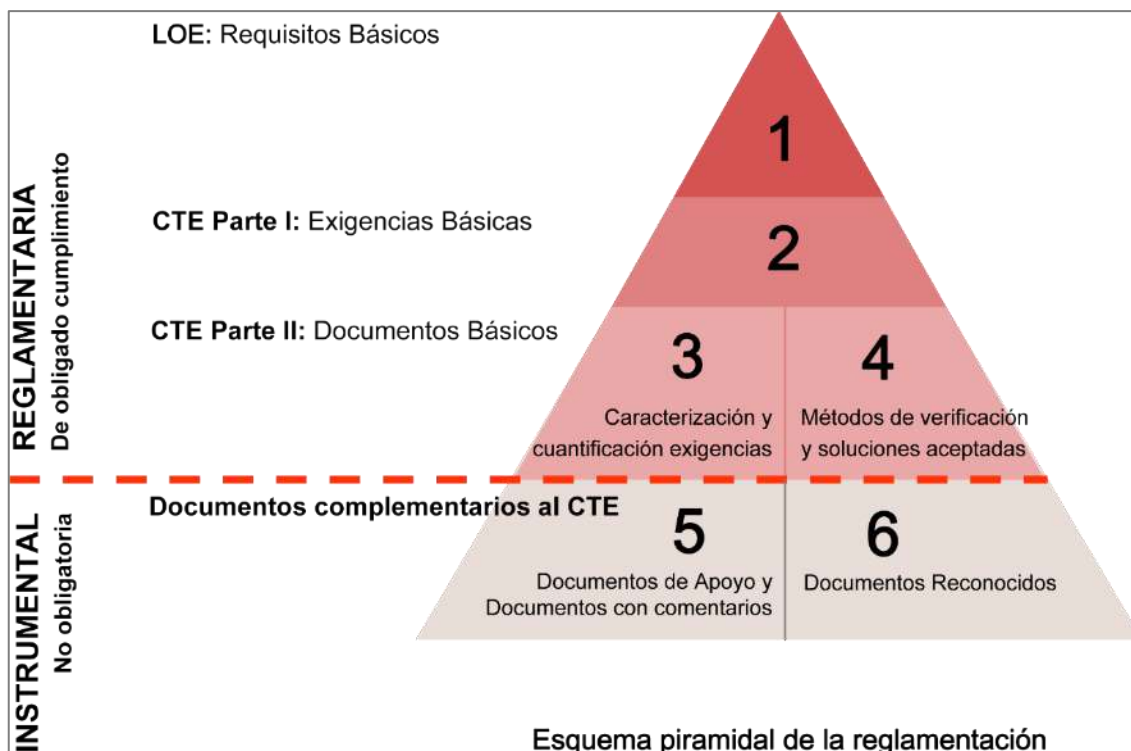


Figura 4.44. Esquema piramidal de la Reglamentación del CTE. (<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/estructura-contenidos.html>). Consulta el 29.10.2018)

“Parte 1 del CTE. Artículo 4. Documentos Reconocidos y Registro General del CTE

1. Como complemento de los Documentos Básicos, de carácter reglamentario, incluidos en el CTE y con el fin de lograr una mayor eficacia en su aplicación, se crean los Documentos Reconocidos del CTE, definidos como documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que cuenten con el reconocimiento del Ministerio de Vivienda que mantendrá un registro público de los mismos.

2. Los Documentos Reconocidos podrán tener el contenido siguiente: a) especificaciones y guías técnicas o códigos de buena práctica que incluyan procedimientos de diseño, cálculo, ejecución, mantenimiento y conservación de productos, elementos y sistemas constructivos; b) métodos de evaluación y soluciones constructivas, programas informáticos, datos estadísticos sobre la siniestralidad en la edificación u otras bases de datos; c) comentarios sobre la aplicación del CTE; o d) cualquier otro documento que facilite la aplicación del CTE, excluidos los que se refieran a la utilización de un producto o sistema constructivo particular o bajo patente.

Bento Fernández (2010) elaboró un artículo técnico sobre los Sistemas de Cerramiento de Fachadas Ventiladas y el CTE, en el que señala los aspectos más importantes del CTE que pueden considerarse para la justificación de estas fachadas. Dichos puntos a considerar se indican en los apartados siguientes.

Requisito	Exigencia	Característica	Aplicable a
Seguridad estructural (SE)	SE1: Resistencia y estabilidad	Resistencia mecánica y estabilidad	Hoja interior y Hoja exterior
	SE2: Aptitud de servicio	Deformación (flechas y desplomes)	Hoja interior y Hoja exterior
Seguridad en caso de incendio (SI)	SI1: Propagación interior	Reacción al fuego de la cara interior	Hoja interior
		Reacción al fuego de la cara exterior	Hoja exterior
	SI2: Propagación exterior	Resistencia al fuego	Hoja interior
Higiene, salud y protección del medio ambiente (HS)	HS1: Protección frente a la humedad	Grado de impermeabilidad al agua de lluvia	Hoja interior Hoja exterior
		Capacidad de drenaje de la cámara de aire	Hoja exterior
		Limitación de condensaciones	Hoja interior
	Sustancias peligrosas	Contenido o desprendimiento de sustancias peligrosas	Materiales de los componentes
Seguridad de utilización y accesibilidad (SUA)	SUA2: Riesgo de impacto	Resistencia a impactos	Hoja interior Hoja exterior
	SUA8: Riesgo de acción del rayo	Equipotencialidad	Hoja interior Hoja exterior
Protección frente al ruido (HR)	HR: Protección contra el ruido	Aislamiento al ruido aéreo procedente del exterior	Hoja interior
Ahorro de energía y aislamiento térmico (HE)	HE1: Limitación de la demanda energética	Aislamiento térmico	Hoja interior
		Permeabilidad al aire	Hoja interior
Otros requisitos adicionales	Durabilidad	Corrosión	Componentes metálicos
		Comportamiento a envejecimiento acelerado	Materiales de los componentes
	Identificación de los componentes	Características de los componentes relacionadas con las prestaciones del sistema	Componentes

Tabla 4.31. Requisitos, exigencias y características aplicables a los distintos componentes del sistema. Bento Fernández, María (2010) Los sistemas de cerramiento de fachadas ventiladas y el CTE. Conarquitectura N° 35. p. 77

## DB-SE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Este DB establece los principios y los requisitos relativos a la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio, así como la aptitud al servicio, incluyendo su durabilidad. Describe las bases y los principios para el cálculo de las mismas. La ejecución, la utilización, la inspección y el mantenimiento se tratan en la medida en la que afectan a la elaboración del proyecto.

Las exigencias básicas se definen en el artículo 10.1 y 10.2 de la Parte 1 del CTE.

- SE1: Resistencia y estabilidad. La resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen riesgos indebidos, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios.
- SE2: Aptitud al servicio. La aptitud al servicio será conforme con el uso previsto del edificio, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable la



probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles.

La evaluación de las acciones se hará de acuerdo con lo establecido en DB SE y DB SE AE. Las acciones a considerar son:

- Acciones permanentes (G)  
Peso propio
- Acciones variables (Q)  
Sobrecarga de uso  
Acciones sobre barandillas y elementos divisorios  
Viento  
Acciones térmicas  
Nieve
- Acciones accidentales (A)  
Sismo  
Impacto

“En el caso de las deformaciones, si bien los métodos de verificación podrían asimilarse a los indicados en el apartado 4.3 del DB SE, no ocurre lo mismo con los valores límite, ya que, por ejemplo, los valores límite de las flechas indicadas en el apartado 4.3.3.1 corresponden a estructuras horizontales. En este caso se deberán establecer valores límite adecuados al sistema que se esté estudiando, por ejemplo, si los revestimientos son fijados mediante perfiles horizontales tipo rail, las deformaciones que deben tener estos perfiles deben ser compatibles con las deformaciones del revestimiento” (Bento Fernández, 2010).

Sobre la hoja exterior se recomienda realizar comprobaciones mediante cálculo de (Bento Fernández, 2010):

- Flexión del elemento de revestimiento y, en su caso, rotura de la ranura, cuando éste sea fijado mecánicamente de forma oculta.
- Resistencia del elemento de fijación mecánica del revestimiento. En el caso de perfiles horizontales de fijación, además se deberá comprobar la deformación de este perfil.
- Resistencia de las uniones del elemento de fijación del revestimiento con el perfil vertical de la subestructura.
- Resistencia y deformación de los perfiles verticales de la subestructura
- Resistencia de los elementos de unión de los perfiles a las ménsulas
- Resistencia y deformación de las ménsulas
- Resistencia de los anclajes de las ménsulas a la estructura soporte.

Sobre la hoja interior se recomienda realizar comprobaciones mediante cálculo de su resistencia y estabilidad, teniendo en cuenta que las acciones debidas al viento y al peso propio de la hoja exterior se transmiten a la hoja principal de forma puntual, en los puntos de fijación de la subestructura de la hoja exterior. Por ejemplo, en el caso de una obra de fábrica de ladrillo, se podrían considerar los criterios y métodos de verificación indicados en el DB SE-F. Complementariamente se debería considerar la prescripción de un ensayo en obra de extracción de los anclajes sobre el soporte, que valide los valores límites utilizados en los cálculos de comprobación (Bento Fernández, 2010).

## DB-SI. SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

El Documento Básico DB-SI especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad en caso de incendio. En este caso son de aplicación los valores límite y métodos de verificación indicados en el DB SI1, para propagación interior y DB SI2 para propagación exterior.

Respecto a la propagación interior, la hoja interior del cerramiento debe cumplir las condiciones de reacción al fuego que se establecen en la tabla 4.1.

Respecto a la propagación exterior, deberán considerarse los valores límite y criterios de evaluación de resistencia al fuego indicados en el DB SI2 (propagación horizontal y propagación vertical) aplicables al tramo de fachada que debe impedir la propagación del fuego de un recinto a otro a través de la fachada. Los artículos 1.4, 1.5 y 1.6 del DB SI2 establecen que:

- La clase de reacción al fuego de los sistemas constructivos de fachada que ocupen más del 10% de su superficie será, en función de la altura total de la fachada:
  - D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
  - C-s3,d0 en fachadas de altura hasta 18 m;
  - B-s3,d0 en fachadas de altura superior a 18 m.
  
- Los sistemas de aislamiento situados en el interior de cámaras ventiladas deben tener al menos la siguiente clasificación de reacción al fuego en función de la altura total de la fachada:
  - - D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
  - - B-s3,d0 en fachadas de altura hasta 28 m;
  - - A2-s3,d0 en fachadas de altura superior a 28 m.

Debe limitarse el desarrollo vertical de las cámaras ventiladas de fachada en continuidad con los forjados resistentes al fuego que separan sectores de incendio. La inclusión de barreras E 30 se puede considerar un procedimiento válido para limitar dicho desarrollo vertical.

- En aquellas fachadas de altura igual o inferior a 18 m cuyo arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde una cubierta, la clase de reacción al fuego, tanto de los sistemas constructivos mencionados en el punto 4 como de aquellos situados en el interior de cámaras ventiladas en su caso, debe ser al menos B-s3,d0 hasta una altura de 3,5 m como mínimo. (Comentario: Hay casos en los que el arranque de una fachada se puede considerar no accesible al público y en los que, por lo tanto, únicamente es preciso aplicar las condiciones establecidas en los puntos 4 y 5.)

La clasificación de los productos de construcción, en función de su comportamiento de reacción al fuego se establece en la norma UNE-EN 13501-1. De acuerdo a la Decisión 96/603/CE de la Comisión de 4 de octubre de 1996 por la que se establece la lista de productos clasificados en la clase A (sin contribución al fuego), los productos de piedra natural y pizarra (placas de revestimiento), lana mineral (aislante térmico) y acero inoxidable o aluminio (subsistema de anclaje) pertenecen a la clase A de reacción al fuego sin necesidad de ser ensayados.

También deberán comprobarse los elementos de fijación, así como morteros, resinas o sellado de juntas. Adicionalmente, se deberá comprobar la necesidad de incorporación de barreras cortafuego horizontales

en la cámara ventilada para impedir la propagación del incendio por la cámara de aire por el efecto chimenea.

## **DB-SUA. SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

El objetivo del Documento Básico de seguridad de utilización y accesibilidad consiste en “reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios sufran daños inmediatos en el uso previsto de los edificios, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento”. Las exigencias básicas de este Documento Básico no son directamente aplicables a las fachadas trasventiladas, por no entrar en su ámbito de aplicación.

No obstante, para evitar la rotura de las placas en los zócalos de los edificios y los posibles daños personales en que esto pudiera derivar, es recomendable realizar macizados o refuerzos intermedios mediante perfiles en las zonas expuestas a impactos, para incrementar la resistencia de las placas frente a impactos (Instituto Valenciano de la Edificación, Instituto Tecnológico de la Construcción, 2011).

## **DB-HE. AHORRO DE ENERGÍA**

El objetivo del Documento Básico de Ahorro de energía consiste en conseguir “un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir, asimismo, que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento”.

La exigencia básica de limitación de la demanda energética (HE 1) establece las condiciones que deben cumplir las envolventes térmicas en cuanto a comportamiento higrotérmico y es, por tanto, de aplicación a las fachadas trasventiladas. Aplicable al conjunto del sistema de fachada.

Para justificar que el sistema de fachada trasventilada cumple las exigencias, el proyecto deberá incluir la siguiente información (artículo 4.1 DB HE1):

- Localidad y zona climática.
- Compacidad (V/A) del edificio o parte de este.
- Esquema geométrico de la definición de la envolvente térmica.
- Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica y valores límite.
- Caracterización geométrica, constructiva e higrotérmica de los elementos afectados por la comprobación de la limitación de descompensaciones y valores límite.
- Características técnicas mínimas que deben reunir los productos que se incorporen a las obras y sean relevantes para el comportamiento energético.
- Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa (n50) en edificios nuevos de uso residencial privado.
- Verificación del cumplimiento de la exigencia de limitación de condensaciones.

La caracterización de los cerramientos opacos debe incluir (artículo 4.2 DB HE1):

- Características geométricas y constructivas.
- Condiciones de contorno (contacto con el aire, el terreno, o adiabático) y el espacio al que pertenecen.

- Parámetros que describan adecuadamente sus prestaciones térmicas, pudiendo emplear una descripción simplificada mediante agregación de capas paralelas y homogéneas que presente un comportamiento térmico equivalente donde las capas con masa térmica se caracterizan mediante su espesor, densidad, conductividad y calor específico y las capas sin masa térmica significativa (cámara de aire,...) se caracterizan por la resistencia total de la capa y su espesor.

Según DB-HE1, los productos para los cerramientos se definen mediante su conductividad térmica  $\lambda$  (W/m·K) y el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua  $\mu$ . En su caso, además se podrá definir la densidad  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) y el calor específico  $c_p$  (J/kg·K). Los valores de indicados se obtienen directamente del fabricante de cada producto. El pliego de condiciones del proyecto debe incluir las características higrotérmicas de los productos utilizados en la envolvente térmica del edificio (artículo 5.1 DB HE1).

Con respecto a las placas de piedra, de acuerdo a lo indicado, los valores de diseño de dichas propiedades se pueden obtener de los valores declarados en el marcado CE y calcular mediante los coeficientes de conversión de la norma UNE-EN ISO 10456, aunque dicha norma no incluye valores de conversión para la piedra natural. De los valores por los que se definen los cerramientos, la densidad es la única que aporta el marcado CE de placas de piedra natural, de acuerdo a las normas UNE-EN 1469, UNE-EN 12057 y UNE-EN 12058. Conocida dicha densidad se pueden obtener el resto de propiedades (UNE-EN 1745, UNE-EN ISO 10456, Catálogo de elementos constructivos) (Molina Molina, 2017).

Las características exigibles a los cerramientos se expresan mediante su transmitancia térmica  $o$ , en componentes que no se describen adecuadamente a través de dicho parámetro, su resistencia térmica  $R$  (K·m<sup>2</sup>/W). El cálculo de estos parámetros debe figurar en la memoria del proyecto y en el pliego de condiciones del proyecto se deben consignar los valores y características exigibles a los cerramientos (artículo 5.2 DB HE1).

La cuantificación de la exigencia en la envolvente térmica se define en el artículo 3 del DB HE1:

- Transmitancia
- Control solar
- Permeabilidad al aire
- Limitación de condensaciones

Como ayuda a la comprensión y puesta en práctica del texto reglamento están disponibles los siguientes documentos de apoyo:

- DA DB-HE 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente: Cálculo de transmitancia, resistencia total de un elemento constituido por capas homogéneas o heterogéneas.
- DA DB-HE 2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos: condiciones, cálculo de presión de saturación de vapor y de humedad relativa interior, comprobación de la limitación de condensaciones.
- DA DB-HE 3 Puentes térmicos: definiciones, métodos de cálculo, condensaciones superficiales en los puentes térmicos, atlas de puentes térmicos.

Con respecto a la cámara de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica. A este respecto el DA DB-HE 1 establece como cámara de aire vertical ligeramente ventilada aquella con aberturas entre 500 mm<sup>2</sup> < Saberturas ≤ 1500 mm<sup>2</sup> por m de longitud contado horizontalmente; y cámara de aire vertical muy ventilada: aquella en la que los valores de las aberturas exceden de 1500 mm<sup>2</sup> por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales. Para el caso de cámaras de aire muy ventiladas la

resistencia térmica total del cerramiento se obtiene “despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento”.

Respecto a la hoja interior de la fachada debe garantizar las exigencias respecto al grado de impermeabilidad, limitación de condensaciones y permeabilidad al aire establecidas, prestando atención a los puntos singulares y de los encuentros entre elementos de fachada.

### **BD-HR. PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO**

El objetivo del Documento Básico de Protección frente al ruido consiste en “limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento”. Es aplicable al conjunto del sistema de fachada.

La justificación de esta exigencia básica puede realizarse considerando la hoja interior del sistema de fachada, aplicando los valores límite relativos al aislamiento a ruido aéreo entre el exterior y los recintos interiores protegidos de acuerdo con los valores indicados en la tabla 2.1 en función del uso del edificio y del índice de ruido día, definido en el Anexo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, de la zona donde se ubica el edificio. El valor de índice de día puede obtenerse de administraciones competentes o mediante mapas estratégicos de ruido. Cuando se prevea que la fachada no va a estar expuesta directamente al ruido de automóviles, aeronaves, de actividades industriales, comerciales o deportivas, se considerará un índice de ruido día 10 dBA menor que el índice de ruido día de la zona.

El diseño y dimensionado de la hoja interior puede hacerse mediante el método simplificado o general que figuran en los apartados 3.1.2 y 3.1.3 del Documento Básico. En ambos casos deben conocerse sus valores de masa por unidad de superficie, de índice global de reducción acústica y el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado (para el caso de ruido de impactos). Los dos últimos valores pueden obtenerse mediante mediciones en laboratorio o del Catálogo de Elementos Constructivos.

La prestación de aislamiento al ruido aéreo de esta hoja interior recaerá en gran medida en la prestación de los cerramientos de los huecos de la fachada, y su correcta incorporación y sellado sobre la fachada (Bento Fernández, 2010).

### **BD-HS. SALUBRIDAD**

El objetivo del documento Básico de Salubridad consiste en “reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento”. Es aplicable al conjunto del sistema de fachada, que deberá garantizar el grado de impermeabilidad al agua de lluvia, la capacidad de evacuación y la limitación de condensaciones.

El grado de impermeabilidad mínimo exigido en el sistema de fachada ventilada se obtiene a partir de los valores indicados en la tabla 4.32 en función de la zona pluviométrica de promedios (figura 2.4) y del grado de exposición al viento (tabla 2.6 del DB HS1). Las condiciones de las soluciones constructivas de fachada

se obtienen en la tabla 4.33, en función de en función de la existencia o no de revestimiento exterior y del grado de impermeabilidad.

		<b>Zona pluviométrica de promedios</b>				
		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<b>Grado de exposición al viento</b>	<b>V1</b>	5	5	4	3	2
	<b>V2</b>	5	4	3	3	2
	<b>V3</b>	5	4	3	2	1

Tabla 4.32. Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas. CTE DB HS.

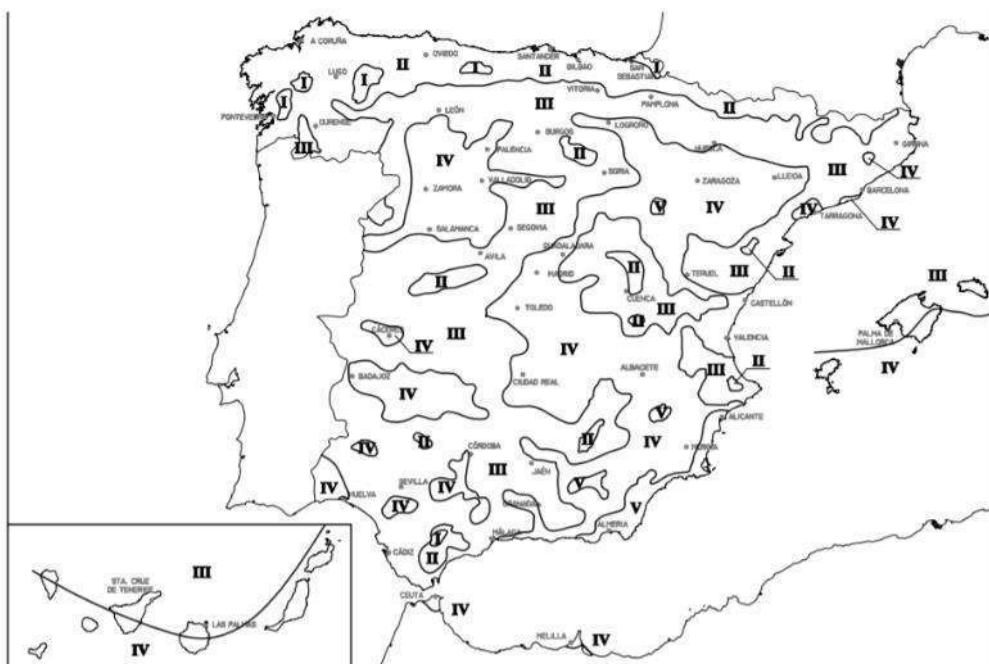


Figura. 4.45. Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual. CTE DB HS.

Tabla 2.7 Condiciones de las soluciones de fachada

		<b>Con revestimiento exterior</b>		<b>Sin revestimiento exterior</b>			
<b>Grado de impermeabilidad</b>	$\leq 1$	R1+C1 <sup>(1)</sup>		C1 <sup>(1)</sup> +J1+N1			
	$\leq 2$			B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1 <sup>(1)</sup> +H1+J2+N2
	$\leq 3$	R1+B1+C1	R1+C2	B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2
	$\leq 4$	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1 <sup>(1)</sup>	B2+C2+H1+J1+N1	B2+C2+J2+N2	B2+C1+H1+J2+N2
	$\leq 5$	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1	

d. <sup>(1)</sup> Cuando la fachada sea de una sola hoja, debe utilizarse C2.

Tabla 4.33. Condiciones de las soluciones de fachada. CTE DB HS.

En el caso de fachada con revestimiento exterior los posibles bloques homogéneos que se plantean son:

- Resistencia a la filtración de agua del revestimiento exterior  
R1: debe tener al menos una resistencia media a la filtración  
R2: debe tener al menos una resistencia alta a la filtración.

- R3: debe tener una resistencia muy alta a la filtración
- Resistencia a la filtración de agua de la barrera contra la penetración de agua
  - B1: debe disponerse al menos una barrera de resistencia media a la filtración
  - B2: debe disponerse al menos una barrera de resistencia alta a la filtración
  - B3: debe disponerse una barrera de resistencia muy alta a la filtración.
- Composición de la hoja principal
  - C1: debe utilizarse al menos una hoja principal de espesor medio
  - C2: debe utilizarse una hoja principal de espesor alto

Un revestimiento rígido discontinuo, fijado mecánicamente y con piezas de dimensiones mayores de 300 milímetros de lado puede tener una resistencia a la filtración R2 o R3

La cámara de aire ventilada y un aislante no hidrófilo constituyen una barrera a la filtración B3, siempre y cuando:

- La cámara se disponga por el lado exterior del aislante
- Se disponga de un sistema de recogida y evacuación del agua en la parte inferior de la cámara y en las zonas en las que esta quede interrumpida.
- Disponga de aberturas de ventilación cuya área efectiva total sea como mínimo igual a 120 cm<sup>2</sup> por cada 10 m<sup>2</sup> de paño de fachada entre forjados repartidas al 50% entre la parte superior y la inferior, pudiendo considerarse las juntas abiertas mayores de 5 milímetros.

La composición de la hoja interior puede tener un espesor C1 o C2 en función de material y dimensiones utilizadas.

Debe prestarse especial atención a asegurar la evacuación del agua que se filtre al interior de la cámara. El DB HS 1 indica soluciones a adoptar en los casos de Encuentros de la cámara de aire ventilada con los forjados y los dinteles (2.3.3.5), Encuentro de la fachada con la carpintería (2.3.3.6), Antepechos y remates superiores de las fachadas (2.3.3.7), Anclajes a la fachada (2.3.3.8) y Aleros y cornisas (2.3.3.9).

Respecto a la limitación de condensaciones, debe comprobarse la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la Sección HE 1. Puede realizarse según lo establecido en DA DB-HE / 2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos.

REQUISITO	EXIGENCIA	CARACTERÍSTICA	APLICACIÓN
Seguridad estructural (SE)	SE1: Resistencia y estabilidad	Resistencia mecánica y estabilidad	Hoja interior y exterior
	SE2: Aptitud de servicio	Deformación	Hoja interior y exterior
Seguridad en caso de incendio (SI)	SI1: Propagación interior	Reacción al fuego de la cara interior	Hoja interior
	SI2: Propagación interior	Reacción al fuego de la cara exterior	Hoja exterior
		Resistencia al fuego	Hoja interior
Higiene, salud y protección del medio ambiente (HS)	HS1: Protección frente a la humedad	Impermeabilización al agua de lluvia	Hoja interior y exterior
		Drenaje de la cámara de aire	Hoja exterior
		Condensaciones	Hoja interior
	Sustancias peligrosas	Contenido de sustancias peligrosas	Componentes
Seguridad de utilización y accesibilidad (SUA)	SUA2: Riesgo de impacto	Resistencia a impacto	Hoja interior y exterior
	SUA8: Riesgo de acción rayo	Equipotencialidad	Hoja interior y exterior
Protección frente al ruido (HR)	HR: Protección frente al ruido	Aislamiento al ruido exterior	Hoja interior
Ahorro de energía y aislamiento térmico	HE1: Limitación de la demanda energética	Aislamiento térmico	Hoja interior
		Permeabilidad al aire	Hoja interior
Requisitos adicionales	Durabilidad	Corrosión	Componentes

Tabla 4.34. Requisitos, exigencias básicas y características prestacionales aplicables a los cerramientos de fachada ventilada. Elaboración propia a partir de Bento Fernández (2013) p.77



#### 4.6.2 REGLAMENTO EUROPEO DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN (UE) N° 305/2011

El Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) N° 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, anula y sustituye la anterior Directiva 89/106/CEE del Consejo, desde 1 de julio de 2013.

El mercado CE es obligatorio para la mayor parte de los productos de construcción que se pretendan comercializar en la Unión Europea. Consiste en un etiquetado que el fabricante, el importador o el distribuidor colocan sobre el producto, en su embalaje o en la documentación de acompañamiento, antes de su introducción en el mercado.

El mercado CE significa el cumplimiento de todas las directivas y reglamentos europeos que afecten al producto, y por tanto los países miembros de la UE deben permitir su comercialización. La Declaración de Prestaciones es el documento mediante el cual el fabricante, o en su caso el distribuidor o el importador, declara formalmente las prestaciones del producto, para cada una de las características esenciales definidas en la correspondiente norma armonizada. Consiste en un documento firmado por una persona autorizada de la empresa, del cual debe llegar copia al cliente o receptor del producto.

Junto con el mercado CE y la Declaración de Prestaciones, el fabricante deberá suministrar las instrucciones e información de seguridad del producto.

Directiva 89/106/CEE (derogada)		Reglamento (UE) 305/2011	
<b>RE</b>	Requisitos esenciales Características	<b>RB</b>	Requisitos básicos de las obras de construcción Características esenciales
—	Declaración de conformidad CE ( <i>EC conformity declaration</i> )	<b>DoP</b>	Declaración de prestaciones ( <i>Declaration of Performances</i> )
<b>DITE (ETA)</b>	Documento de Idoneidad Técnica Europeo ( <i>European Technical Approval</i> )	<b>ETE (ETA)</b>	Evaluación Técnica Europea ( <i>European Technical Assessment</i> )
<b>Guía DITE (ETAG)</b>	Guía de DITE ( <i>ETA Guideline</i> )	<b>DEE (EAD)</b>	Documento Evaluación Europea ( <i>European Assessment Document</i> )
<b>CUAP</b>	<i>Common Understanding Assessment Procedure</i>		
— <b>(AB)</b>	Organismo de DITE ( <i>Approval Body</i> )	<b>OET (TAB)</b>	Organismo de Evaluación Técnica ( <i>Technical Assessment Body</i> )

Tabla 4.35. Terminología del Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) N° 305/2011 y su correlación con la Directiva derogada. Fuente: ITEC

## NORMAS ARMONIZADAS

La relación de normas armonizadas se actualiza periódicamente mediante comunicaciones de la Comisión que se publican en el DOUE y definen con respecto a qué normas se debe aplicar el Mercado CE conforme al Reglamento (UE) nº 305/2011 de Productos de Construcción.

En relación con las fachadas ventiladas de piedra natural, su ámbito de aplicación comprende los productos contemplados por las siguientes normas europeas armonizadas, conforme la comunicación de la Comisión en el marco de la aplicación del Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo. DOUE C 92/139 del 09.03.2018:

Organización Europea de Normalización	Referencia y título de la norma	Referencia de la norma retirada y sustituida	Fecha de aplicabilidad de la norma como norma armonizada	Fecha en que finaliza el período de coexistencia
CEN	EN 771-6:2011+A1:2015 Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Piezas de albañilería de piedra natural.	EN 771-6:2011	EN 771-6:2011	EN 771-6:2011
CEN	EN 1469:2015 Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos.	EN 1469:2004	8.4.2016	8.4.2017
CEN	EN 12057:2004 Productos de piedra natural. Plaquetas. Requisitos		1.9.2005	1.9.2006
CEN	EN 12326-1:2014 Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 1: Especificaciones para pizarras y pizarras carbonatadas.	EN 12326-1:2004	13.2.2015	13.2.2015
CEN	EN 15286:2013 Piedra aglomerada. Losas y baldosas para acabados de pared (interiores y exteriores).		8.8.2014	8.8.2015

Tabla 4.36. Elaboración propia

La parte obligatoria de las normas armonizadas es el anexo Z de las normas. En él se recogen los apartados de la norma que dan cumplimiento a las disposiciones del Reglamento (UE) Nº 305/2011 de Productos de Construcción, y a los requisitos establecidos en los Mandatos emitidos por la Comisión Europea al CEN, en aplicación de la antigua Directiva 89/106/CEE y del actual Reglamento (UE) Nº 305/2011.

## DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN EUROPEA (DEE)

El Reglamento (Artículos 19 a 26) ofrece una vía voluntaria para la elaboración de la declaración de prestaciones y colocación del marcado CE de aquellos productos que no estén total o parcialmente incluidos en el campo de aplicación de alguna de las normas armonizadas existentes.

Esta vía voluntaria serían los “Documentos de Evaluación Europeos” (DEE) y de acuerdo al reglamento “la elaboración de propuestas de documentos de evaluación europeos y la emisión de las evaluaciones técnicas europeas deben confiarse a los organismos de evaluación técnica (OET) designados por los Estados miembros. El artículo 22 indica que “los documentos de evaluación europeos adoptados por la organización de los OET se enviarán a la Comisión, que publicará la lista de referencias de los documentos de evaluación europeos finales en el Diario Oficial de la Unión Europea”.

De acuerdo al artículo 24 del reglamento, el contenido mínimo de un DEE será “una descripción general del producto de construcción, la lista de las características esenciales que sean pertinentes a efectos del uso del producto previsto por el fabricante, y acordado entre el fabricante y la organización de los OET, así como los métodos y criterios para evaluar las prestaciones del producto respecto a dichas características esenciales”. Además, “los principios para el control de producción en fábrica que han de aplicarse se expondrán en el documento de evaluación europeo, teniendo en cuenta las condiciones del proceso de fabricación del producto de construcción de que se trate”.

El DEE sirve de base para la emisión de la Evaluación Técnica Europea-ETE solicitada por el fabricante y la Declaración de Prestaciones y marcado CE.

## GUÍAS DITE -ANTIGUA DIRECTIVA 89/106/CE-

Con la entrada en vigor del Reglamento (UE) N° 305/2011, las Guías DITE desaparecen como tales y se convertirán en Documentos de Evaluación Europeos. No obstante, los productos que tuvieran concedido un DITE antes del 1 de julio de 2013 podrán utilizarlo como documento justificativo del marcado CE hasta la finalización de su período de validez.

Las Guías DITE pueden ser utilizadas como DEE para la emisión de la Evaluación Técnica Europea-ETE (Art. 66.3 del Reglamento).

SUBÁREA: FACHADAS VENTILADAS			
DITE	NOMBRE COMERCIAL	BENEFICIARIO	ESTADO
575R/19	UNYCLAD	EUROCLAD S.L.	Validez desde 18.01.2019 hasta el 18.01.2024 (condicionada a seguimiento anual)
514R/14	VISENOVA	MARMOLES VISEMAR S.L.U	Validez desde 22.10.2014 hasta el 22.12.2019 (condicionada a seguimiento anual)
513R/14	GRAPAMAR PF1025	ANCLAJES GRAPAMAR S.L.	Validez desde 30.07.2014 hasta el 30.07.2019 (condicionada a seguimiento anual)

Tabla 4.37. Elaboración propia

## EVALUACIÓN TÉCNICA EUROPEA (ETE)

La Evaluación Técnica Europea-ETE es el documento europeo que recoge la evaluación documentada de las prestaciones del producto de construcción en relación con las características esenciales aplicables para el uso previsto por el fabricante y hace posible la Declaración de Prestaciones y el marcado CE. El ETE debe ir acompañado de una declaración de prestaciones en relación con las características esenciales del producto de construcción de acuerdo con las especificaciones técnicas armonizadas pertinentes.

“La evaluación técnica europea incluirá las prestaciones que haya que declarar, por niveles o clases, o en una descripción, de las características esenciales acordadas entre el fabricante y el OET al que se haya solicitado dicha evaluación para el uso previsto declarado y los detalles técnicos necesarios para la aplicación del sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones” (Artículo 26 del Reglamento).

SUBÁREA: FACHADAS VENTILADAS			
ETA	NOMBRE COMERCIAL	BENEFICIARIO	ESTADO
19/0030	B-202D y B-202C	BAFF SYSTEM INGENIERÍA EN FACHADAS VENTILADAS, S.L	Validez desde 15.07.2019
09/0118	Kit PF-ALU-CLA	SISTEMA MASA	Validez desde 04.09.2019
09/0115	Kit PF-ALU-PL	SISTEMA MASA	Validez desde 04.09.2019
13/0309	Kit PF-ALU-HTR	SISTEMA MASA	Validez desde 04.03.2020
13/0310	Kit PF-ALU-HPL	SISTEMA MASA	Validez desde 04.03.2020
4155-06	Kit PF-AL-T/SOV	SISTEMA MASA	Validez desde 19.04.2021

Tabla 4.38. Elaboración propia

## INFORMES TÉCNICOS DE EOTA (EOTA TR)

Los informes técnicos de EOTA (EOTA TR) constituyen documentos de apoyo para las publicaciones de EOTA y para los Documentos de evaluación europeos (DEE), especialmente cuando los métodos de evaluación son relevantes para varios DEE y cuando las realizan organismos de evaluación técnica (OET) designados por los Estados miembros europeos de conformidad con el Reglamento (UE) nº 305/2011. Los Informes Técnicos de EOTA detallan los aspectos relevantes para los productos de construcción, como el diseño, la ejecución y la evaluación de pruebas. (<https://www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/28/> consulta el 20.10.2020)

EOTA	NOMBRE COMERCIAL	VIGENCIA
EOTA TR 062	Design of fasteners for facade panels made of natural stone (except slate)	Vigente: 2018

Tabla 4.39. Elaboración propia

### 4.6.3 DOCUMENTO DE ADECUACIÓN AL USO (DAU)

Tal como se ha indicado anteriormente, la justificación de las exigencias básicas del CTE en sistemas constructivos alternativos a los contemplados en los DB requiere de un conocimiento especializado del sistema y de sus componentes.

Las empresas titulares de los sistemas constructivos pueden disponer de un documento de adecuación al uso (DAU) de su sistema constructivo, que supone la declaración de una evaluación favorable de un producto o sistema constructivo en relación a los usos previstos, en los términos previstos en el CTE.

Los sistemas constructivos que disponen de un Documento de Adecuación al Uso (DAU) han sido analizados y evaluados en función de su uso previsto en la obra, estableciendo, la justificación directa de la exigencia básica cuando sea posible o indicando, en su caso, los valores de referencia, criterios y métodos para que los técnicos puedan aplicar dicha justificación para un proyecto en particular.

El DAU incluye la descripción del sistema, caracterización y usos, componentes del sistema, fabricación, criterios de proyecto, criterios de puesta en obra, evaluación de ensayos y cálculos, referencias de utilización, seguimiento, condiciones de uso así como soluciones constructivas usando los productos y sistemas cubiertos por el DAU.

SUBÁREA: FACHADAS VENTILADAS			
DAU	NOMBRE COMERCIAL	BENEFICIARIO	ESTADO
DAU 10/062 D	Epsilon O. Sistema de grapas y subestructura de aluminio para la fijación de placas de revestimiento en fachadas ventiladas	FACHADAS DEL NORTE S.L.	Validez hasta 14.10.2024
DAU 10/065 C	Grapa Vista (DGV) y sistema de Grapa Oculta (DGO). Sistemas DGV y DGO de grapas (vistas y ocultas) de acero inoxidable y subestructura de aluminio para la fijación de placas de revestimientos en fachadas ventiladas.	MECANOGUMBA SA	Validez hasta 21.12.2020
DAU 14/092 B	Sistema FCVAE ACE. Sistema de subestructura de acero galvanizado para la fijación de placas de revestimiento en fachadas ventiladas	FCV AISLAMIENTOS ENVOLVENTES SL	Validez hasta 17.12.2024
DAU 14/091 B	Sistema FCVAE ACE. Sistema de subestructura de aluminio para la fijación de placas de revestimiento en fachadas ventiladas	FCV AISLAMIENTOS ENVOLVENTES SL	Validez hasta 17.12.2024

Tabla 4.40. Elaboración propia

#### 4.6.4 NORMAS UNE

UNE es el único Organismo de Normalización en España y como tal ha sido designado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad ante la Comisión Europea. En este sentido, UNE es el representante español en los organismos internacionales ISO/IEC y en los europeos CEN/CENELEC siendo, asimismo, el organismo nacional de normalización de ETSI (<https://www.une.org/la-asociacion/historia>, consulta el 05.01.2019)

Las Normas UNE son de obligado cumplimiento cuando se exijan mediante Ley, Decreto, Reglamento o exija su cumplimiento en los Pliegos de Prescripciones Técnicas.

El Real Decreto 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos, en su artículo 3 sobre la Evaluación de la seguridad de un producto indica que “cuando no exista disposición normativa de obligado cumplimiento aplicable o ésta no cubra todos los riesgos o categorías de riesgos del producto, para evaluar su seguridad, garantizando siempre el nivel de seguridad que los consumidores pueden esperar razonablemente, se tendrán en cuenta los siguientes elementos”:

- a) Normas técnicas nacionales que sean transposición de normas europeas no armonizadas.
- b) Normas UNE.
- c) Las recomendaciones de la Comisión Europea que establezcan directrices sobre la evaluación de la seguridad de los productos.
- d) Los códigos de buenas prácticas en materia de seguridad de los productos que estén en vigor en el sector, especialmente cuando en su elaboración y aprobación hayan participado los consumidores y la Administración pública.
- e) El estado actual de los conocimientos y de la técnica.

#### CLASIFICACIONES TEMÁTICAS

Para el caso de las fachadas trasventiladas de piedra se pueden consultar normas UNE dentro de las siguientes categorías:

- Generalidades, terminología
- Requisitos, especificaciones
- Sistema constructivo
- Métodos de ensayo
- Maquinaria e instalaciones
- Aislamiento
- Normas para consulta

<b>CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: GENERALIDADES, TERMINOLOGÍA</b>			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE-EN 12440:2019 UNE	Piedra natural. Denominación de la piedra natural.	CTN 22 - MINERÍA Y EXPLOSIVOS CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente 2019-09-25
UNE-EN 12670:2020 UNE	Piedra natural. Terminología.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente 2020-01-15
PNE-EN 12440 PROY	Piedra natural. Criterios de denominación.	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Anulará a: UNE-EN 12440:2008
<b>CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: REQUISITOS, ESPECIFICACIONES</b>			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE-EN 1469:2015 UNE	Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2015-11-25
UNE-EN 12057:2015 UNE	Productos de piedra natural. Plaquetas. Requisitos	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2015-07-29
UNE-EN 12326-1:2015 UNE	Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 1: Especificaciones para pizarras y pizarras carbonatadas	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2015-05-20
UNE-EN 1468:2012 UNE	Piedra natural. Tableros en bruto. Requisitos	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2012-09-26
<b>CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE 22190:2014 UNE	Productos de piedra natural. Construcción de cubiertas inclinadas y revestimiento de paramentos verticales, con pizarra	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2014-07-09
UNE 22203:2011 UNE	Productos de piedra natural. Construcción de aplacados de fachadas con piedra natural.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2011-02-16
UNE 41957-1:2000 UNE	Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: Subsistemas para revestimientos ligeros.	CTN 41 CONSTRUCCIÓN	Anulada / 2013-02-14
<b>CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: MÉTODOS DE ENSAYO</b>			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE-EN 14157:2018 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la abrasión.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2018-07-04
UNE-EN 1926:2007 UNE	Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2018-05-23
UNE-EN 1936:2007 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2018-05-23
UNE-EN 12372:2007 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2018-05-23

UNE-EN 14579:2005 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural: Determinación de la velocidad de propagación del sonido.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2018-05-23
UNE-EN 14066:2014 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2014-02-05
UNE-EN 16301:2014 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la sensibilidad a las manchas accidentales.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2014-02-05
UNE-EN 13755:2008 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 1925:1999 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 14147:2004 UNE	Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 14158:2004 UNE	Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la energía de rotura.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 14580:2006 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad estático.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 14146:2004 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del módulo de elasticidad dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental)	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 13161:2008 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión a momento constante.	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Vigente / 2013-05-01
UNE-EN 16306:2013 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia del mármol a los ciclos térmicos y de humedad. (Ratificada por AENOR en abril de 2013.)	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2013-04-01
UNE-EN 12326- 2:2012 UNE	Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 2: Métodos de ensayo para pizarras y pizarras carbonatadas.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2012-02-22
UNE-EN 12371:2011 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2011-01-12
UNE-EN 12407:2020 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2020-01-15
UNE-EN 14581:2006 UNE	Método de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente lineal de dilatación térmica.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2006-01-25
UNE-EN 14231:2004 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al deslizamiento mediante el péndulo de fricción.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2004-07-02



UNE-EN 13373:2003 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de las características geométricas de las unidades.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2003-10-17
UNE-EN 13364:2002 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la carga de rotura para anclajes.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 2002-04-30
UNE-EN 12370:1999 UNE	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Vigente / 1999-11-18
UNE 7352:1975 UNE	Determinación de sodio en minerales de hierro, escorias y calizas, mediante la técnica de absorción atómica.	CTN 22/SC 1 MATERIAS PRIMAS MINERALES	Vigente / 1999-10-01
PNE-prEN 13373 PROY	Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de las características geométricas de las unidades.	CTN 22/SC 5 PIEDRA NATURAL	Tramitación Anulará a: UNE-EN 13373:2003
PNE-prEN 12407 PROY	Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico.	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Tramitación Anulará a: UNE-EN 12407:2007
CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: MÁQUINAS E INSTALACIONES			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
ISO 21537-1:2004 ISO	Clamping flanges for superabrasive cutting-off wheels -- Part 1: Natural stone		Vigente / 2018-09-05
UNE-EN 15163:2018 UNE	Máquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Seguridad. Requisitos para sierras de hilo diamantado.	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Vigente / 2018-01-03
UNE-EN 15162:2008 UNE	Maquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Requisitos de seguridad para los telares.	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Vigente / 2017-01-01
UNE-EN 15164:2008 UNE	Maquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Requisitos de seguridad para las rozadoras de cadena y cinta	CTN 22 MINERÍA Y EXPLOSIVOS	Vigente / 2017-01-01
UNE-EN 15572:2015 UNE	Maquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Seguridad. Requisitos relativos a las máquinas de acabado de bordes (Ratificada por AENOR en enero de 2016.)	CTN 115 MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN, OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN	Vigente / 2016-01-01
UNE-EN 16564:2015 UNE	Máquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Seguridad. Requisitos relativos a las sierras y fresadoras tipo puente, incluyendo las versiones de control numérico (NC/CNC).	CTN 115 MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN, OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN	Vigente / 2015-07-22
UNE-EN 15571:2015 UNE	Máquinas e instalaciones para la extracción y transformación de piedra natural. Seguridad. Requisitos relativos a las máquinas de acabado superficial.	CTN 115 MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN, OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN	Vigente / 2015-05-13

CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: AISLAMIENTOS			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE-EN 14315-2:2013	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos de espuma rígida de poliuretano (PUR) y poliisocianurato (PIR) proyectado in situ. Parte 2: Especificaciones para el aislamiento instalado.	CTN 92 - AISLAMIENTO TÉRMICO	Vigente / 2013-09-11 Anula a: UNE 92120-2/1M:2000, UNE 92120-2:1998, UNE 92120-2/2M:2003
UNE-EN 14315-1:2013	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos de espuma rígida de poliuretano (PUR) y poliisocianurato (PIR) proyectado in situ. Parte 1: Especificaciones para los sistemas de proyección de espuma rígida antes de la instalación.	CTN 92 - AISLAMIENTO TÉRMICO	Vigente / 2013-09-11 Anula a: UNE 92120-1/1M:2003, UNE 92120-1:1998, UNE 92120-1:1998/2M:2008
ISO 14315:1997	Industrial wire screens -- Technical requirements and testing	ISO/TC 24/SC 8 - Test sieves, sieving and industrial screens	Vigente / 1997-11-23
ISO 7539-2:1989	Corrosion of metals and alloys -- Stress corrosion testing -- Part 2: Preparation and use of bent-beam specimens	ISO/TC 156 - Corrosion of metals and alloys	Vigente / 1989-12-07
BS EN 14315-2:2013	Thermal insulating products for buildings. In-situ formed sprayed rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foam products. Specification for the installed insulation products	91.100.60 - Thermal and sound insulating materials	Vigente / 2013-01-31
BS EN 14315-1:2013	Thermal insulating products for buildings. In-situ formed sprayed rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foam products. Specification for the rigid foam spray system before installation	91.100.60 - Thermal and sound insulating materials	Vigente / 2013-01-31
CLASIFICACIÓN TEMÁTICA: NORMAS PARA CONSULTA			
NORMA	TÍTULO	COMITÉ DE NORMALIZACIÓN	ESTADO
UNE-EN 998-1:2018	Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 1: Morteros para revoco y enlucido.	CTN 83 - HORMIGÓN	Vigente / 2018-03-14 Anula a: UNE-EN 998-1:2010
UNE-EN 998-2:2018	Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería.	CTN 83 - HORMIGÓN	Vigente / 2018-06-20 Anula a: UNE-EN 998-2:2012
UNE-EN 12004-1:2017	Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 1: Requisitos, evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones, clasificación y marcado.	CTN 138 - BALDOSAS CERÁMICAS	Vigente / 2017-11-22 Anula a: UNE-EN 12004:2008+A1:2012
UNE-EN 12004-2:2017	Adhesivos para baldosas cerámicas. Parte 2: Métodos de ensayo.	CTN 138 - BALDOSAS CERÁMICAS	Vigente / 2018-01-24 Anula a: UNE-EN 1308:2008, UNE-EN 1323:2008, UNE-EN 1324:2008, UNE-EN 1346:2008, UNE-EN 1348:2008, UNE-EN 12002:2009, UNE-EN 12003:2009

UNE-EN 12808-4:2010/AC:2011	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 4: Determinación de la retracción.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2011-06-15 Corrige a: UNE-EN 12808-4:2010
UNE-EN 12808-4:2010	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 4: Determinación de la retracción.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2010-01-05 Anula a: UNE-EN 12808-4:2002 Es corregida por: UNE-EN 12808-4:2010/AC:2011
UNE-EN 12808-1:2009	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 1: Determinación de la resistencia química de los morteros de resina reactiva.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2009-04-08 Anula a: UNE-EN 12808-1:1999
UNE-EN 12808-3:2009	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 3: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2009-09-09 Anula a: UNE-EN 12808-3:2002
UNE-EN 12808-2:2009	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 2: Determinación de la resistencia a la abrasión.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	UNE-EN 12808-2:2009 Anula a: UNE-EN 12808-2:2002
UNE-EN 12808-5:2009	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 5: Determinación de la absorción de agua.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2009-09-09 Anula a: UNE-EN 12808-5:2002
UNE-EN 13888:2009	Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Requisitos, evaluación de la conformidad, clasificación y designación.	CTN 138 BALDOSAS CERÁMICAS	-	Vigente / 2009-10-28 Anula a: UNE-EN 13888:2003

Tabla 4.41. Elaboración propia

#### 4.6.5 NORMA TECNOLÓGICA DE LA EDIFICACIÓN (NTE)

Siguen en vigor las normas NTE, de carácter voluntario, publicadas por el Ministerio de Fomento. En este caso, la norma de aplicación es “Revestimiento de Paramentos. Chapados”, de aplicación para los revestimientos de paramentos de fábrica con placas de piedra natural. Aunque en el año 1973, cuando se publicó la norma, y ante el panorama de falta normativa que existía, esta era muy necesaria, aunque actualmente se puede considerar prácticamente obsoleta.

Incluye una serie de criterios de diseño y especificaciones para los siguientes casos:

- Chapado con anclaje oculto
- Chapado con anclaje visto
- Chapado con anclaje de varilla

Se completa con esquemas en planta y alzado, así como detalles para cada uno de los casos. También se incluyen especificaciones sobre:

- Control de la ejecución
- Criterios de medición
- Criterios de valoración económica
- Criterios de mantenimiento

#### 4.6.6 OTRAS NORMAS DE REFERENCIA

NORMAS ASTM (American Society for Testing and Materials)	
ASTM C99/C99M-09	Standard test method for modulus of rupture of dimension stone
ASTM C503/C503M-10	Standard specification for marble dimension stone
ASTM C568/C568M-10	Standard specification for limestone dimension stone
ASTM C615/C615M-11	Standard specification for granite dimension stone
ASTM C616/C616M-10	Standard specification for quartz-based dimension stone
ASTM C629/C629M-10	Standard specification for slate dimension stone
ASTM C1526-08(2014)	Standard specification for serpentine dimension stone
ASTMC1527-11/C1527M-11	Standard specification for travertine dimension stone
ASTM D3167-10	Standard test method for floating roller peel resistance of adhesives

Tabla 4.42. Elaboración propia

NORMAS DIN (estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos en Alemania)	
DIN 17 440	Stainless steel
DIN 18 516 Part.1	Back-ventilated, non-load bearing, external enclosures of buildings; requirements and testing
DIN 18 516 Part.3	Back-ventilated, non-load bearing, external enclosures of buildings, made from natural stone. Design and installation
DIN 267 Part.11	Fasteners; stainless and steel acid-resistant components (with addenda to ISO 3506); technical delivery conditions.

Tabla 4.43. Elaboración propia





# **5. Proyectar la fachada**

*Análisis y discusión*

Nota preliminar.

Todos las tablas, dibujos, esquemas y detalles incluidos en este capítulo han sido elaborados por la autora.

Los subsistemas de anclaje y sus elementos componentes se representan de manera esquemática y con un estilo gráfico sintético. El objetivo no es definir la morfología de los mismos sino reflexionar sobre su configuración en relación al despiece. Por tanto, dependiendo del fabricante, los elementos podrían tener secciones, dimensiones o localizaciones ligeramente diferentes a las representados.

La información sobre los despieces en casos reales se ha obtenido a partir de la observación de los elementos durante el trabajo de campo y la visita a las edificaciones, así como información obtenida a partir del contacto con los autores de los proyectos y empresas encargadas del cálculo e instalación de los subsistemas de anclaje. En algunos casos minoritarios se ha obtenido a partir de la observación de fotografías incluidas en la bibliografía o herramientas web como Google maps o Bing para visualizar las edificaciones en tiempo real.



## 5.1 LAS NUEVAS POSIBILIDADES DEL DESPIECE

A lo largo de los capítulos anteriores se ha podido comprobar cómo la evolución tecnológica y estética que ha experimentado el sistema permite que se puedan utilizar despieces muy diferentes. Los casos estudiados demuestran que el límite se encuentra en la imaginación del arquitecto, primando los valores de integración, respeto por el entorno próximo y sostenibilidad.

Pese a tratarse de un sistema industrializado, que por regla general implica la seriación y repetición, en este capítulo se pretende analizar su capacidad para adaptarse y/o modificarse para materializar la idea proyectual, poniendo en valor la capacidad técnica del sistema constructivo cuando se pone al servicio del proyectista.

Este capítulo pretende aportar al proyectista herramientas necesarias a la hora de proyectar la fachada, de tal manera que pueda tomar decisiones sobre la configuración del despiece y del subsistema de anclaje, materializando su idea de proyecto. Para ello se analizan 3 aspectos fundamentales en la etapa de proyecto.

### 1. Análisis de despieces

En base a la información obtenida en los capítulos anteriores y el análisis de los casos de estudio incluido en el Anexo 2 se establece una clasificación tipológica de despieces. Esta clasificación no se presenta como un catálogo de despieces, sino que estos se agrupan según características que comparten, de tal manera que un despiece que no esté incluido en el documento podría incorporarse en alguna de las categorías. También se establecen criterios para el proyectista a la hora de seleccionar el subsistema y se definen las estrategias proyectuales de configuración para resolver los despieces singulares.

### 2. Estrategias proyectuales para resolver determinadas tipologías de proyecto

Se identifican las estrategias para definir el despiece de proyecto cuando se trabaja con tipologías concretas de proyecto, como fachadas a gran escala, fachadas en altura, fachadas con huecos o fachadas rehabilitadas.

### 3. Resolución de puntos singulares

Posteriormente se analiza la resolución de los puntos singulares más significativos a la hora de definir este tipo de fachadas: remate superior, remate inferior, remate lateral o esquina y encuentro con el hueco.

## 5.2 CLASIFICACIÓN DE DESPIECES

La clasificación de despieces se ha establecido a partir de la información obtenida de los casos de análisis y ejemplos consultados. Se distinguen los despieces convencionales, es decir, aquellos contemplados en la normativa y documentación técnica de referencia, por un lado y los despieces singulares por otro lado. Los despieces singulares se agrupan en 4 bloques en función de las características que comparten y contienen a su vez una serie de subtipologías. No se pretende con esta clasificación realizar un catálogo de despieces sino identificar grupos en función de sus características y estrategias de resolución, de tal manera que un despiece no contemplado en el documento podía integrarse en alguna de las categorías planteadas.

CLASIFICACIÓN DE DESPIECES		
Tipología	Subtipo	Configuración / Formato
<b>Convencionales</b>	1. Juntas continuas	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical
	2. Juntas verticales contrapeadas a puntos medios	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical
	3. Juntas horizontales contrapeadas a puntos medios	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical
<b>Singulares</b>	4. Alusión a sillerías	A. Placas dos alturas, contrapeada a puntos medios
		B. Placas 3 formatos
	5. Bandas horizontales	A. Juntas verticales discontinuas no coincidentes
		B. Juntas verticales discontinuas con desplazamiento
		C. Juntas verticales coincidentes cada dos hiladas
	6. Bandas verticales	A. Juntas horizontales discontinuas no coincidentes
		B. Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento
		C. Juntas horizontales coincidentes cada dos hiladas
	7. Combinación	
	8. Patrón	A. Juntas verticales predominantes
		B. Juntas horizontales predominantes
		C. Patrón con simetría
		D. Patrón con desplazamiento
	9. Inclínados	A. Rectangular más ancho que alto
		B. Rectangular más alto que ancho
		C. Placas cuadradas
	<b>Solapados</b>	10. Solape vertical
B. Juntas horizontales contrapeadas		
11. Solape horizontal		A. Juntas verticales continuas
	B. Juntas verticales contrapeadas	
12. Solape doble	A. Juntas desplazadas	
<b>Gran formato</b>	13. Juntas continuas	A. Cuadrado / rectangular
		B. Placas de gran altura
	14. Juntas discontinuas	
15. Combinación/patrón		
<b>Volumétrico</b>	16. Con piezas tridimensionales	
	17. Con piezas planas	

### 5.3 ANÁLISIS DE DESPIECES

#### 5.3.1 CRITERIOS DE ANÁLISIS

Para analizar la resolución de los despieces incluidos en la clasificación anterior se han elaborado una serie de fichas en las que se identifica el despiece y se representa de forma esquemática su posible resolución mediante 9 subsistemas de anclaje. La selección de los nueve subsistemas de anclaje se ha establecido a partir de la información obtenida de los fabricantes y del análisis incluido en el Anexo 1, de tal manera que estos 9 tipos representan los más habituales actualmente. Algunos de ellos admiten dos opciones de acabada, visto y oculto. Para cada subsistema se indica si la solución es Apta, No apta o Condicionada.

- Solución Apta: sistema válido para configurar el despiece aplicando la configuración estándar del sistema.
- Solución No Apta: sistema incompatible para configurar el despiece
- Solución Condicionada: despiece que se puede resolver utilizando los subsistemas disponibles si se tienen en cuenta algunos requisitos o se aplican ciertas adaptaciones o modificaciones sobre la configuración estándar.

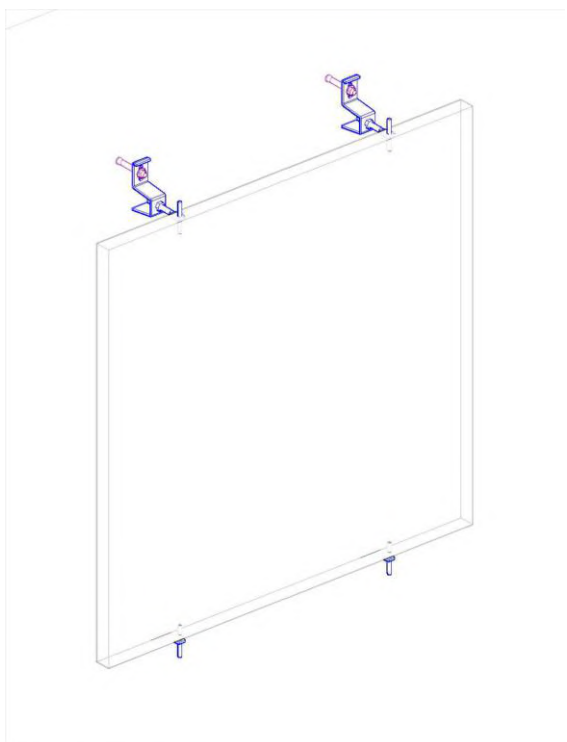
Los resultados se muestran en cada caso es una tabla como la mostrada a continuación, en la que se identifican las soluciones analizadas y la idoneidad para la configuración del despiece.

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
LEYENDA		Jh = JUNTA HORIZONTAL. Jv = JUNTA VERTICAL. R = REVERSO DE LA PLACA O = Oculto. V = Visto P = BULÓN/PIVOTE. Rd = RANURA DISCONTINUA. Ra = RANURA AISLADA. Rc = RANURA CONTINUA. U = UÑETA. D = DESTALONADO											
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD													
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		En este apartado se señalan los requisitos de configuración para las soluciones Condicionadas. Las soluciones 1 y 2 requieren la utilización de soportes resistentes en cualquier caso.											
JUSTIFICACIÓN		En este apartado se señalan las justificaciones en los casos de soluciones No aptas.											

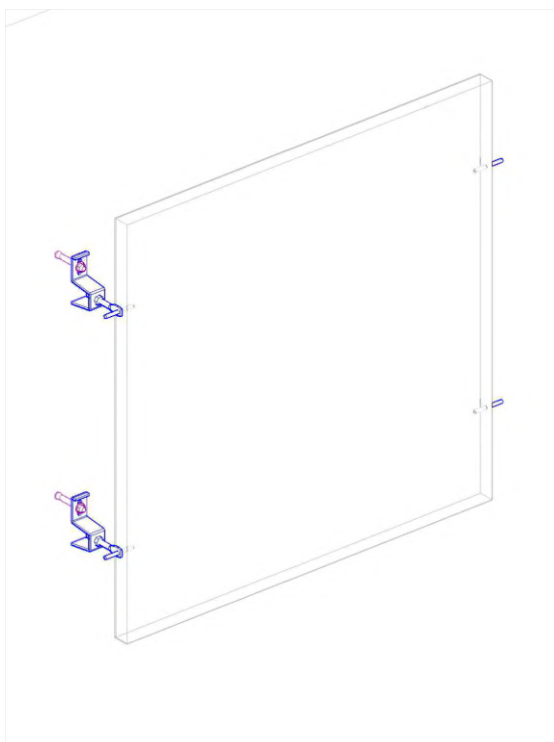
Se incluye a continuación una guía para interpretar las fichas de análisis de despieces. En primer lugar, se esquematizan las 9 soluciones de subsistemas analizadas en su configuración estándar. En segundo lugar, se ejemplifica una ficha tipo para explicar su contenido. Todos los despieces se analizan mediante la utilización de esta ficha tipo, excepto en el caso de los despieces volumétricos, que por su carácter de singularidad se explican a través del análisis de un caso real.

Tras las fichas individuales en cada una de las tipologías se incluye una ficha resumen que incorpora todas las soluciones identificadas como Aptas o Condicionadas.

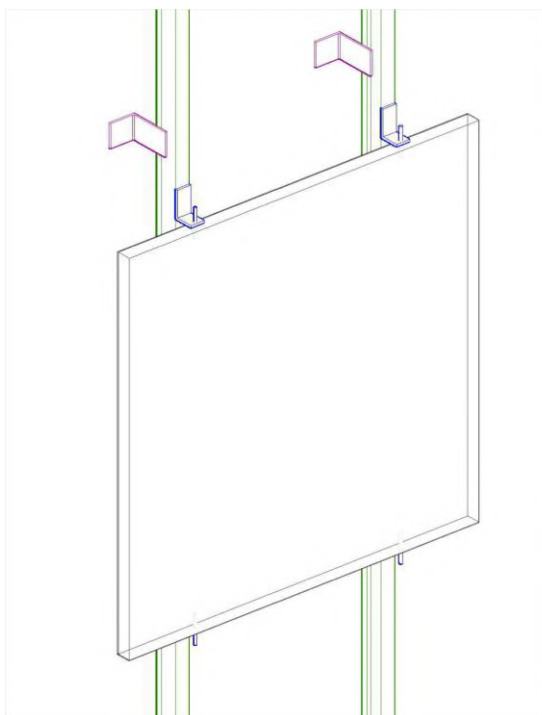
## GUÍA PARA INTERPRETAR LAS FICHAS DE ANÁLISIS DE DESPIECES



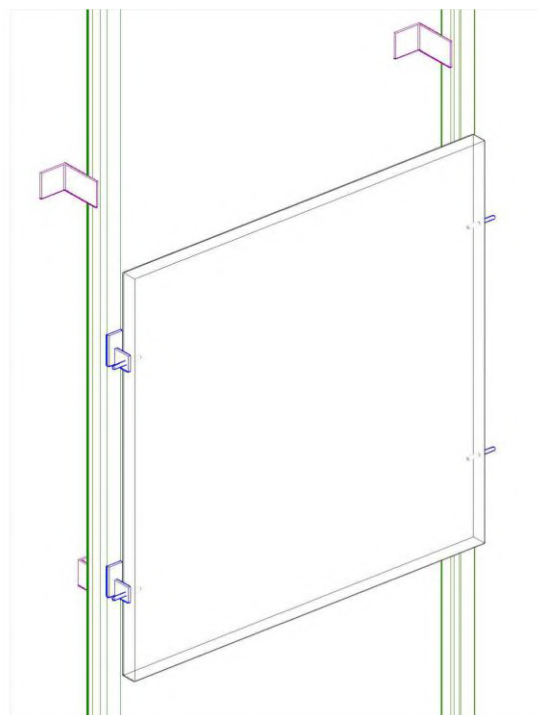
Solución 1



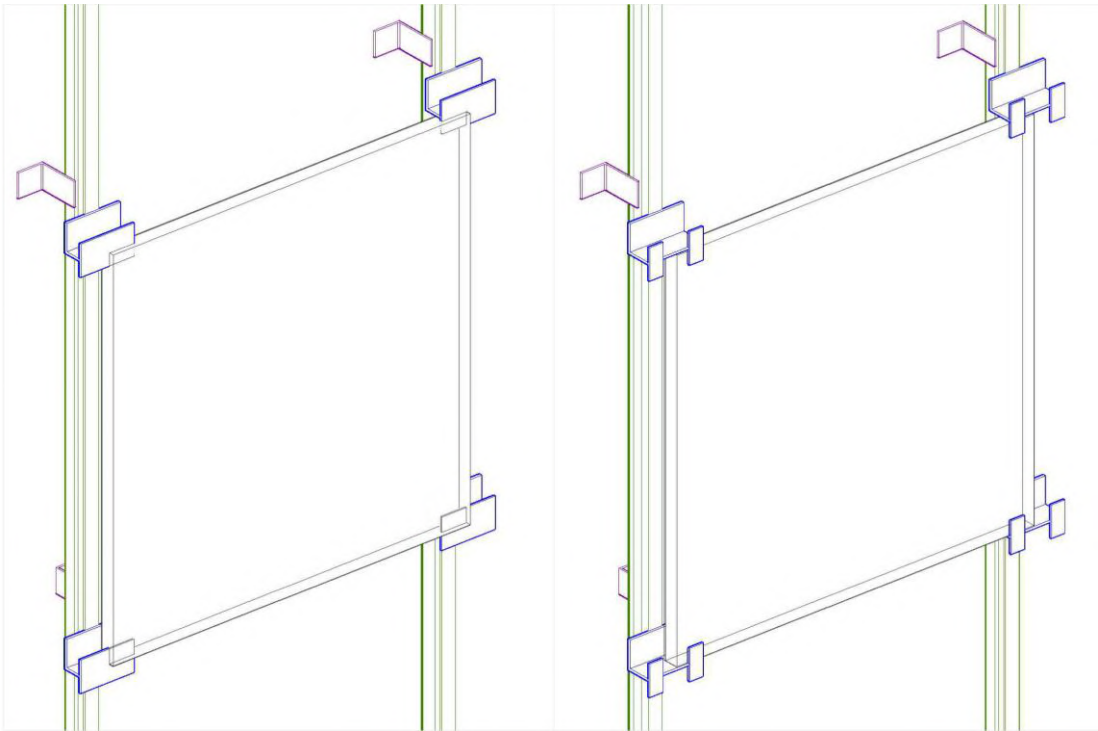
Solución 2



Solución 3

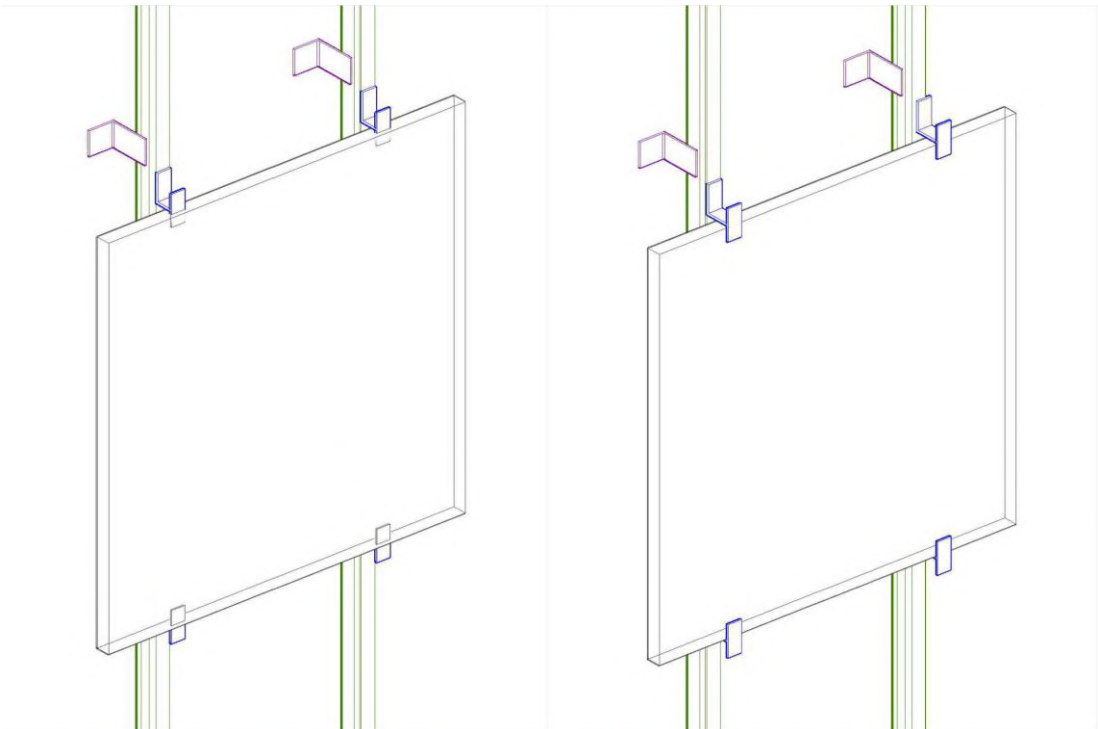


Solución 4



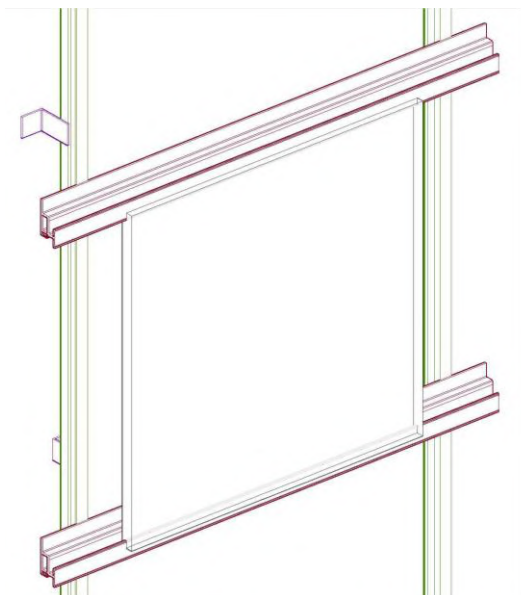
Solución 5 (oculta)

Solución 5 (vista)



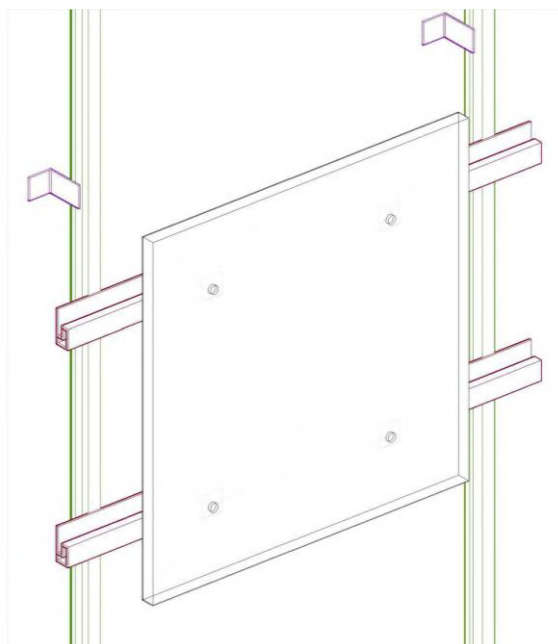
Solución 6 (oculta)

Solución 6 (vista)

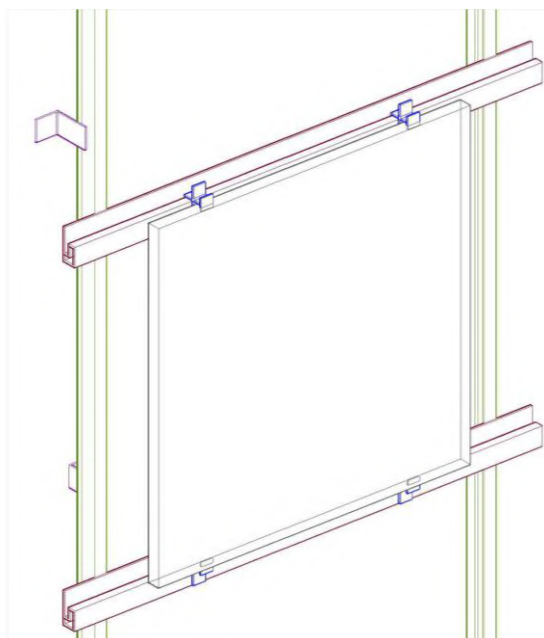


Solución 7

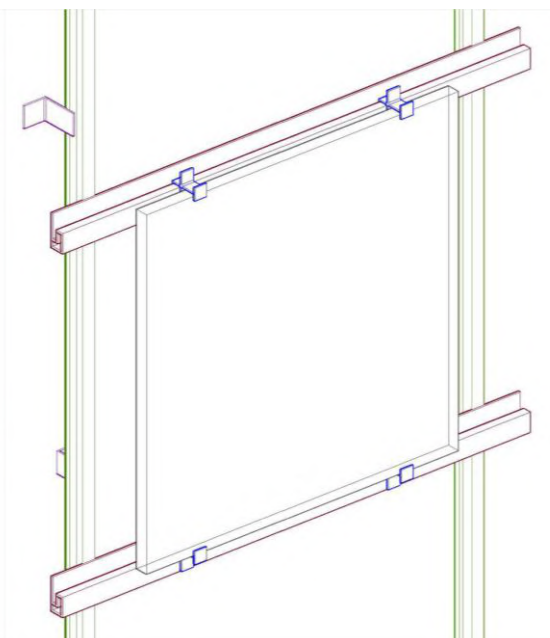
(Algunos fabricantes utilizan en esta solución travesaños con resorte de carga continuo y pestañas de retención discontinuas.)



Solución 9



Solución 8 (oculta)



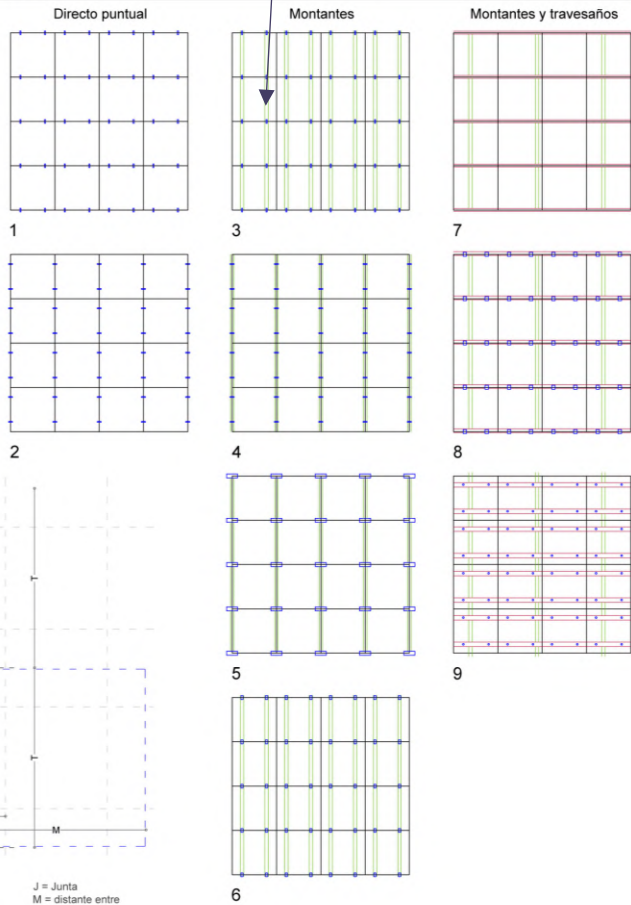
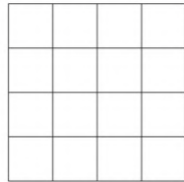
Solución 8 (vista)

Identificación del despiece

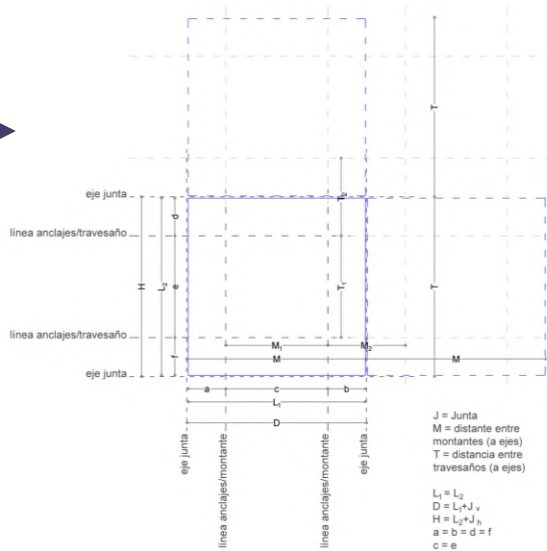
Esquema resolución del despiece según subsistema de anclaje utilizado

**1A CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS CONTINUAS**  
 Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas cuadrado.

Esquema despiece



Esquema posición juntas y anclajes en función del despiece



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O		
Grapa	P	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
IDONEIDAD	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C
LEYENDA	A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.												
REQUISITOS	1,2: Soporte resistente												
JUSTIFICACIÓN	9: Sobredimensionado para placas pequeñas.												

Tabla resumen de soluciones analizadas

### 5.3.2 DESPIECES CONVENCIONALES

#### DEFINICIÓN TIPOLOGICA

Como se ha indicado anteriormente, se consideran despieces convencionales aquellos contemplados en la normativa de referencia y en la documentación técnica de los fabricantes de subsistemas de anclajes (DAU, ETA, DIT).

Estos despieces comparten las siguientes características:

- Configuraciones básicas
- Placas de dimensiones estándar
- Placas en un único formato, cuadrado o rectangular.
- Despieces en un plano
- Se resuelven con los subsistemas estándar de anclajes.
- Fundamental la modulación.
- El proyectista puede definir la solución de fachada con la documentación existente.
- Los puntos singulares se resuelven con detalles tipo ofrecidos por el fabricante.
- No requiere participación activa exhaustiva de la oficina técnica.

En cuanto a la consideración de placas de dimensiones estándar, no se puede hablar de un dato concreto, ya que dependerá del espesor seleccionado y del peso específico de la roca. La progresiva tecnificación de los anclajes ha permitido que el tamaño que en este momento se considera estándar sea superior al que se consideraba antiguamente. En general, consideraremos estándar aquellas placas que pueden fijarse con cuatro puntos de anclaje y sistemas de anclajes estándar.

En las primeras décadas de desarrollo de fachadas trasventiladas estos despieces eran habituales y hoy en día se siguen empleando en casos de fachadas sencillas, edificios de tamaño reducido, viviendas y rehabilitaciones. Se pueden obtener a partir de 3 tipos de formato de placas (cuadrado, rectangular vertical y rectangular horizontal) y con 3 tipos de juntas (continuas, juntas verticales contrapeadas a puntos medios y juntas horizontales contrapeadas a puntos medios). En resumen, se contemplan 9 variedades de despieces.



## EJEMPLOS

Residencia de ancianos en La Coruña (Arturo Franco Taboada, 1987): despiece a base de con placas de granito rosa porriño de 80 x 80 centímetros y 3 centímetros de espesor, con juntas horizontales y verticales continuas, fijadas mediante anclajes puntuales bulón en las juntas horizontales, colocados a 16 centímetros del borde de la placa.

Residencia y centro de día de la tercera edad en Gerona (J. L. Mateo y Jaume Avellaneda, 1996): despiece a base de placas de piedra caliza rectangulares, de 63,5 x 41 centímetros y 3 centímetros de espesor, en posición horizontal y con juntas continuas. Las placas se fijaron al muro soporte de ladrillo perforado mediante grapas puntuales de tipo uñeta, ubicadas en ranuras puntuales en los extremos de los cantos horizontales de la placa, y subestructura de montantes.

Sede de la Delegación Especial AEAT Castilla y León en Valladolid (Rafael Caballero Sánchez-Izquierdo y Juan Carlos González-Ulecia López de Juan Abad, 2014): despiece con placas de pizarra celeste en formato rectangular, en posición horizontal y con juntas continuas. Se utilizaron dos subsistemas de anclaje, según la zona. En la parte inferior grapas de uñeta vista en la junta horizontal y subestructura de montantes. En la parte superior se utilizaron anclajes puntuales directos regulables de tipo uñeta vista, ubicados en las juntas horizontales.

Edificio de los Juzgados de Badalona, Barcelona (MO A con J. L. Mateo y Jaume Avellaneda, 1985-1991): se sustituye el muro soporte resistente por un entramado ligero autoportante. La fachada se resuelve mediante una subestructura de montantes con sistema forjado a forjado a los que se fijan las placas de piedra. El despiece en este caso es a base de placas rectangulares en posición horizontal, con juntas verticales contrapeadas en puntos medios. Las placas se sujetan con grapas de anclaje ubicadas en las juntas horizontales, en los puntos medios entre juntas verticales.

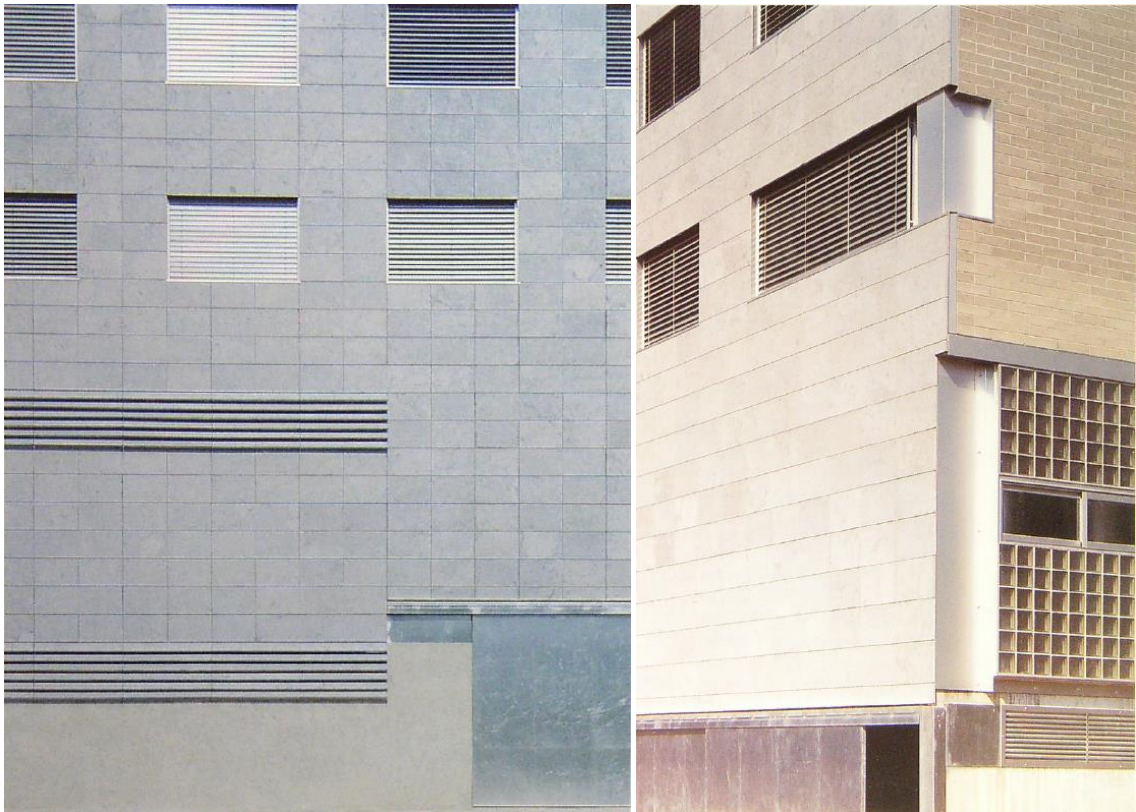
Ayuntamiento y Centro Cívico de San Fernando de Henares (Madrirdejos y Sancho, 1995 - 1999): despiece a base de placas de travertino muy rectangulares en posición vertical, con las juntas verticales contrapeadas a puntos medios, fijadas con anclajes puntuales regulables de acero inoxidable ubicados en las juntas verticales.

Biblioteca pública de Boston, Massachusetts (Machado and Silvetti Associates, 2000-2001): se utilizaron placas de pizarra con el mismo tipo de despiece que en el caso anterior. El sistema de fijación de las placas consiste en grapas de uña vista que se anclan a travesaños continuos. Cada grapa trabaja como anclaje de carga de la placa superior y retención de la inferior. Para evitar que las placas se desplacen horizontalmente el anclaje incorpora un resorte que presiona la parte posterior de la placa.

Piscinas de Oleiros en A Coruña (Naos Arquitectura, 2007): las placas rectangulares se utilizan dos tipologías de despieces, aplicados según el volumen del edificio. En un caso placas rectangulares horizontales con juntas continuas y, en otro caso, placas rectangulares verticales con juntas horizontales contrapeadas a puntos medios. En ambos casos se utiliza un sistema de grapas de uña vista, ubicándose en el primer caso en montantes alineados con las juntas verticales y, en el segundo caso, en ranuras puntuales en el canto horizontal.

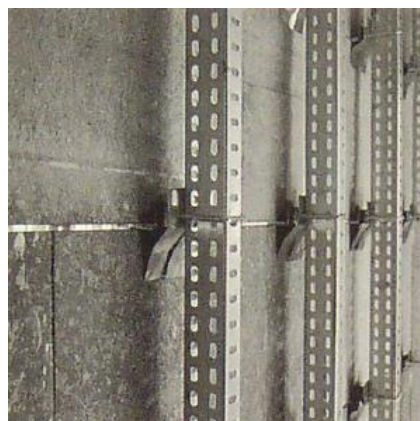
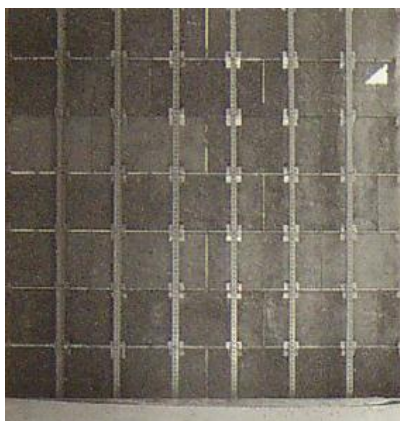


Figura 5.1. Residencia y centro de día de la tercera edad en Gerona (J. L. Mateo y Jaume Avellaneda, 1996) Despiece 1A. Solución 1. Fotografía de la autora.



Figuras 5.2. y 5.3 (arriba). Residencia y centro de día de la tercera edad en Gerona (J. L. Mateo y Jaume Avellaneda, 1996). Despiece 2A. Solución 5. Tectónica Nº 2. pp. 47-48

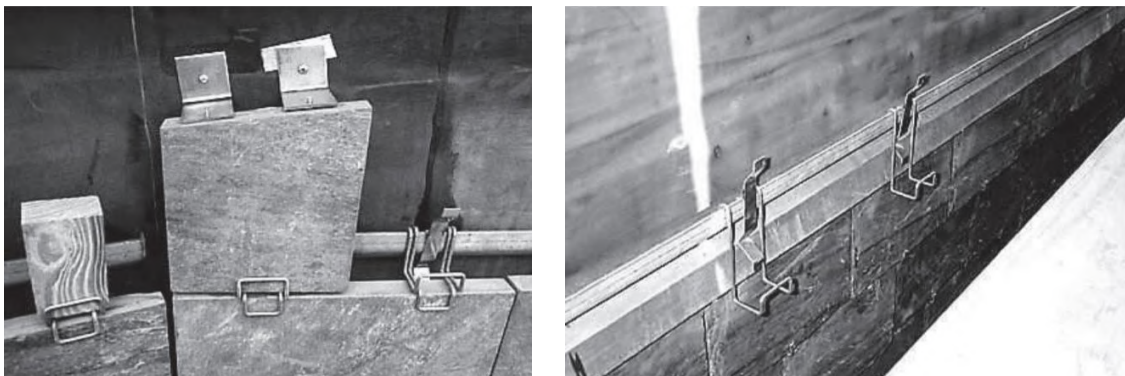
Figura 5.4 (abajo). Sede de la Delegación Especial AEAT Castilla y León en Valladolid (Rafael Caballero Sánchez-Izquierdo y Juan Carlos González-Ulecia López de Juan Abad, 2014). Despiece 2A. Soluciones 1 y 5 (vista). Fotografía de la autora.



Figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8. Edificio de los Juzgados de Badalona, Barcelona (MO A con J. L. Mateo y Jaime Avellaneda, 1985-1991). Despiece 2B. Solución 3. Tectónica Nº 2. p. 46



Figura 5.9 (arriba). Ayuntamiento y Centro Cívico de San Fernando de Henares, Madrid (Madrdejós y Sancho, 1995 - 1999). Despiece 3B. Solución 2. <https://arquitecturaviva.com/obras/ayuntamiento-s-fdo-de-henares> (Consulta el 20.01.2021)

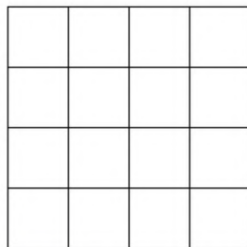


Figuras 5.10 y 5.11 (arriba). Biblioteca pública de Boston, Massachusetts (Machado and Silveti Associates, 2000-2001). Despiece 3B. Solución 10. Pavan, Vincenzo y Acocella, Alfonso (2005). New surface aesthetics. Grupo editoriale Faenza editrice. pp. 38,47,53

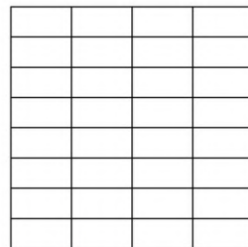
Figura 5.12 (abajo). Piscinas de Oleiros en A Coruña (Naos Arquitectura, 2007). Despieces 1B y 3C. Soluciones 5 y 7. Fotografía de Naos Arquitectura. <http://www.naos.es/detalle?p=17> (Consulta el 20.01.2021)

**CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE**

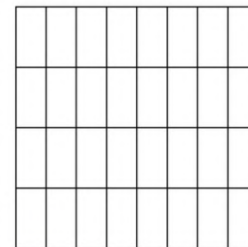
Tipología	Subtipo	Configuración / Formato
Convencionales	1. Juntas continuas	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical
	2. Juntas verticales contrapeadas a puntos medios	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical
	3. Juntas horizontales contrapeadas a puntos medios	A. Cuadrado
		B. Rectangular horizontal
		C. Rectangular vertical



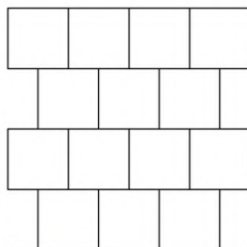
1A



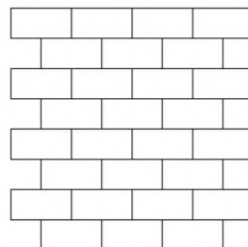
1B



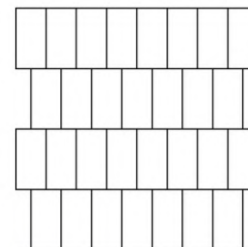
1C



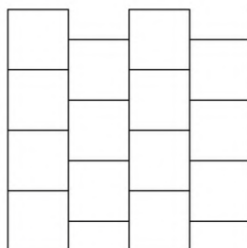
2A



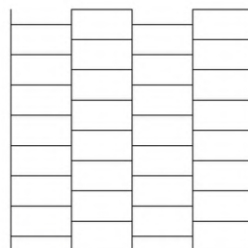
2B



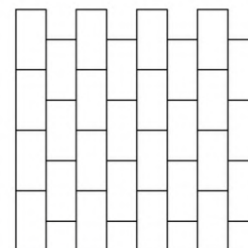
2C



3A



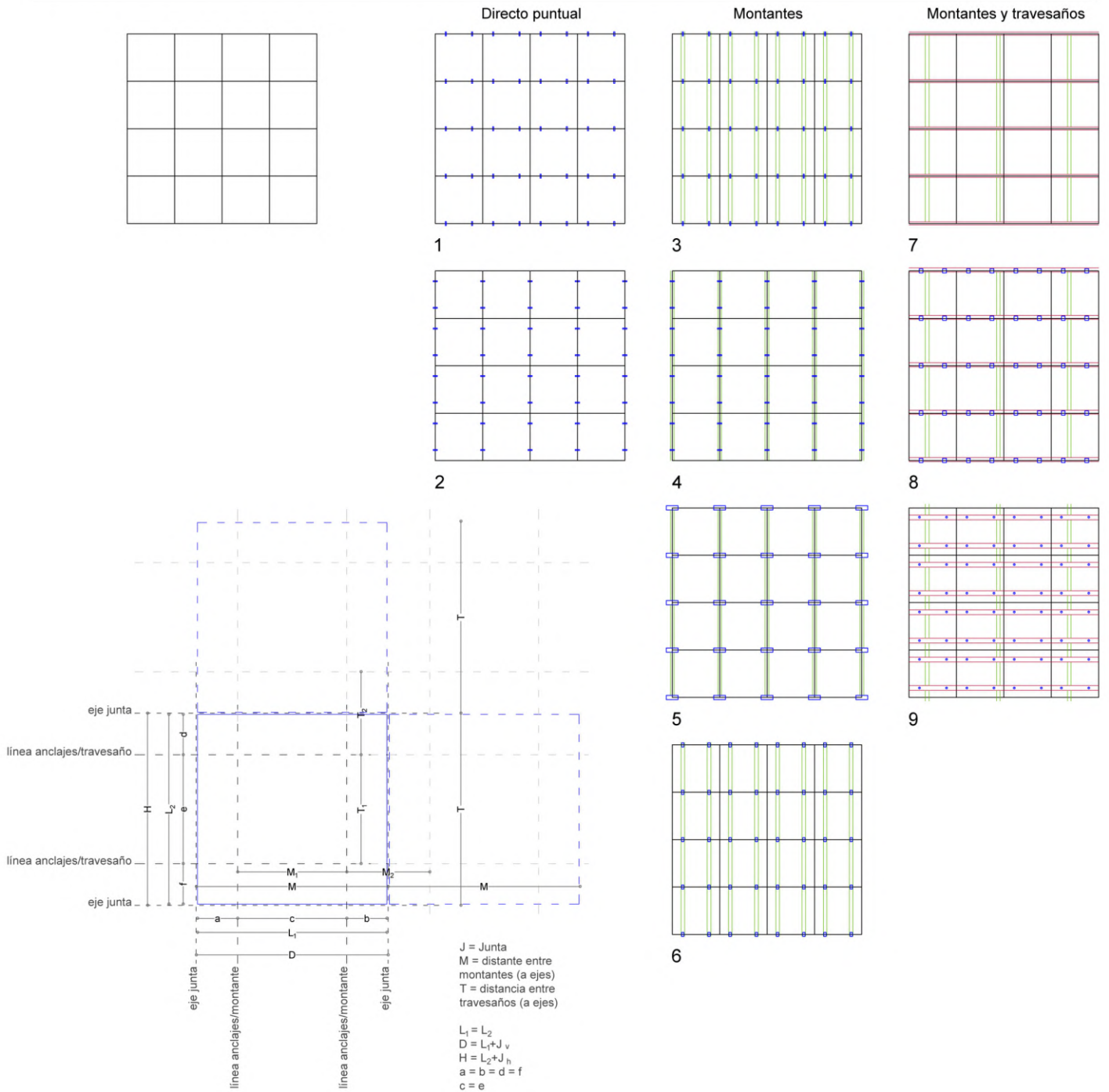
3B



3C

# 1A CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS CONTINUAS

Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas cuadrado.

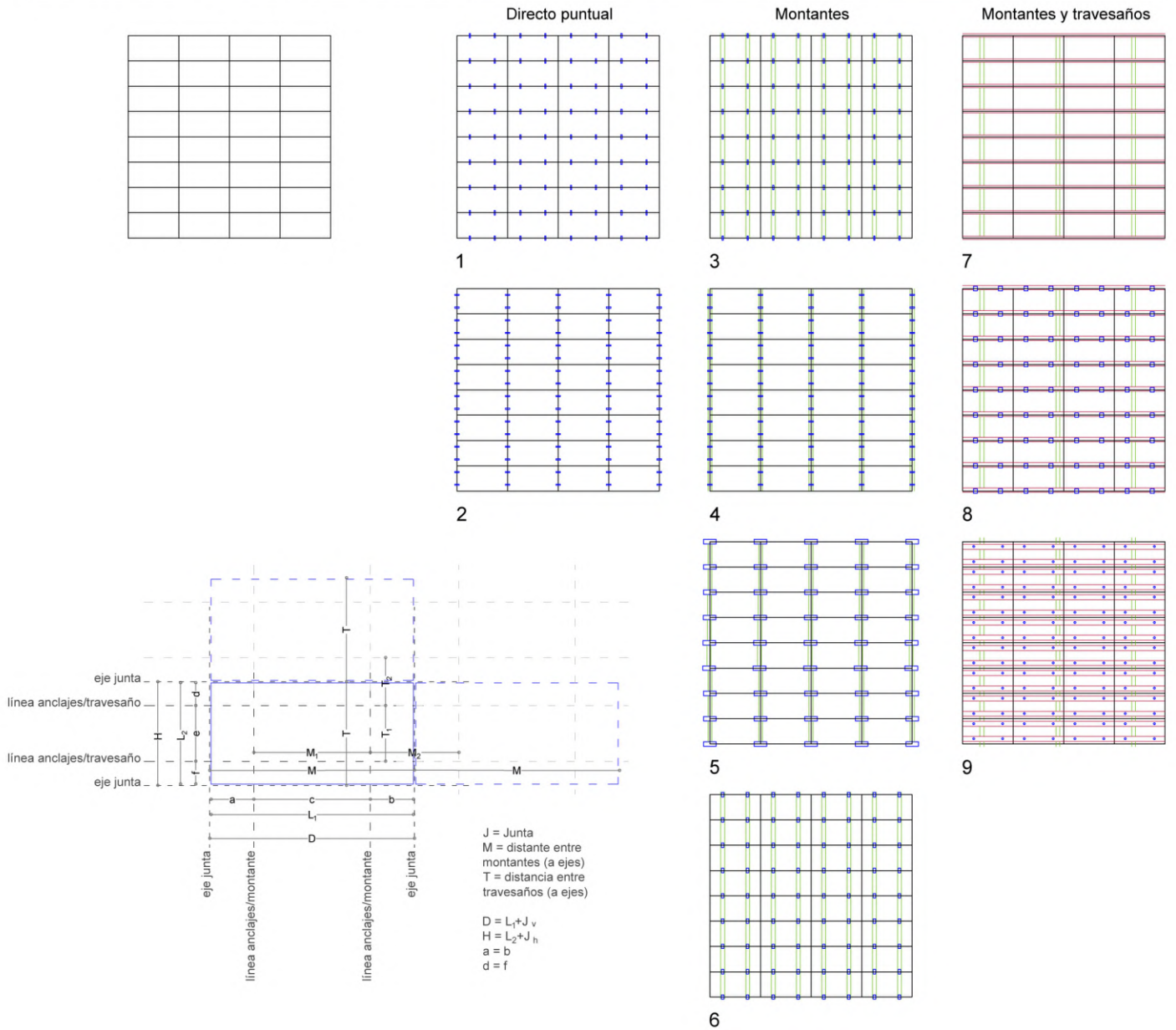


SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh		R		
	Aspecto	O		O		Rd	V	O	V	O	O		
	Grapa	P	P	P	P		U	Ra	U	Rc	Ra	V	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5			6	7	8	9	
IDONEIDAD		A	A	A	A	A			A	A	A	C	
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente											
JUSTIFICACIÓN		9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											



# 1B CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS CONTINUAS

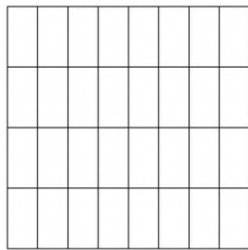
Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas rectangular horizontal.



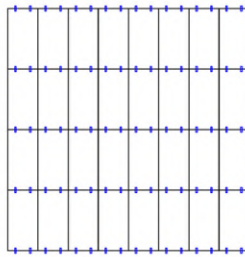
SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		<b>6</b>		<b>7</b>	<b>8</b>		<b>9</b>
IDONEIDAD		<b>A</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>A</b>		<b>A</b>		<b>A</b>	<b>A</b>		<b>C</b>
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2,4: El límite tolerable recomendable $L_1/L_2 \leq 2,41$ .											
JUSTIFICACIÓN		9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

# 1C CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS CONTINUAS

Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas rectangular vertical.

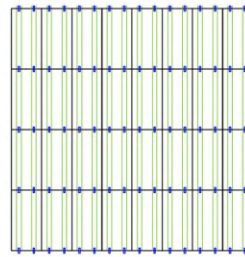


Directo puntual



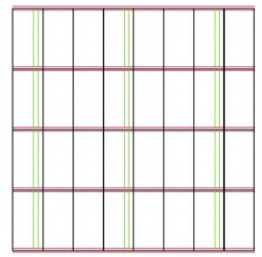
1

Montantes

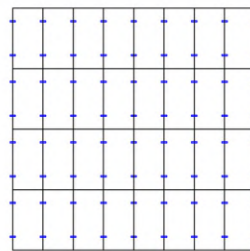


3

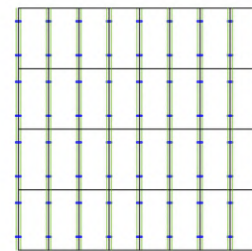
Montantes y travesaños



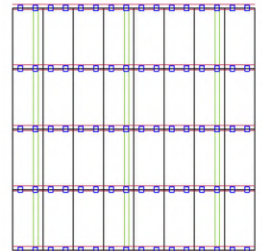
7



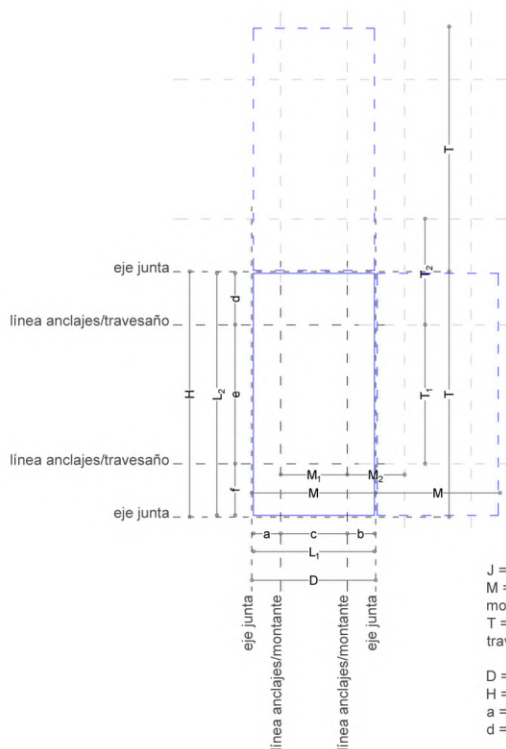
2



4

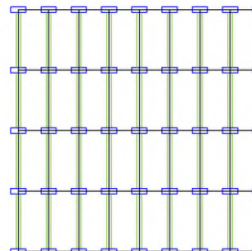


8

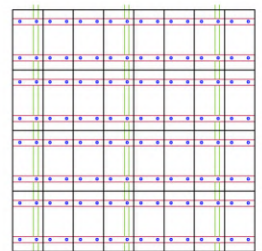


J = Junta  
M = distante entre montantes (a ejes)  
T = distancia entre travesaños (a ejes)

$D = L_1 + J_v$   
 $H = L_2 + J_h$   
 $a = b$   
 $d = f$



5



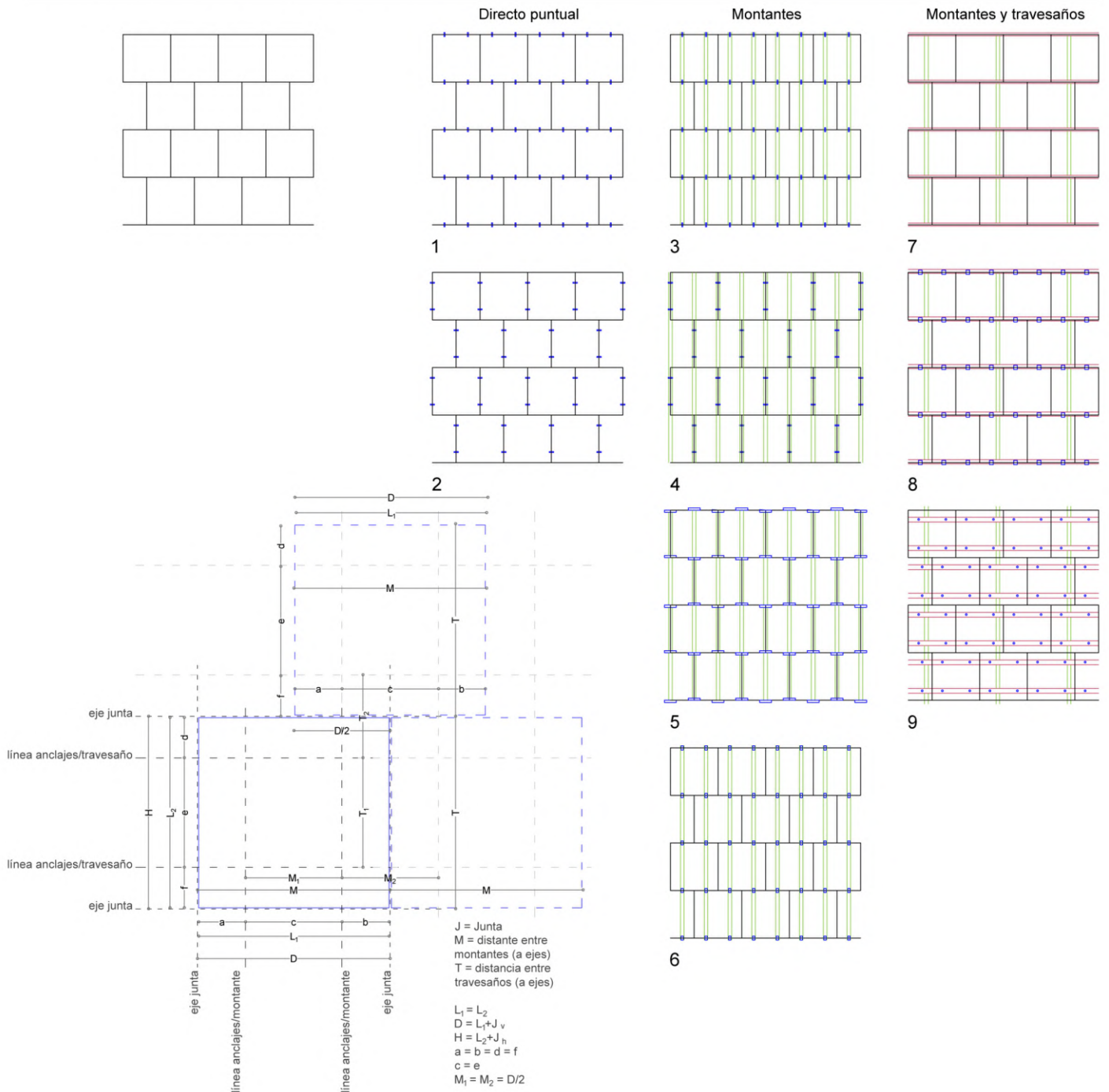
9

6

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh		R	
	Aspecto	O		O		Rd	V	O	V	O	V	O
	Grapa	P	P	P	P		U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5			6	7	8	9
IDONEIDAD		C	A	C	A	A			C	A	A	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,3,6: El límite tolerable recomendable $L_2/L_1 \leq 2,41$										
JUSTIFICACIÓN		3,6: No recomendable para placas de poca anchura. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.										

## 2A CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS VERTICALES CONTRAPEADAS

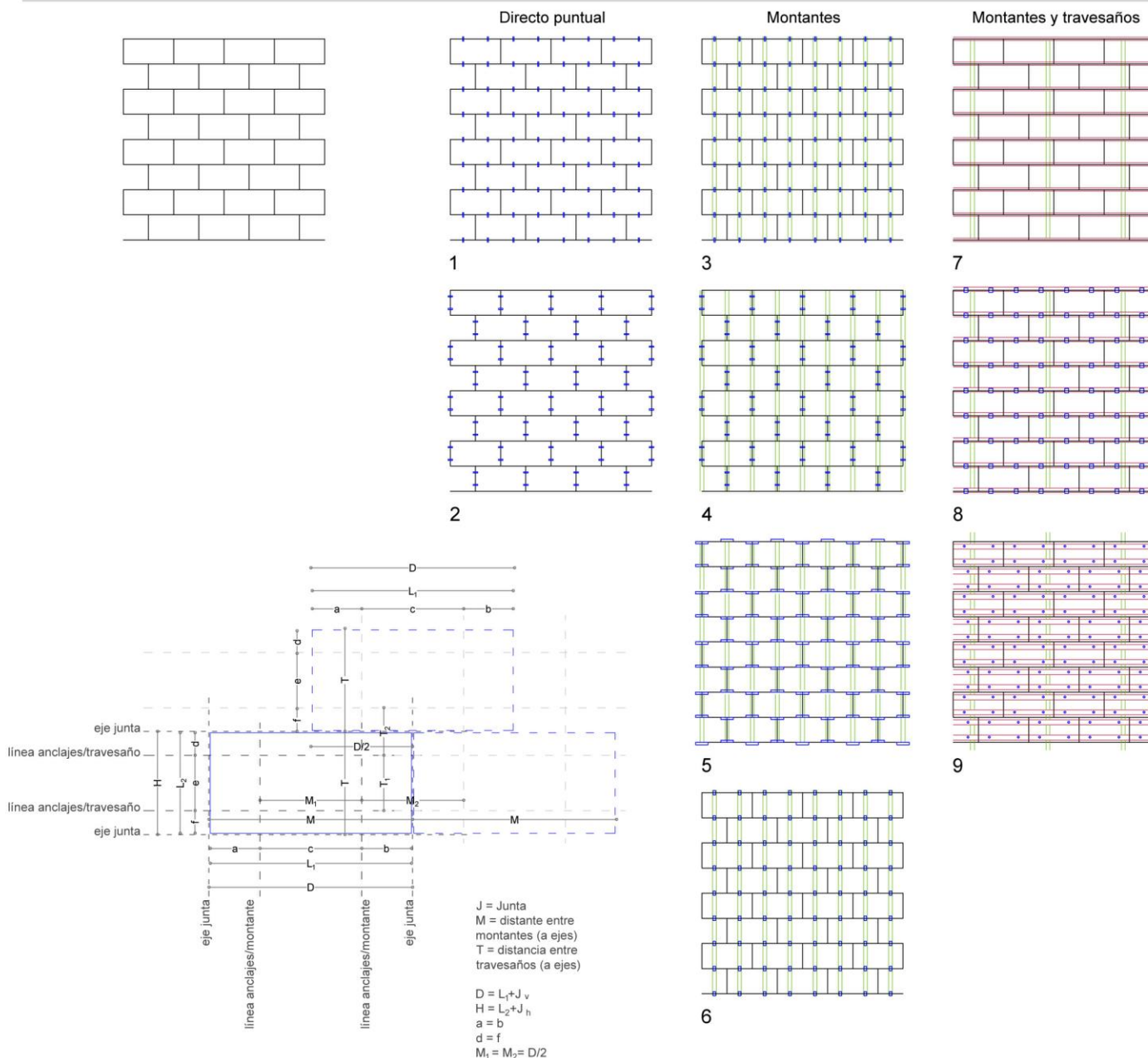
Juntas verticales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas cuadrado.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		Rd	V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	U	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9	
IDONEIDAD		C	A	C	A	C		C		A	C	C	
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,3,6: Montantes y anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 5: Utilización de grapas de inicio y remate de forma alterna. 8: Grapas equidistantes al borde de la placa.											
JUSTIFICACIÓN		9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

## 2B CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS VERTICALES CONTRAPEADAS

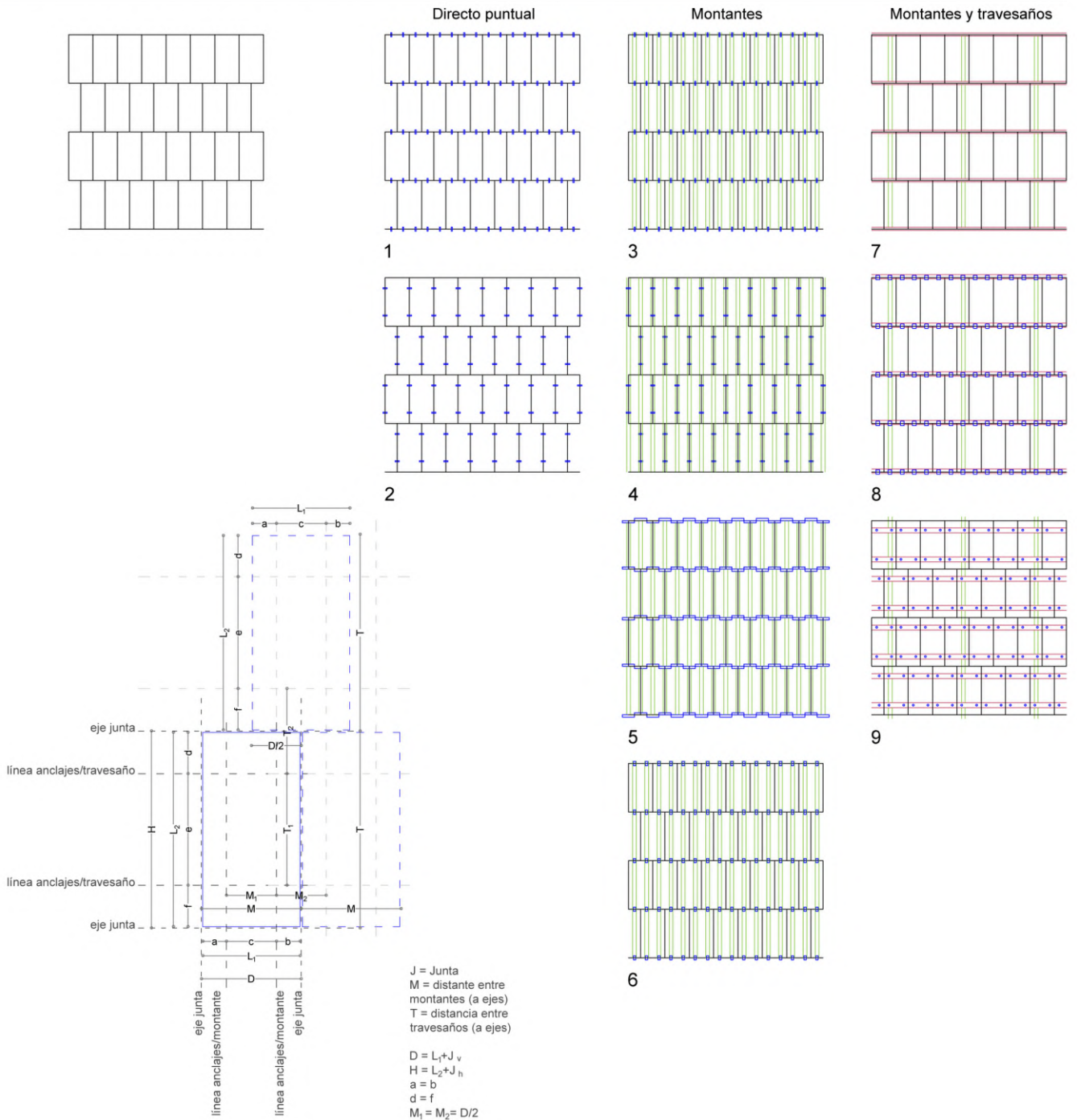
Juntas verticales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas rectangular horizontal.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh		R	
	Aspecto Grapa	O	P	P	P	Rd	V	O	V	O	Ra	V	O
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	A	C	A	C	C	A	C	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2,4: El límite tolerable recomendable $L_2/L_1 \leq 2,41$ . 1,3,6: Montantes y anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 5: Utilización de grapas de inicio y remate de forma alterna. 8: Grapas equidistantes al borde de la placa.											
JUSTIFICACIÓN		9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

## 2C CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS VERTICALES CONTRAPEADAS

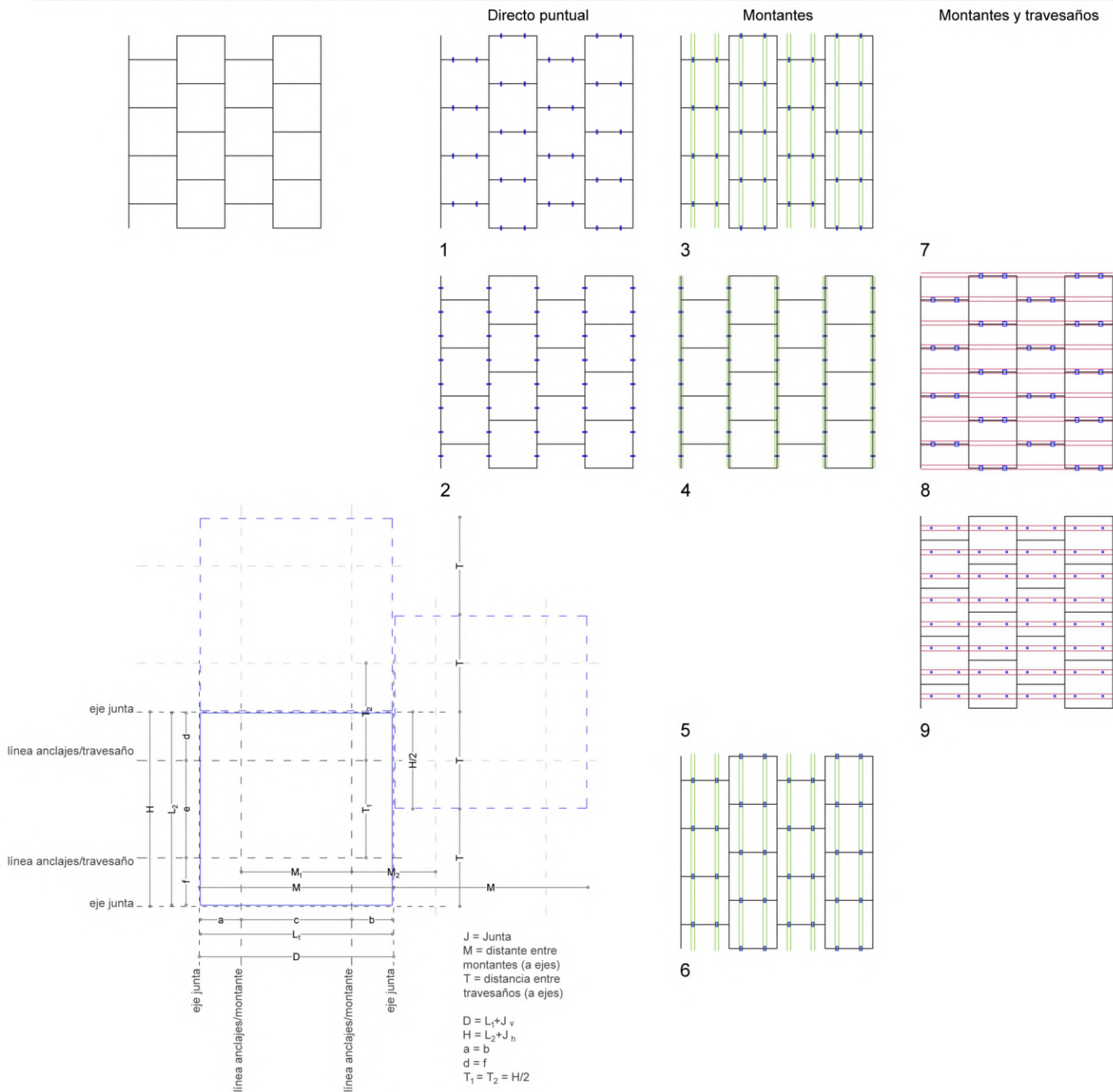
Juntas verticales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas rectangular vertical.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh		R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9
IDONEIDAD		C	A	C	C	C		C		A	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,3,6: El límite tolerable recomendable $L_2/L_1 \leq 2,41$ . 1,3,6: Montantes y anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 5: Utilización de grapas de inicio y remate de forma alterna. 8: Grapas equidistantes al borde de la placa.										
JUSTIFICACIÓN		3, 4, 5, 6: No recomendable para placas de poca anchura. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.										

### 3A CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS HORIZONTALES CONTRAPEADAS

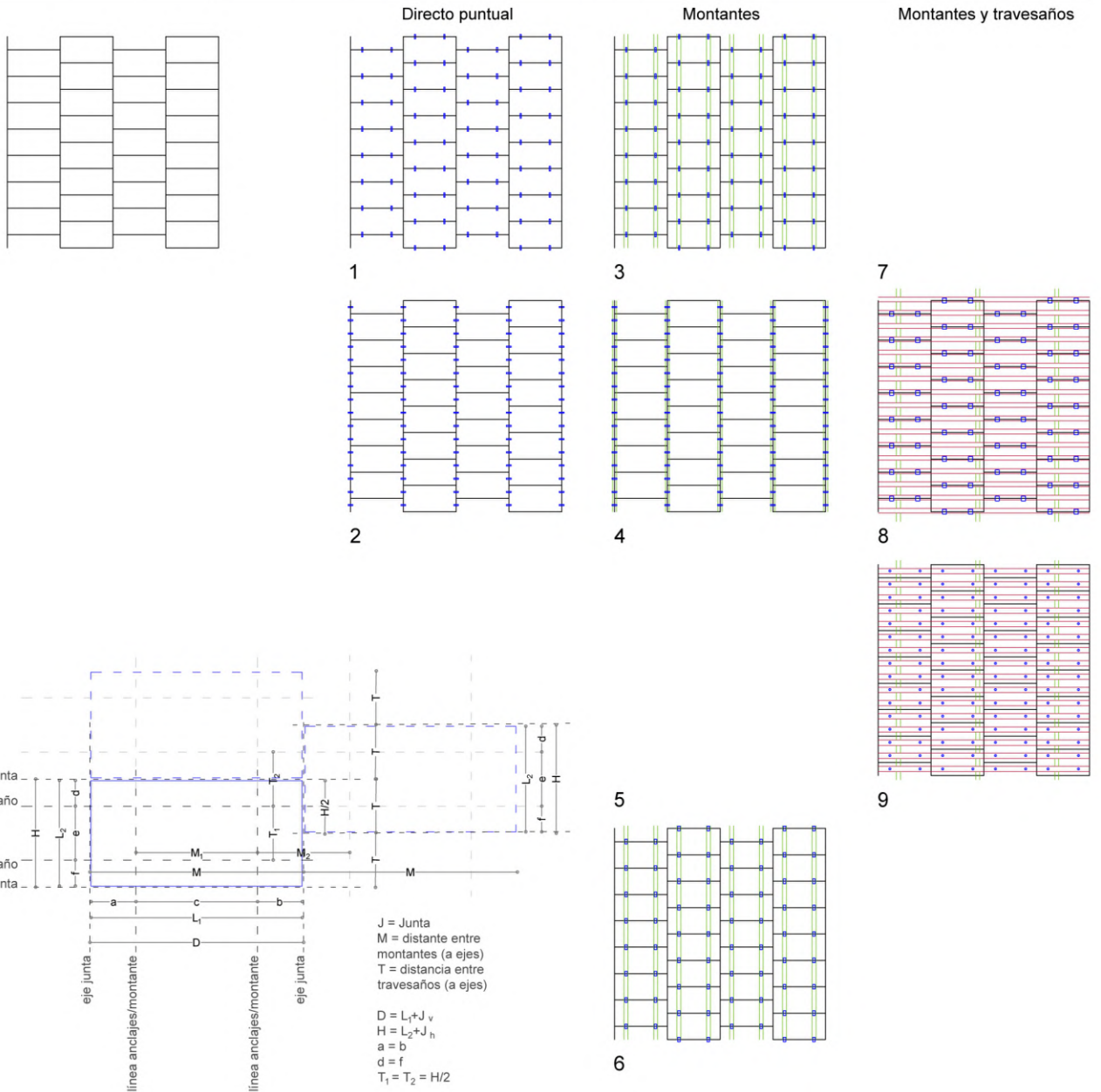
Juntas horizontales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas cuadrado.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	J <sub>h</sub>	J <sub>v</sub>	J <sub>h</sub>	J <sub>v</sub>	J <sub>h</sub>				J <sub>h</sub>			R
	Aspecto	O		O		Rd	V	O	V	O			D
	Grapa	P	P	P	P	U	U	Ra	U	Rc	Ra	U	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5			6	7	8		9
IDONEIDAD		A	C	A	C	NA			A	NA	A		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2,4: Montantes y anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa. Comprobar que se cumplen distancias min y máx.											
JUSTIFICACIÓN		5,7: Juntas horizontales discontinuas no son compatibles con las grapas. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

### 3B CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS HORIZONTALES CONTRAPEADAS

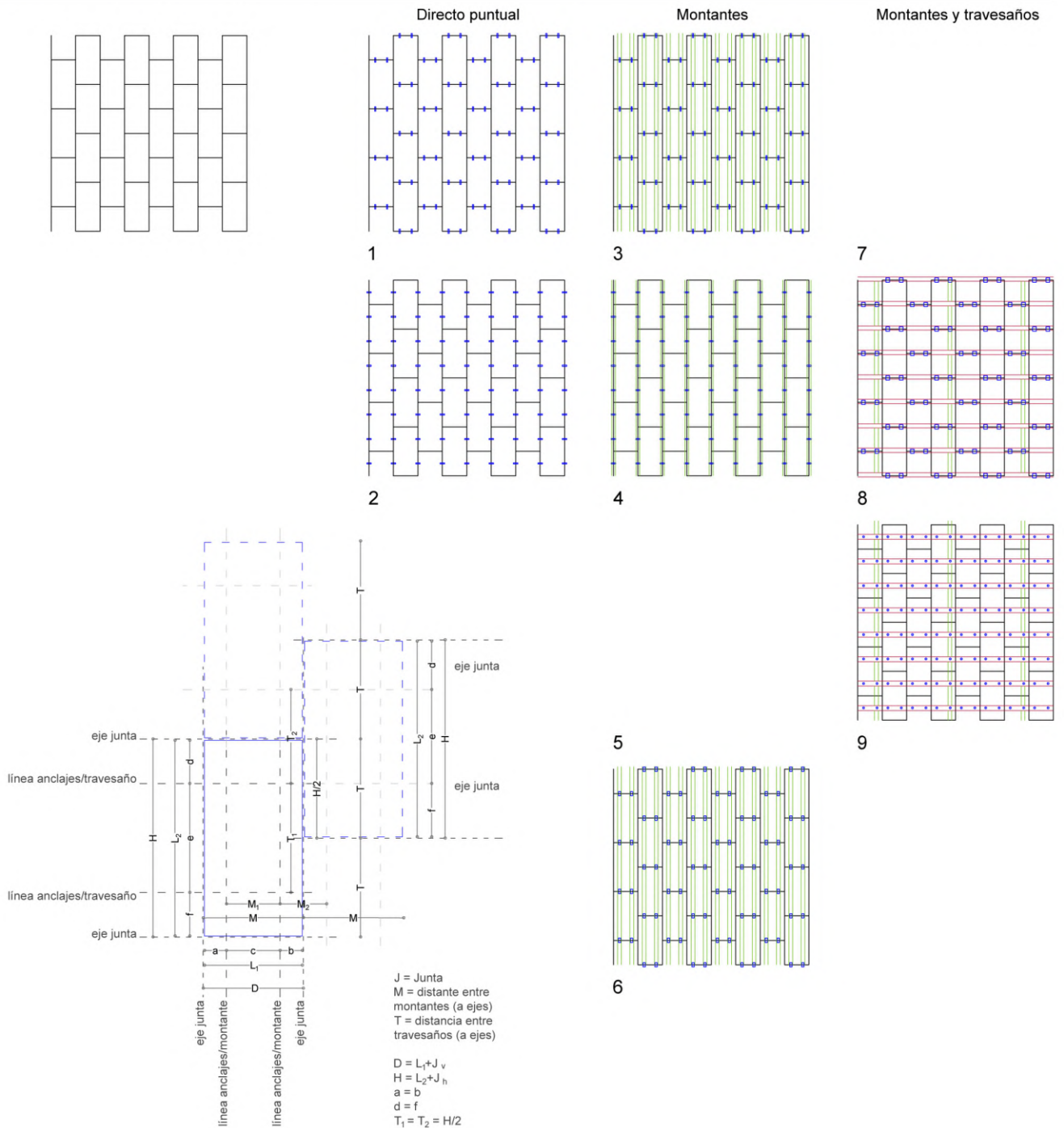
Juntas horizontales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas rectangular horizontal.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		A	C	A	C	NA		A		NA	C		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2,4: El límite tolerable recomendable $L_2/L_1 \leq 2,41$ . 2,4: Anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa. Comprobar que se cumplen distancias min y máx.											
JUSTIFICACIÓN		2,4,8: No recomendable para placas de poca altura. 5,7: Juntas horizontales discontinuas no son compatibles con las grapas. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

### 3C CLASIFICACIÓN: CONVENCIONALES. JUNTAS HORIZONTALES CONTRAPEADAS

Juntas horizontales contrapeadas a puntos medios. Formato de placas rectangular vertical.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	C	C	C	NA	C	NA	A	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,3,6: El límite tolerable recomendable $L_2/L_1 \leq 2,41$ . 2,4: Anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa. Comprobar que se cumplen distancias min y máx.											
JUSTIFICACIÓN		3,6: No recomendable para placas de poca anchura. 5,7: Juntas horizontales discontinuas no son compatibles con las grapas. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											



		1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
TIPOLOGÍA: DESPIECES CONVENCIONALES										
Directo regulable	Puntual									
	Bulón en junta vertical									
Mediante subestructura regulable	Montantes	Bulón en junta horizontal								
		Bulón en junta vertical								
		Grapa en ranura discontinua								
		Grapa en ranura aislada / Uñeta vista								
Montantes y travesaños	Perfil horizontal en junta continua									
	Grapas en ranura aislada									
	Destalonado de fondo									

INTERPRETACIÓN DE SOLUCIONES ADMITIDAS PARA CONFIGURAR EL DESPIECE

SISTEMA APTO

SISTEMA CONDICIONADO

SISTEMA NO APTO (no dibujado)

### 5.3.3 DESPIECES SIMPLES EN UN PLANO

#### DEFINICIÓN TIPOLOGICA

Esta tipología admite una amplia variedad de configuraciones, que se pueden entender como una evolución de las configuraciones convencionales analizadas anteriormente. Como principales diferencias frente a estas, se puede destacar la utilización de placas en formatos diferentes en un mismo despiece, así como el desplazamiento de las juntas. La incorporación de placas en el despiece cuya posición no coincide con la alineación de los anclajes para fijar el resto de las placas, añade una nueva característica en los despieces que debe resolverse mediante el estudio del subsistema de anclaje.

Estos despieces comparten las siguientes características:

- Se admite una variedad de configuraciones
- Placas de dimensiones estándar
- Se admiten placas en varios formatos combinados.
- Despieces en un plano
- Para definir el subsistema de anclaje se requiere análisis de la configuración del despiece, y aplicación de posibles modificaciones.
- Importante la modulación y el posicionamiento de juntas para definir la solución.
- Los puntos singulares requieren estudio detallado, en algunos casos no se resuelven con detalles tipo ofrecidos por el fabricante.
- Puede requerir participación activa exhaustiva de la oficina técnica.

La amplia variedad de despieces que admite esta tipología pueden englobarse en los siguientes grupos:

- Alusión a sillerías: son despieces que imitan los despieces de las sillerías, tienen una configuración similar a la de los despieces básicos con juntas verticales contrapeadas, pero introduce la posibilidad de combinar hiladas en dos alturas y que el contrapeado de las juntas verticales no sea a puntos medios.
- Bandas horizontales: consisten en despieces con juntas horizontales continuas y juntas verticales no coincidentes, pudiendo utilizarse placas de anchos variables.
- Bandas verticales: consisten en despieces con juntas verticales continuas y juntas horizontales no coincidentes, pudiendo utilizarse placas de alturas variables.
- Despieces con combinaciones: se define este tipo combinación en un mismo paño de fachada de varios despieces convencionales o simples en un plano.
- Despieces con patrones: consisten en despieces basados en un patrón compuesto por varias placas combinadas, que se repite a lo largo del paño de fachada por traslación, simetría o giro.
- Despieces inclinados: se entiende por despieces inclinado cuando las placas del revestimiento giran en el plano de fachada sobre su base, de tal manera que la base de las placas está en posición inclinada.

## EJEMPLOS

Un recurso habitual en esta tipología es la alusión a despieces de sillería utilizando placas en hiladas de alturas diferentes. Esta solución es la más similar a las vistas en los despieces convencionales.

Edificio para la Banca de Alzate Brianza (Como, Adolfo Natalini 1978-1983): despiece a base de hiladas en dos alturas. Se combinaron placas de 99 x 33 centímetros y de 99 x 55 centímetros, con 3 centímetros de espesor, y juntas verticales contrapeadas a puntos medios, fijadas mediante anclajes directos de bulón ubicados en las juntas horizontales, empotrados al muro soporte de hormigón. En el Palacio de Festivales de Santander (Francisco Javier Saénz de Oiza, 1987-1991) se utilizó el mismo subsistema de anclaje y un despiece muy similar, con placas de 90 x 30 centímetros y de 90 x 60 centímetros, de 4 centímetros de espesor, y juntas verticales contrapeadas.

Ampliación de la Staatsgalerie (Stuttgart, 1979-1983): despiece que alude al aparejo pseudo isodomo típico de las construcciones tradicionales. Las placas se colocaron en hiladas horizontales de dos alturas. En la hilada de mayor altura todas las piezas tienen la misma anchura mientras que en la banda de menor altura se utilizan placas en dos anchuras diferentes, dejando las juntas verticales discontinuas cada dos hiladas.

Otro recurso bastante utilizado es la composición de despieces basados en bandas horizontales o en bandas verticales. En el caso de las bandas horizontales se pueden utilizar placas de la misma o de distinta anchura, que se van posicionando en cada una de las hiladas de tal manera que las juntas verticales no son coincidentes o lo hacen cada cierto número de hiladas. Esta solución se basa en la utilización de juntas horizontales continuas y juntas verticales discontinuas.

Centro de Salud en Monterroso (Ábalo Alonso, 2006-2012): se distinguen bandas horizontales en varias alturas en las que se posicionan aleatoriamente placas con anchos variables (20, 30, 40, 50 y 60 centímetros). En el Museo Guggenheim de Bilbao (Frank Gehry, 1997) las placas de piedra de 79,5 x 60 centímetros que ocupan cada banda horizontal, se desplazan 10 centímetros respecto a la placa inferior, de tal manera que las juntas verticales son coincidentes cada 7 hiladas. En este proyecto las placas del revestimiento se adaptan, en algunos puntos de la fachada, a soportes curvos. La solución de anclaje consiste en anclajes directos puntuales de bulón, posicionados en las juntas verticales entre placas, a 12 centímetros del borde superior e inferior.

Cuando el despiece se compone de bandas verticales, la solución se basa en la utilización de juntas verticales continuas y juntas horizontales discontinuas.

Nuevo edificio de la Diputación de Zamora (María Antonia Fernández Nieto y Pilar Peña Tarancón - g+f Arquitectos-, 2012): las bandas verticales tienen anchos diferentes y dentro de cada banda las placas se van incorporando de una manera más o menos aleatoria. En este ejemplo las bandas verticales no ocupan toda la fachada, sino que se han diseñado por plantas.

Otro recurso compositivo en esta tipología es la combinación de varios despieces convencionales.

Torre Triana (Sevilla): despiece a dos escalas, formado por secciones contrapeadas, separadas entre sí por juntas horizontales continuas. A su vez, cada una de las secciones se compone de placas rectangulares con juntas horizontales y verticales continuas. El resultado que se busca con esta solución es el mismo efecto de despiece tradicional a una escala mucho mayor, dando la sensación de que la fachada está compuesta por grandes bloques.

Museo de Almería (Paredes Pedrosa arquitectos, 2004): se repite esta misma idea, de tal manera que la fachada se divide en varias secciones, cada una de las cuales incorpora un revestimiento a base de placas rectangulares con juntas continuas en las dos direcciones. En este caso se utilizó un subsistema de perfilaría de aluminio a base de montantes y travesaños de apoyo inferior continuo ubicado en ranurado en

el canto de la placa y retención superior mediante grapas antivuelco en ranuras puntuales en el canto horizontal.

Restauración del Pazo de Lestrove (Antonio Amado Lorenzo, 2003-2005): se construye una fachada que debe dialogar con la fachada originaria del s.XVI y, por tanto, se pretende lograr una reinterpretación del muro de piedra demolido de una manera respetuosa. Aun así, se intenta reflejar de alguna manera la imagen tecnológica que implica la utilización de un nuevo sistema constructivo, por lo que dentro del despiece convencional a base de placas verticales con juntas contrapeadas se integran ciertas juntas continuas y algunas placas en posición horizontal.

Edificio de la Xunta de Galicia (Vigo): se combina un despiece a base de placas de granito rectangulares apaisadas en posición horizontal y con juntas continuas, en continuación con las bandas de carpintería, con un despiece de placas rectangulares en posición vertical y juntas contrapeadas respecto al despiece anterior, que se ubica coincidiendo con el canto de los forjados.

Otra técnica que se aleja más del aspecto tradicional es consiste en utilizar una composición geométrica sencilla que se comporta como un patrón que se va repitiendo. En estos casos se estudia la solución para la fijación del elemento patrón, de tal manera que se pueda repetir en el resto de la fachada. El patrón se puede repetir en la misma posición o se puede modificar, con un giro o simetría. En estos casos hay que asegurar que la posición del subsistema de anclaje funcione para los patrones secundarios.

Paraninfo de la Universidad del País Vasco (Bilbao, Álvaro Siza, 2005-2010): se emplea un patrón que se repite con cierta flexibilidad. Se utilizan 3 tipos de piezas de mármol: completa cuadrada de 102 x 102, media pieza horizontal de 48,5 x 102 y media pieza vertical de 102 x 48,8. Todas las placas tienen un espesor de 4 centímetros y las juntas tienen un espesor de 5 milímetros. Con la combinación de estas 3 piezas se forman los patrones en la fachada, manteniendo la componente horizontal de las juntas continuas que se forma cada 102 centímetros. Se utilizan anclajes puntuales regulables de bulón colocados en las juntas verticales en las piezas tipo 1 y tipo 2 y en las juntas horizontales en el tipo 3.

Ampliación del Palacio Euskalduna (Federico Soriano & Asociados, Bilbao, 2010-2011): para formar el patrón se parte de un módulo cuadrado de 275 x 275 centímetros, al que se le aplican dos cortes: uno vertical a 39 centímetros del borde y uno horizontal a 56,5 centímetros del borde. De este modo se obtiene un patrón cuadrado compuesto por 4 pizas de diferentes dimensiones. A lo largo de la fachada el patrón se va repitiendo en dos posiciones, aplicando una simetría del patrón respecto a la junta horizontal. Para fijar las placas de granito se utiliza un subsistema de perfilería a base de montantes de sección en T que se ubican alineados con las juntas verticales del despiece. La fijación de las placas a los montantes se realiza con grapas en forma de uña puntual ubicadas en las juntas horizontales que se disponen sobre un ranurado vertical a ambos lados de las alas del montante.

Un despiece menos utilizado ya que suma numerosas dificultades a la hora de resolver el subsistema de anclaje y los puntos singulares es la disposición de las placas con juntas inclinadas, de tal manera que giran sobre el plano de apoyo respecto a su posición habitual.

Centro Gallego de Arte Contemporáneo (Santiago de Compostela, Álvaro Siza, 1988-1993): sus fachadas incluyen revestimientos con despiece inclinado en los cuerpos saliente adosados ubicados en planta baja y en las terrazas de la cubierta.

Ópera de Oslo (Snohetta, 2008) y Gran teatro de Provenza (Gregotti Associati International, 2007): se utiliza esta misma estrategia a una escala mayor. En el primer caso ocupando la fachada trasera que da a la vía pública y en el segundo caso en varias de las fachadas, combinándolo también con despieces en bandas horizontales y verticales en el resto de las fachadas.

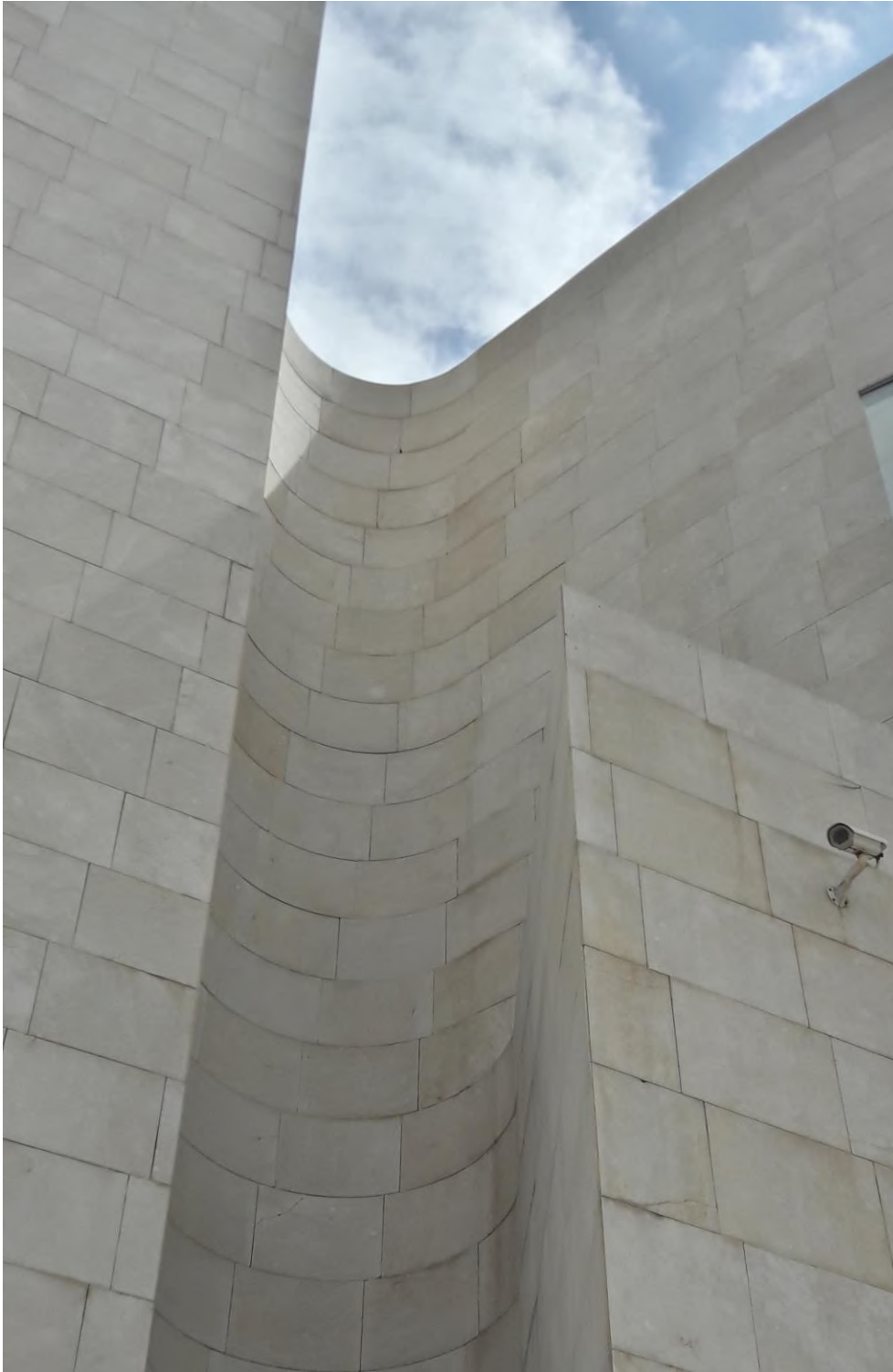


Figura 5.13. Museo Guggenheim de Bilbao (Frank Gehry, 1997). Despiece 5B. Solución 2. Fotografía de la autora



Figura 5.14. Nuevo edificio de la Diputación de Zamora (María Antonia Fernández Nieto y Pilar Peña Tarancón - g+f Arquitectos-, 2012). Despiece 6A. Solución 6. Fotografía de la autora



Figura 5.15 Pazo de Lestrove (Antonio Amado Lorenzo, 2003-2005). Despiece 7. Cedida por el autor.



Figura 5.16. Edificio de la Xunta de Galicia (Vigo). Despiece 7. Fotografía de la autora.





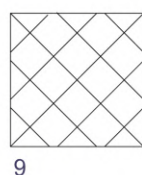
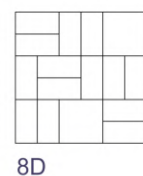
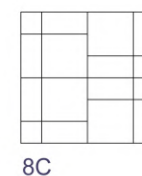
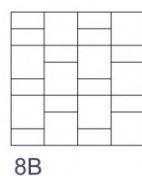
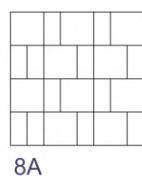
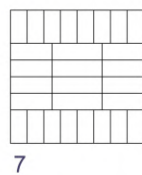
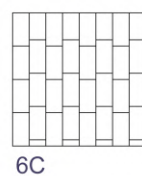
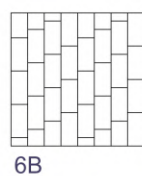
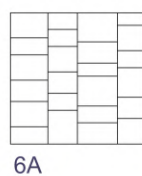
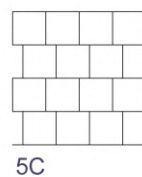
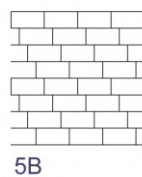
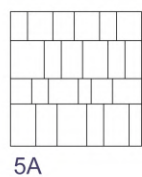
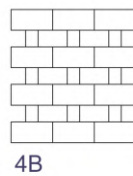
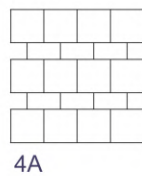
Figura 5.17 (arriba). Paraninfo de la Universidad del País Vasco (Álvaro Siza, Bilbao, 2005-2010). Despiece 8D. Solución 2. Fotografía de la autora.  
Figura 5.18 (abajo). Ampliación del Palacio Euskalduna (Federico Soriano & Asociados, Bilbao, 2010-2011). Despiece 8C. Solución 5. Fotografía de la autora.



Figura 5.19. Gran teatro de Provenza (Gregotti Associati International, 2007). Despiece 9. Fotografía de Di Bello, Donato (2009). Recuperada de su portfolio. [donatodibello.com](http://donatodibello.com) (Consulta 20.08.2020)

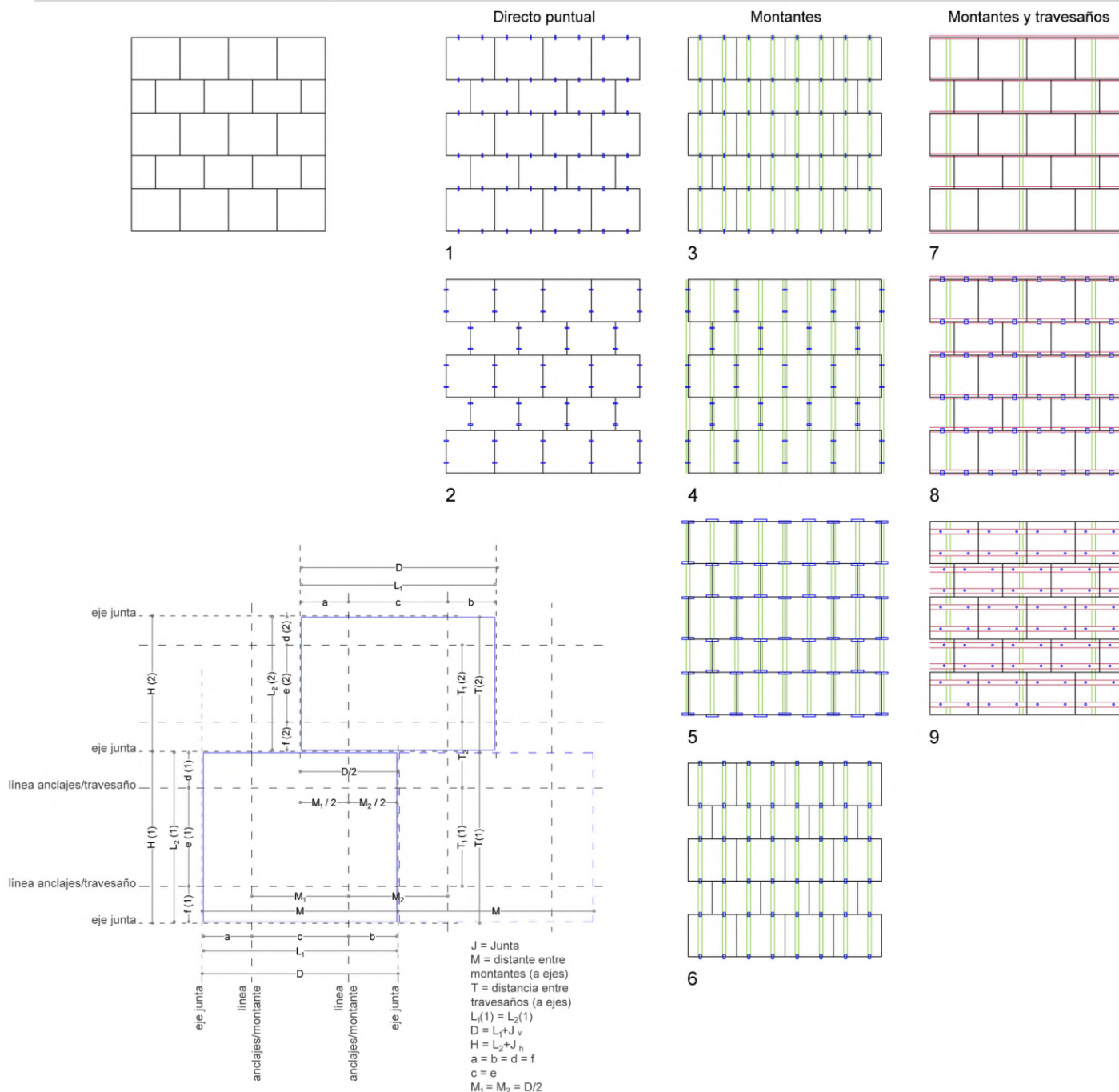
**CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE**

Tipología		Subtipo	Configuración / Formato
Singulares	Simples en un plano	4. Alusión a sillerías	A. Placas dos alturas, contrapeada a puntos medios
			B. Placas 3 formatos
		5. Bandas horizontales	A. Juntas verticales discontinuas no coincidentes
			B. Juntas verticales discontinuas con desplazamiento
			C. Juntas verticales coincidentes cada dos hiladas
		6. Bandas verticales	A. Juntas horizontales discontinuas no coincidentes
			B. Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento
			C. Juntas horizontales coincidentes cada dos hiladas
		7. Combinación	A. Combinación de varios despieces simples
		8. Patrón	A. Juntas verticales predominantes
			B. Juntas horizontales predominantes
			C. Patrón con simetría
			D. Patrón con desplazamiento
9. Inclínados	A. Rectangular más ancho que alto		



# 4A CLASIFICACIÓN: DESPIECES SIMPLES EN UN PLANO. ALUSIÓN A SILLERÍAS

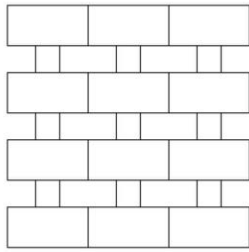
Hiladas en dos alturas alternas. Juntas horizontales continuas y verticales contrapeadas a puntos medios, encontradas cada dos hiladas.



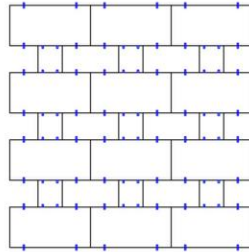
SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo				Montantes				Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv
	Aspecto	O	O	O	O	V	O	V	O	V	O	V	R
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	A	C	A	C	C	A	C	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,3,6: Anclajes a puntos medios. 3,6: Montantes y anclajes/grapas a puntos medios. 5: Utilización de grapas de inicio-fin de forma alterna. 8: Grapas equidistantes al borde de la placa. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa según hilada.											
JUSTIFICACIÓN		9: Sobredimensionado para placas pequeñas.											

# 4B CLASIFICACIÓN: DESPIECES SIMPLES EN UN PLANO. ALUSIÓN A SILLERÍAS

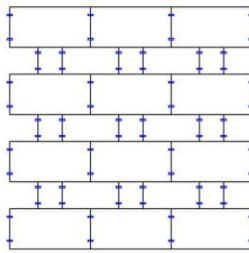
Hiladas en dos alturas alternas. Juntas horizontales continuas y verticales contrapeadas. Placas en 3 formatos.



Directo puntual



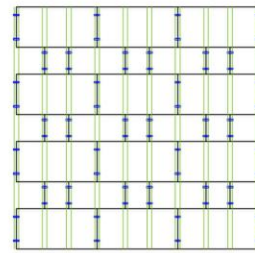
1



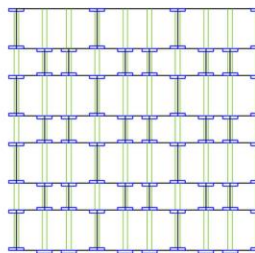
2

Montantes

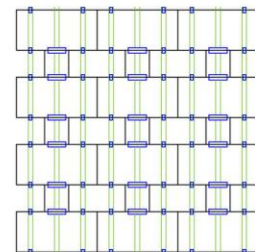
3



4



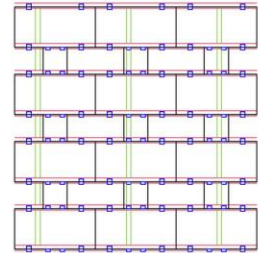
5



6

Montantes y travesaños

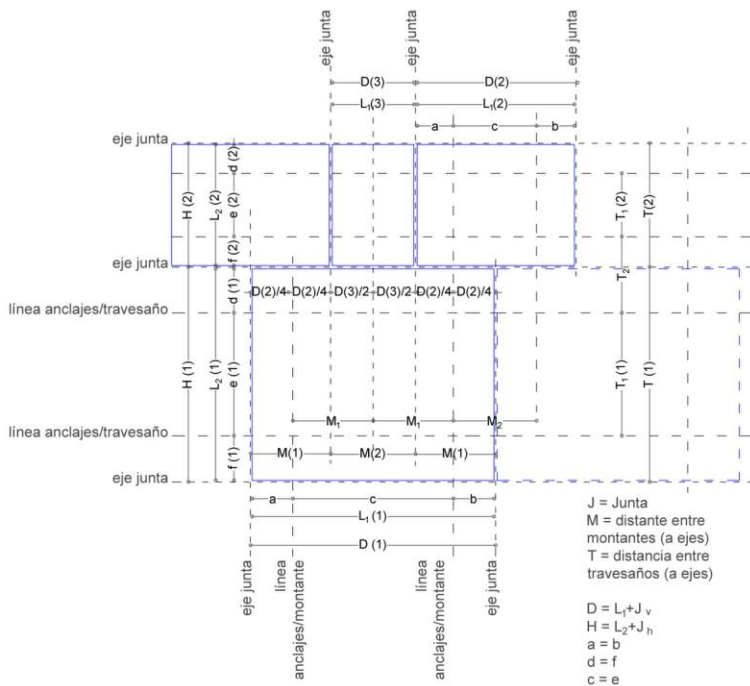
7



8



9

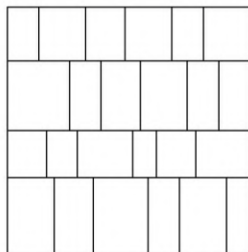


SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte a la placa	Posición Aspecto Grapa	Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
		Jh	Jv	Jh		Jv		Jh		Jh		R	
		O		O		V		O	V	O		V	
		P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9	
IDONEIDAD		C	A	NA	A	C		C	A	C	C	NA	
LEYENDA	A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.												
REQUISITOS	1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes a puntos medios + anclajes de inicio-fin en placas pequeñas. 4,5: Montantes alineados con juntas verticales. 5: Utilización de grapas de inicio-fin de forma alterna. 6: Montantes y anclajes/grapas equidistantes al borde de la placa + grapa de ancho especial para sujetas las placas pequeñas. 8: Grapas equidistantes al borde de la placa.												
JUSTIFICACIÓN	3: Montantes muy próximos, nº de montantes excesivo. 9: Sobredimensionado para placas pequeñas.												

# 5A CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS HORIZONTALES

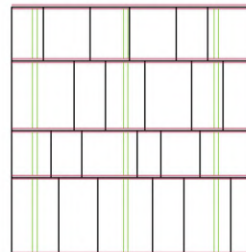
Juntas verticales discontinuas no coincidentes. Formatos variables.

Directo puntual



Montantes

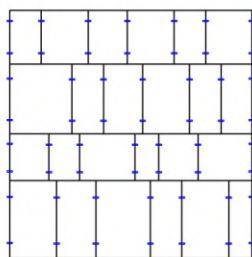
Montantes y travesaños



1

3

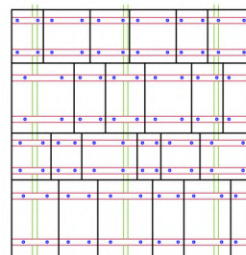
7



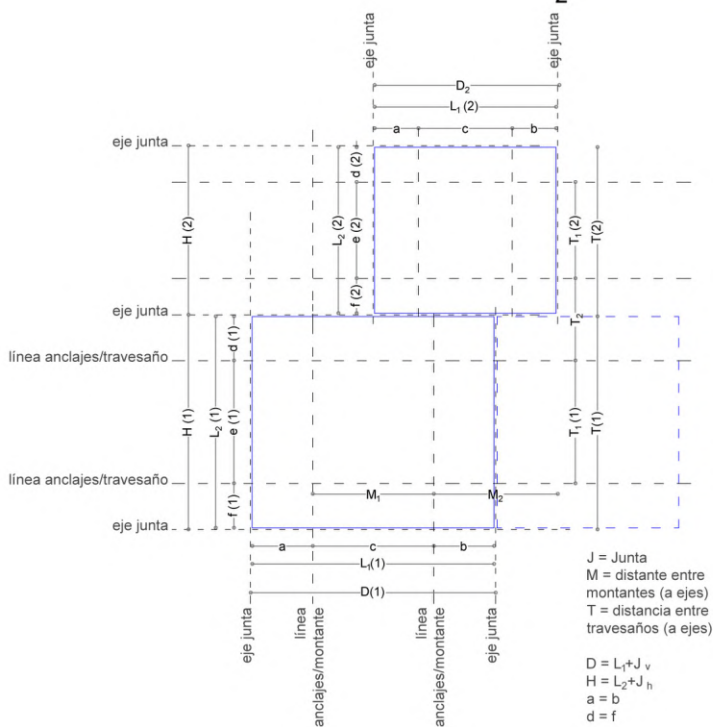
2

4

8



9



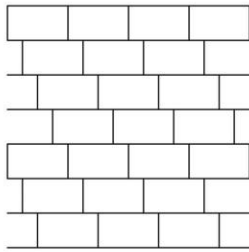
5

6

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh		R	
	Aspecto	O		O		Rd	V	O	V	O		O	
	Grapa	P	P	P	P	U	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		NA	C	NA	NA	NA		NA		C	C		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda. 7: Travesaños coincidentes con juntas horizontales según banda. 8: Travesaños coincidentes con juntas horizontales + Grapas equidistantes al borde de la placa, duplicidades de grapas de inicio-fin al no ser coincidentes. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa según banda. No recomendable si hay muchos formatos de placas.											
JUSTIFICACIÓN		1: Anclajes no alineados y multiplicidad al no ser coincidentes. 3,4,5,6: N° de montantes excesivo. 8: N° de grapas excesivo.											

# 5B CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS HORIZONTALES

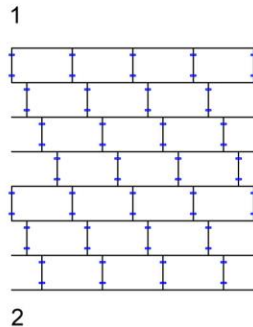
Juntas verticales discontinuas con desplazamiento.



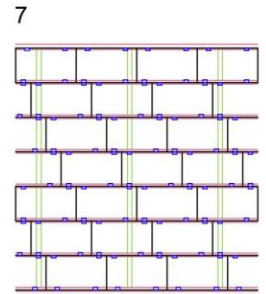
Directo puntual

Montantes

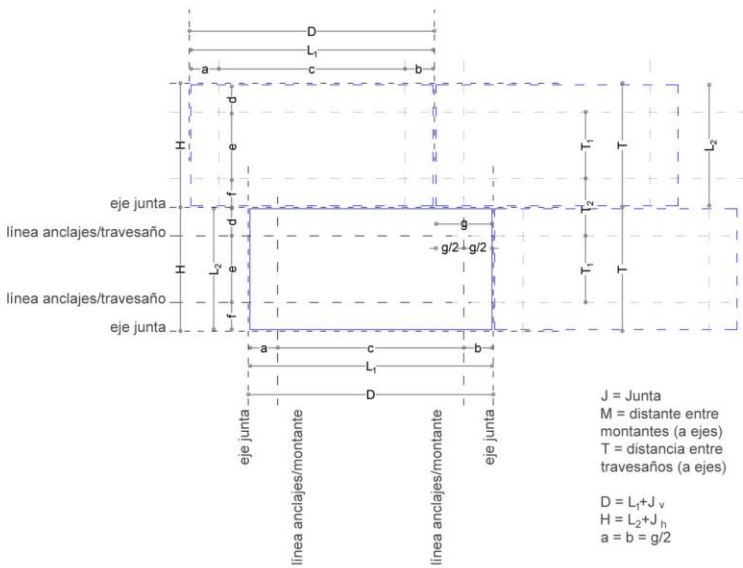
Montantes y travesaños



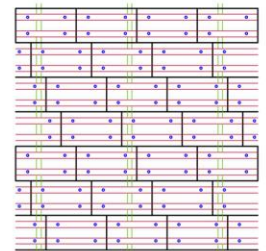
3



8



5



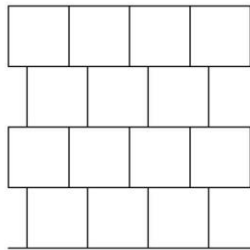
9

6

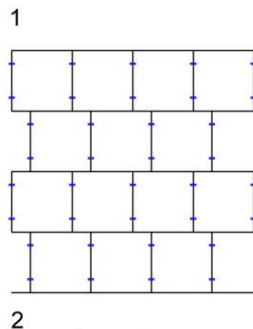
SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		R		
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9
IDONEIDAD		NA	C	NA	NA	NA		NA		A	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda, no alineados verticalmente. 8: Travesaños coincidentes con juntas horizontales + Grapas equidistantes al borde de la placa, duplicidades de grapas de inicio-fin al no ser coincidentes. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa según banda.										
JUSTIFICACIÓN		1: Anclajes no alineados y multiplicidad al no ser coincidentes. 3,4,5,6: N° de montantes excesivo.										

# 5C CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS HORIZONTALES

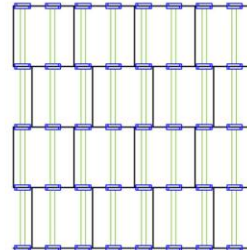
Juntas verticales discontinuas con desplazamiento, coincidentes cada dos hiladas.



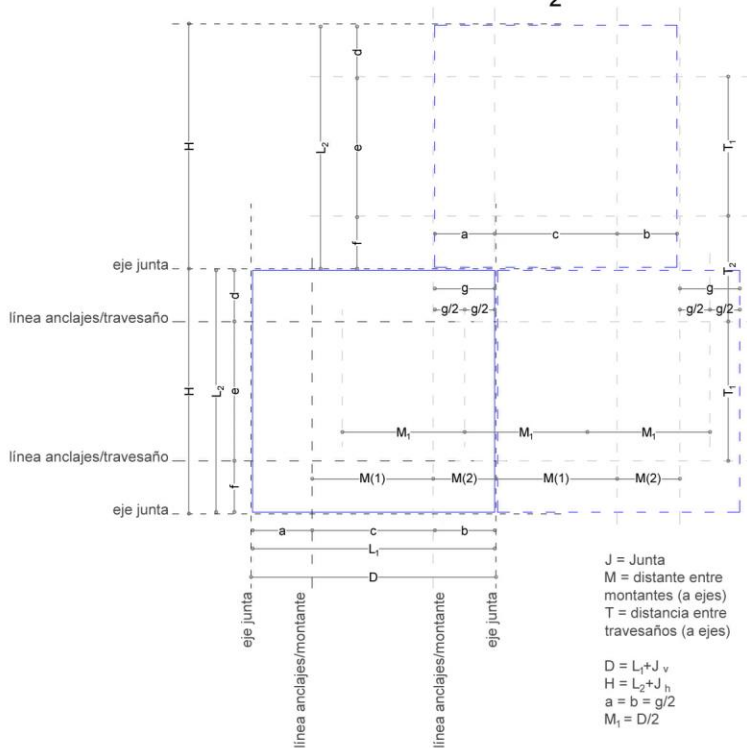
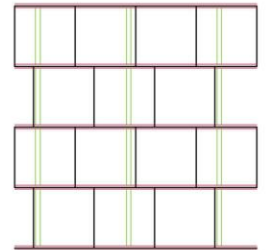
Directo puntual



Montantes



Montantes y travesaños



1

3

7

2

4

8

5

9

6

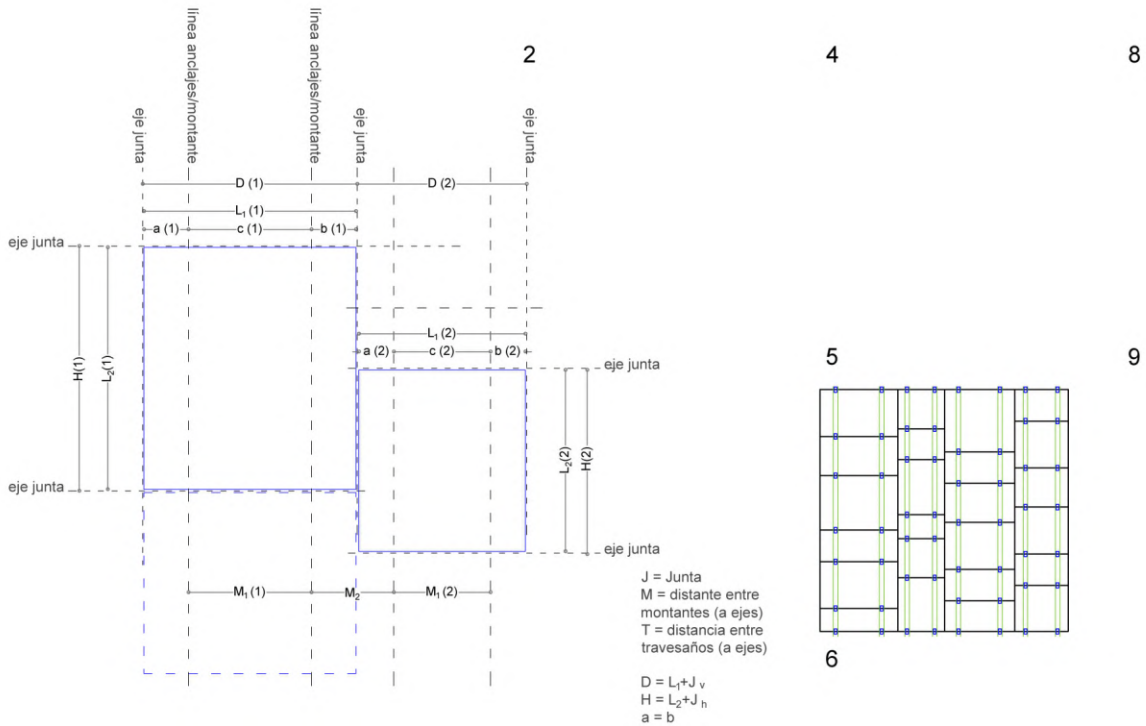
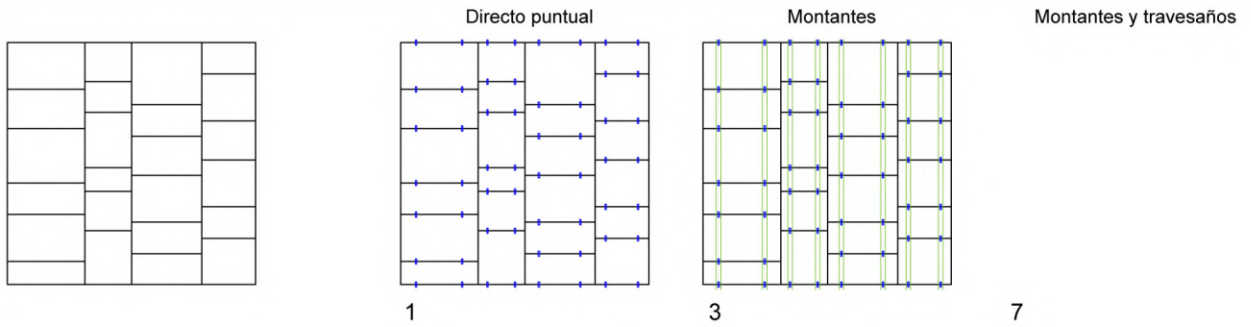
## SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS

Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh		R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
IDONEIDAD		NA	C	C	C	C	C	A	C	C		
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda, alineados en bandas alternas. 3,6: Montantes equidistantes al borde de las placas + Grapas de carga y retención asimétricas. 4: Montantes alineados con juntas verticales. 5: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas de inicio-fin de forma alterna. 8: Travesaños coincidentes con juntas horizontales + Grapas de carga y retención asimétricas. 9: Travesaños equidistantes al borde de la placa según banda.										
JUSTIFICACIÓN		1: Anclajes no alineados y multiplicidad al no ser coincidentes.										



# 6A CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS VERTICALES

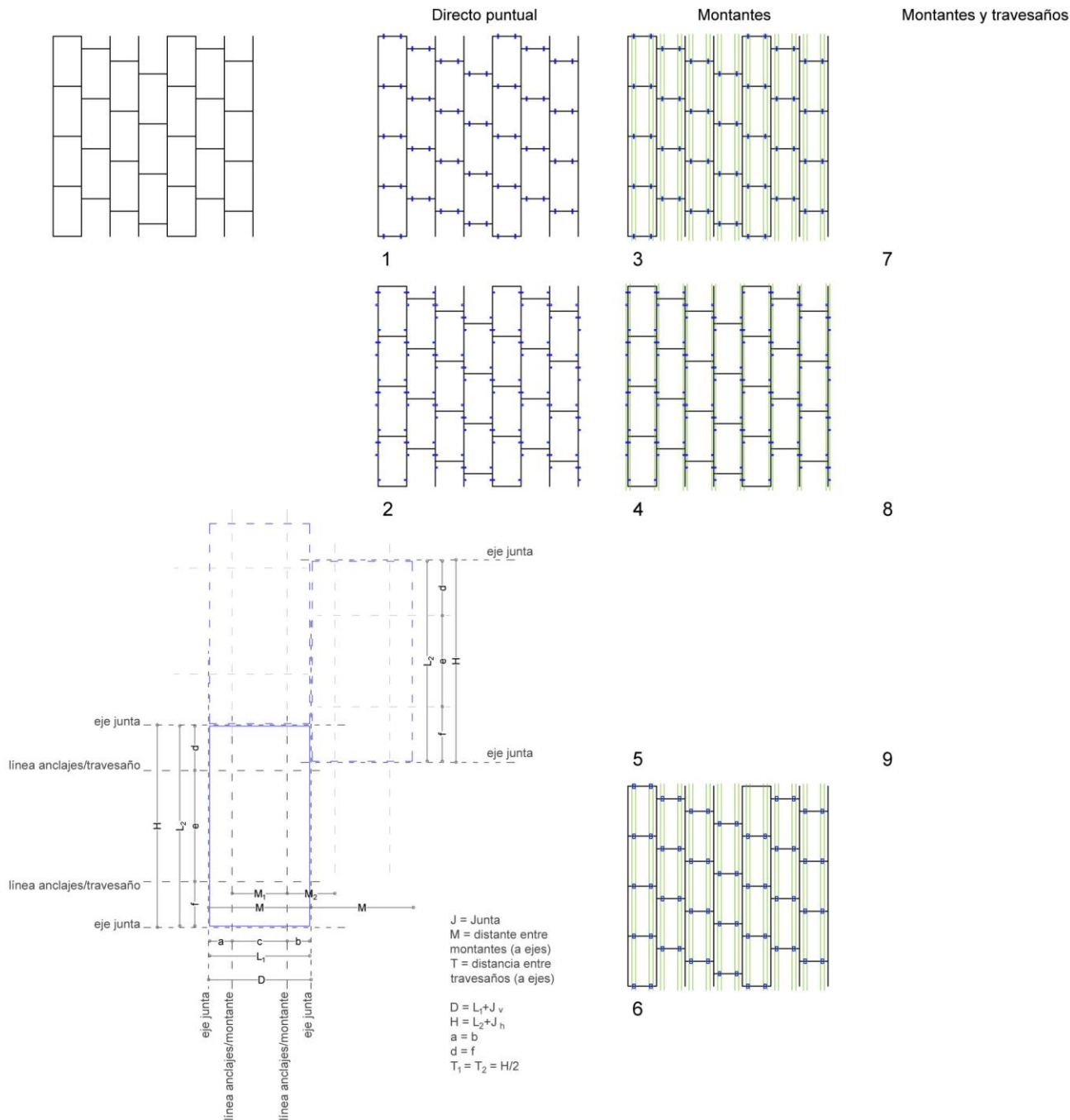
Juntas horizontales discontinuas no coincidentes. Formatos variables.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh	V	R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	
Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9
IDONEIDAD		C	NA	NA	NA	NA		NA		C	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda. 3: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda. 6: Montantes y grapas equidistantes al borde de la placa según banda.										
JUSTIFICACIÓN		2,4: Anclajes/Grapas no alineados y multiplicidad al no ser coincidentes. 4,5,7,8,9: Sistema no compatible.										

## 6B CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS VERTICALES

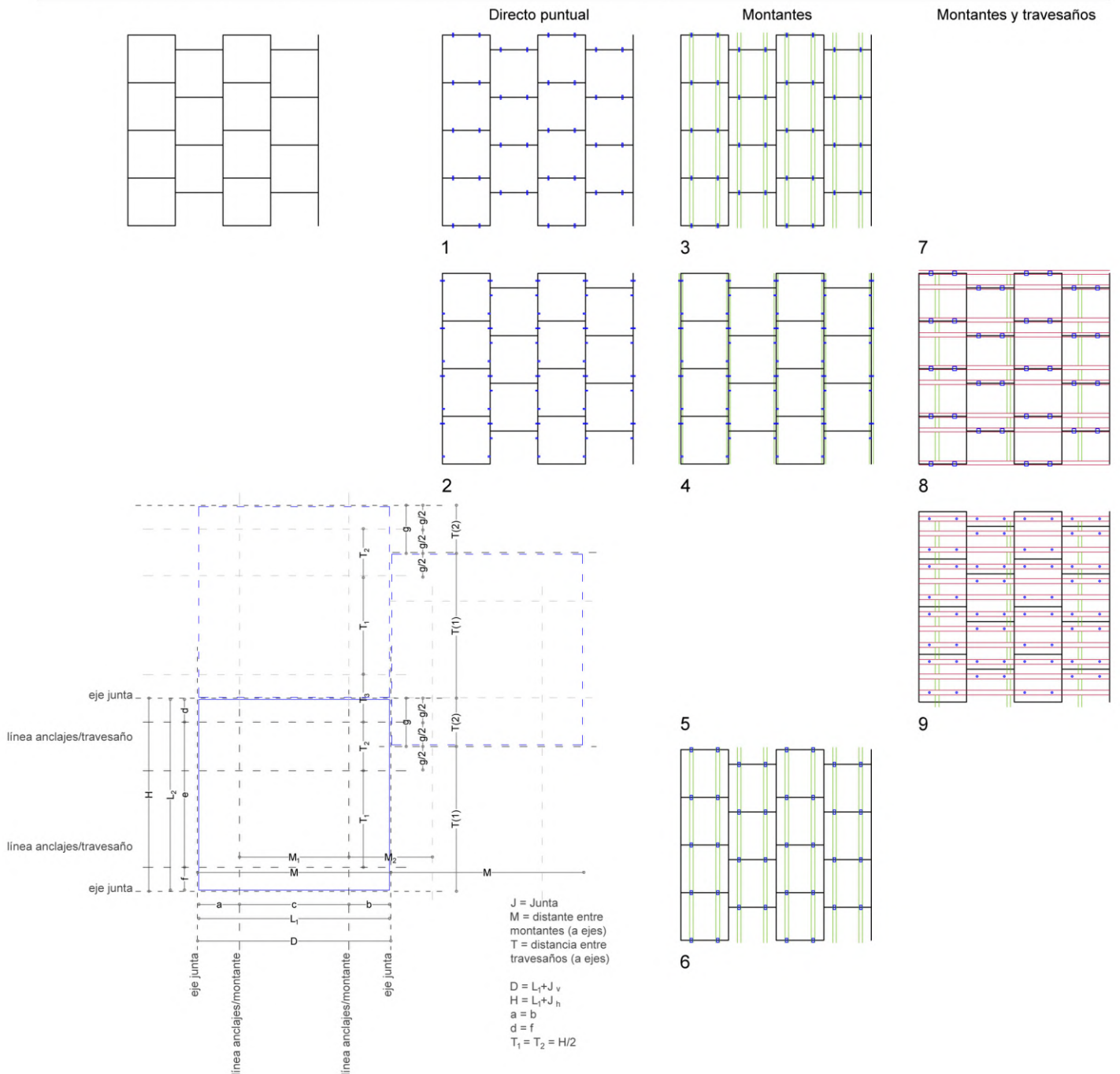
Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños		
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	D	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5			6	7	8	9
IDONEIDAD		C	C	C	C	NA			C	NA	NA	NA
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes al borde de la placa, no alineados horizontalmente. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas. 3,6: Montantes equidistantes al borde de la placa según banda, No recomendable para placas de poca anchura. 2: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas equidistantes al borde, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas.										
JUSTIFICACIÓN		5, 7,8,9: Sistema no compatible.										

# 6C CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. BANDAS VERTICALES

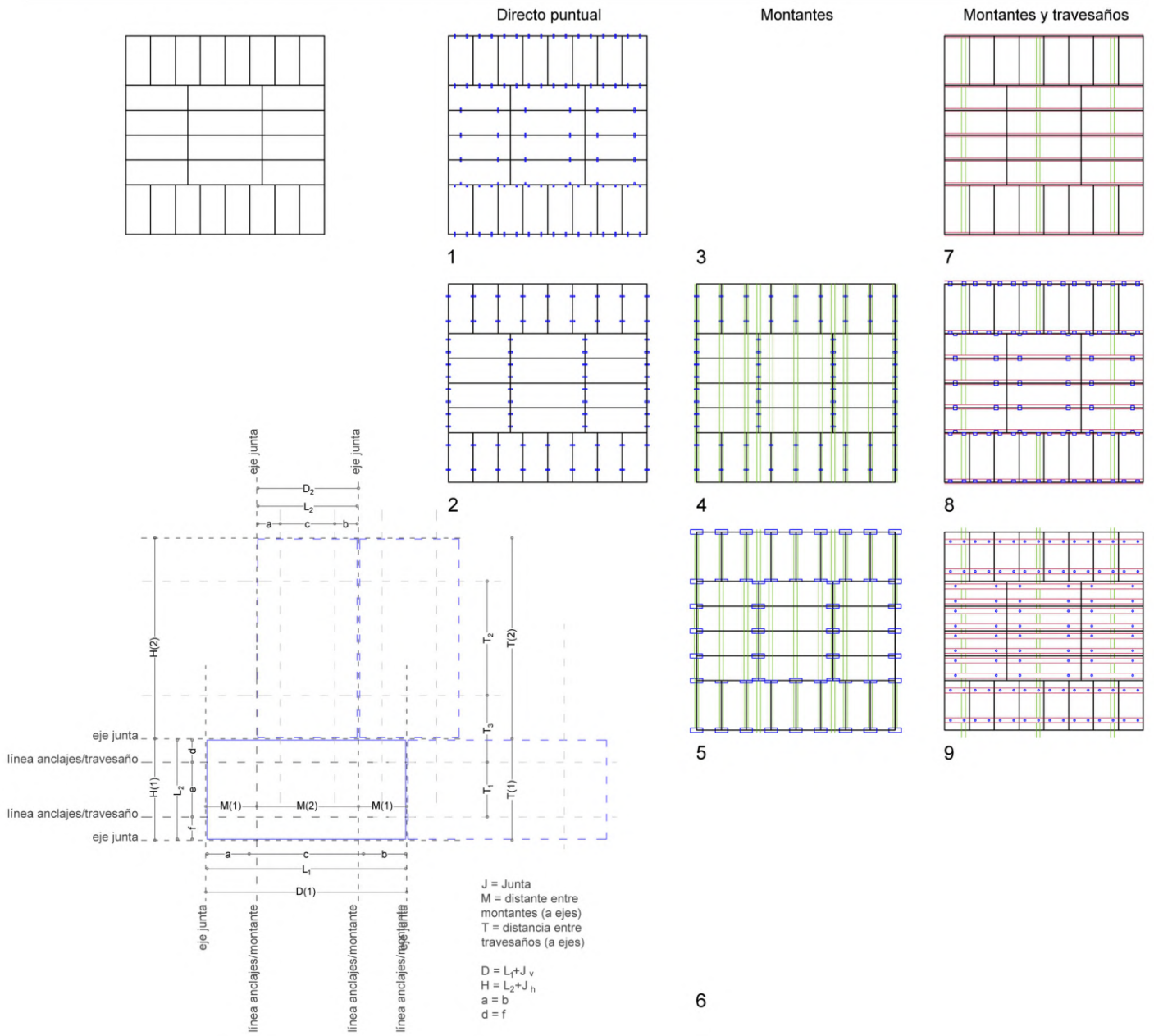
Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento, coincidentes cada dos hiladas.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	O	V	Ra	U	Jh	V	R
	Aspecto	O		O					O	V	O	V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U		Rc	Ra	U		D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	NA	C	C	NA	C	NA	C	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes según banda. 3,6: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde según banda. No recomendable para placas de poca anchura. 4: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales + Grapas equidistantes según banda. Opción de utilizar un único travesaños y grapas de descuelgue. 9: Travesaños equidistantes al borde de las placas.											
JUSTIFICACIÓN		2: Multiplicidad de anclajes. 5,8: Sistema no compatible											

# 7 CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. COMBINACIÓN

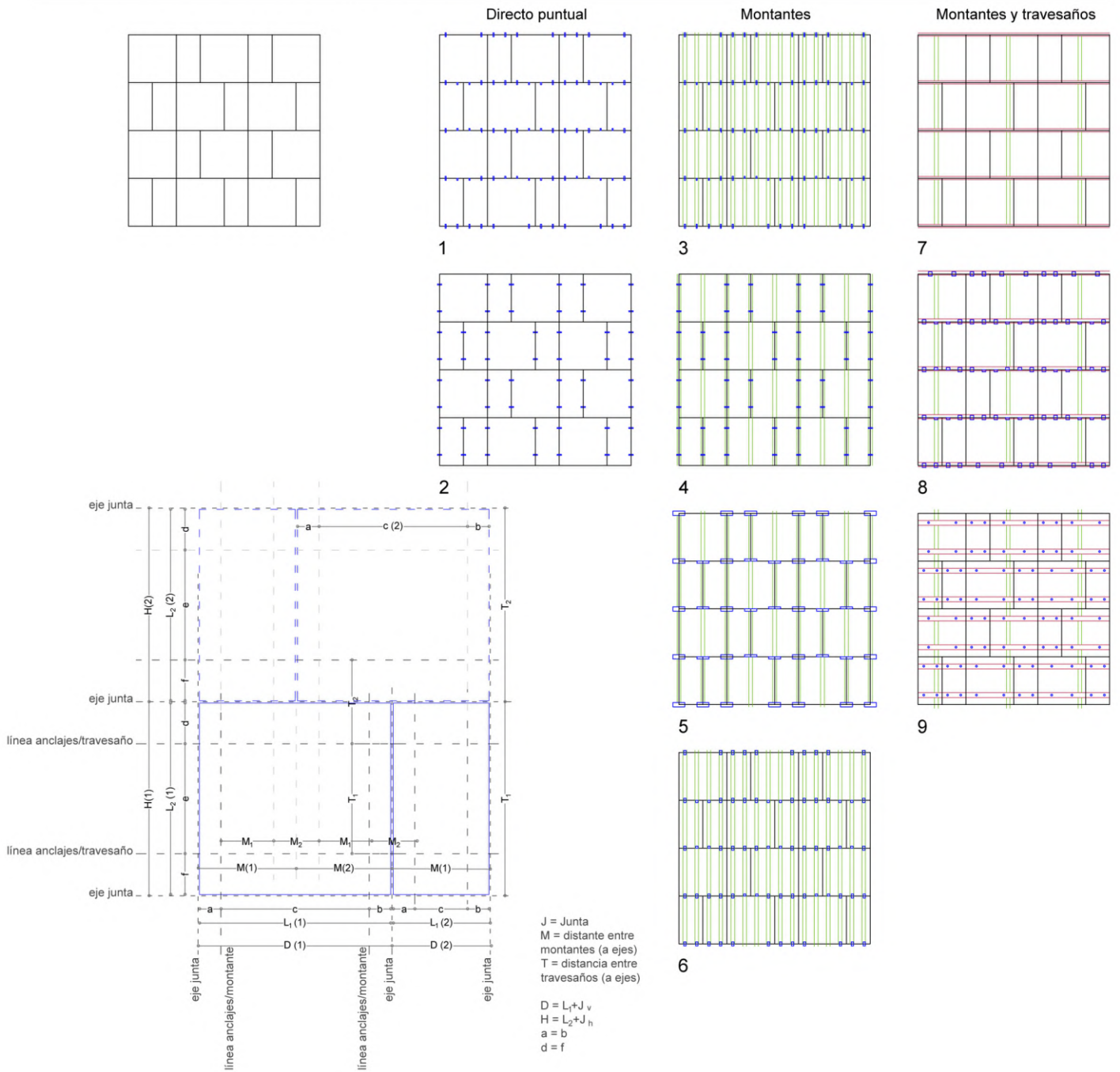
Combinación de varios despieces convencionales o simples



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo				Montantes				Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9	
IDONEIDAD		C	C	NA	C	C		NA		C	C	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes al borde según placa + Anclajes inicio-fin. 2: Anclajes equidistantes al borde según placa. 4: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas equidistantes al borde según placa. 5: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas a ejes + Grapas de inicio-fin. 7: Travesaños coincidentes con juntas horizontales. 8: Travesaños coincidentes con juntas horizontales + Grapas equidistantes + Grapas de inicio-fin. 9: Travesaños equidistantes a los bordes de las placas según banda.											
JUSTIFICACIÓN		3, 6: Multiplicidad de montantes.											

# 8A CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. PATRÓN

Patrón con juntas horizontales continuas predominantes

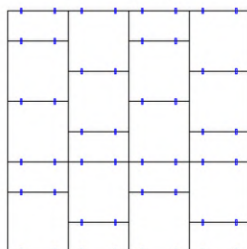
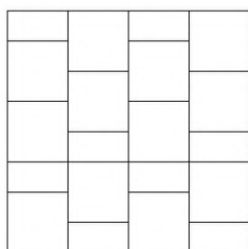


SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes					Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
IDONEIDAD		C	C	C	C	C	C	C	C	C		
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes al borde de la placa + Anclajes de inicio-fin. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa según banda. 3,6: Montantes equidistantes + Grapas equidistantes + Grapas de inicio-fin. No recomendable con placas de poca anchura. 4: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas equidistantes al borde de la placa según banda. 5: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas a ejes + Grapas de inicio-fin. 7: Travesaños alineados con juntas horizontales según banda. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales según banda + Grapas equidistantes al borde de la placa + Grapas de inicio-fin. 9: Travesaños equidistantes al borde de las placas según banda.										

# 8B CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. PATRÓN

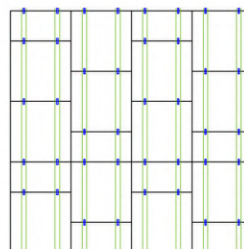
Patrón con juntas verticales continuas predominantes.

Directo puntual



1

Montantes



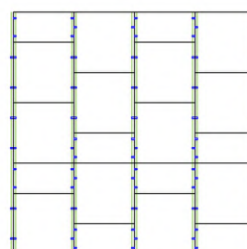
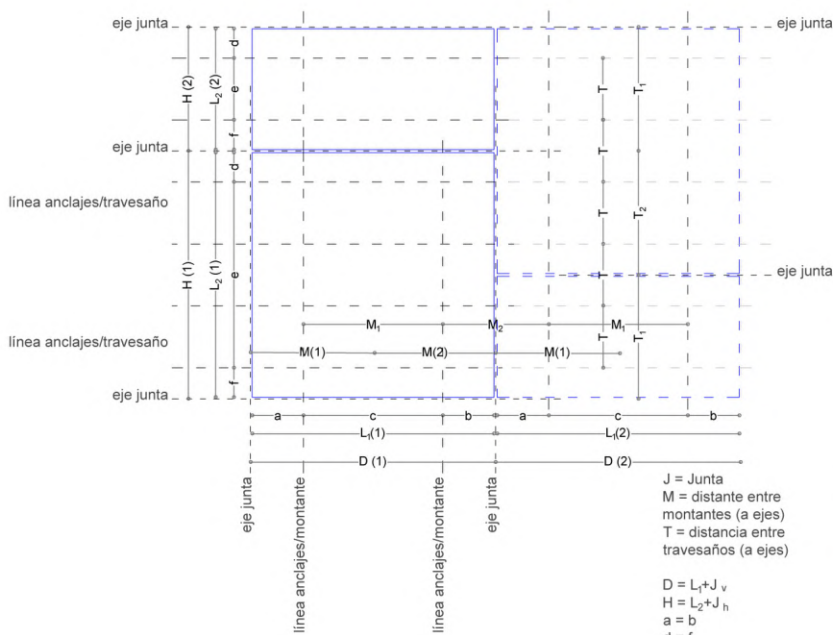
3

Montantes y travesaños

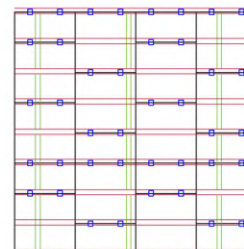


7

2



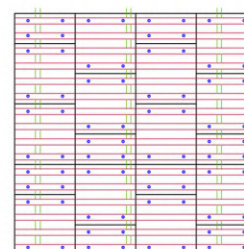
4



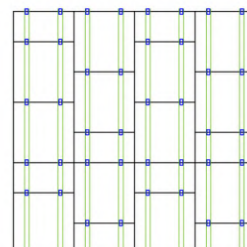
8



5



9

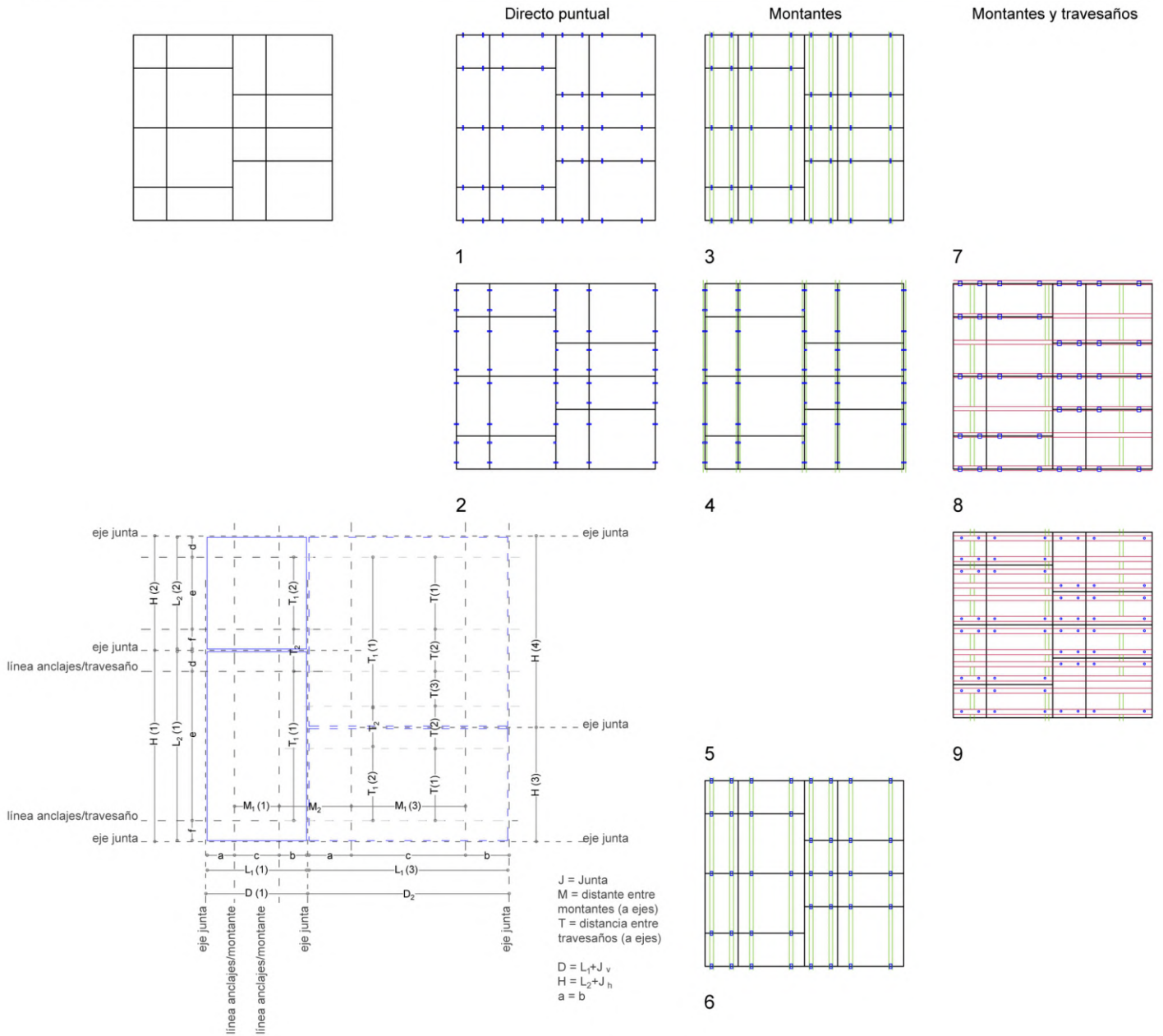


6

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes					Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5			6	7	8	9
IDONEIDAD		C	NA	C	C	NA			C	NA	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes según banda. 3,6: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde según banda. No recomendable para placas de poca anchura. 4: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales + Grapas equidistantes según banda. 9: Travesaños equidistantes al borde de las placas.										
JUSTIFICACIÓN		2: Multiplicidad de anclajes. 5,7: Sistema no compatible										

# 8C CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. PATRÓN

Patrón con simetría.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS															
Unión al soporte	Directo		Montantes					Montantes + travesaños							
	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh			R				
Unión a la placa	Posición		O		O			O			O				
	P	P	P	P	Rd	V	U	Ra	V	U	Rc	Ra	V	U	O
Grapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
SOLUCIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
IDONEIDAD	C	C	C	C	NA	C	NA	C	C						
LEYENDA	A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.														
REQUISITOS	1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes equidistantes según banda. 2: Anclajes equidistantes + Duplicidad de anclajes al no ser coincidentes. 3,6: Montantes equidistantes al borde de la placa según banda + Grapas equidistantes al borde según banda. 4: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales + Grapas equidistantes según banda. 9: Travesaños equidistantes al borde de las placas.														
JUSTIFICACIÓN	5,7: Sistema no compatible														

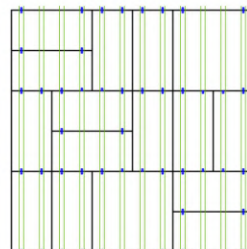
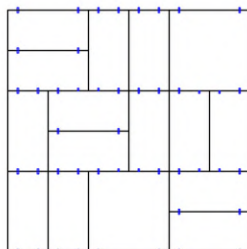
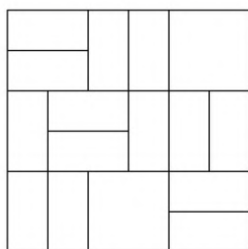
# 8D CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. PATRÓN

Patrón con desplazamiento.

Directo puntual

Montantes

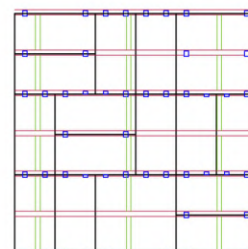
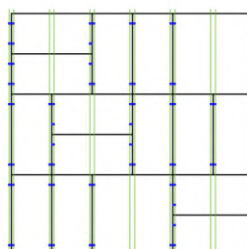
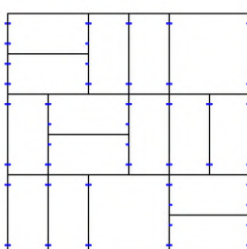
Montantes y travesaños



1

3

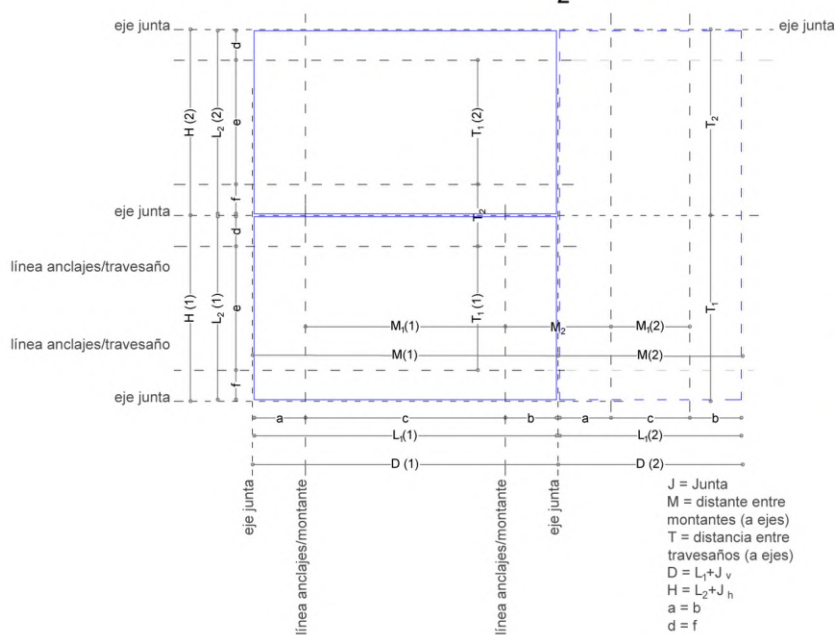
7



2

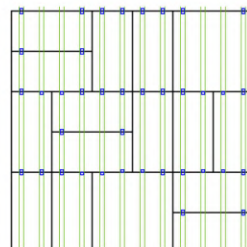
4

8



5

9



6

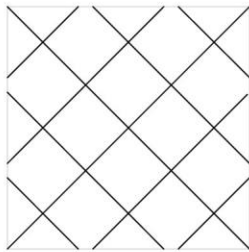
SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		C	C	C	C	NA		C		NA	NA		NA
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1,2: Anclajes equidistantes + Duplicidad de anclajes al no ser coincidentes. 3,6: Montantes equidistantes al borde de la placa según banda + Grapas equidistantes al borde según banda. 4: Montantes alineados con juntas verticales según banda + Grapas equidistantes al borde, duplicidades de grapas de carga y retención al no ser coincidentes las placas. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales + Grapas equidistantes según banda. 9: Travesaños equidistantes al borde de las placas.											
JUSTIFICACIÓN		5,7: sistema no compatible.											



## 9 CLASIFICACIÓN: SIMPLES EN UN PLANO. INCLINADOS

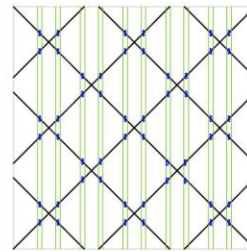
Juntas continuas. Formato de placas cuadrado.

Directo puntual



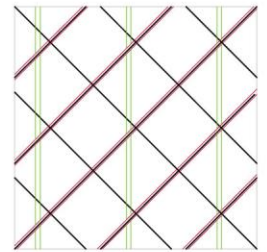
1

Montantes

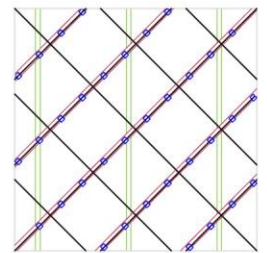


3

Montantes y travesaños

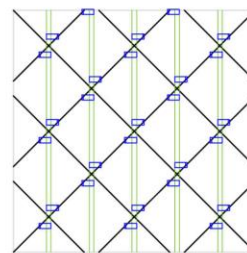


7

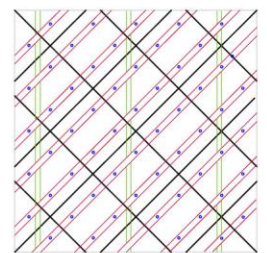


8

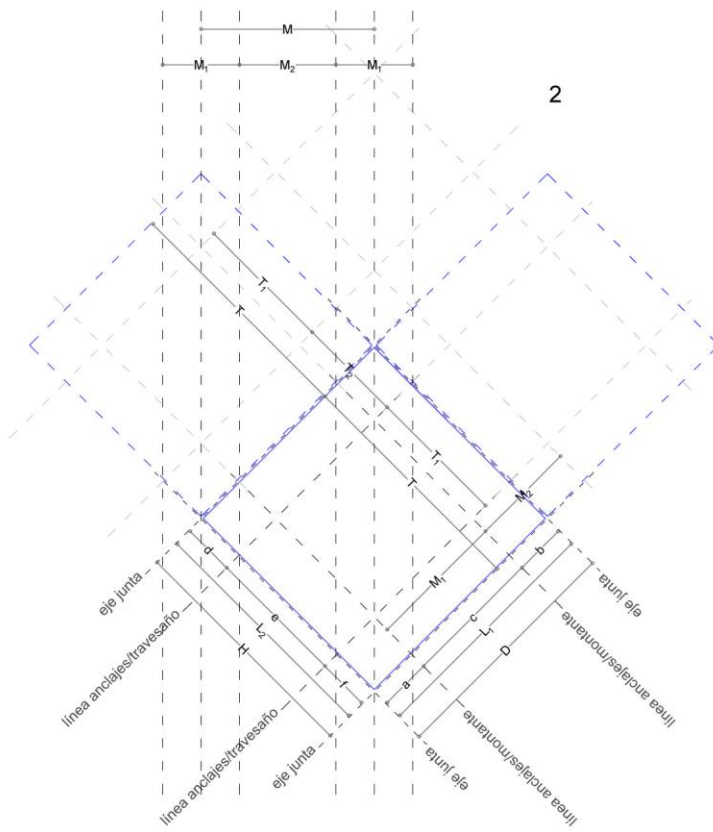
4



5



9



2

J = Junta  
M = distante entre montantes (a ejes)  
T = distancia entre travesaños (a ejes)  
L<sub>1</sub> = L<sub>2</sub>  
D = L<sub>1</sub> + J<sub>v</sub>  
H = L<sub>2</sub> + J<sub>h</sub>  
a = b = d = f  
c = e

6

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS														
Unión al soporte		Directo				Montantes				Montantes + travesaños				
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	O	V	Ra	U	Rc	Ra	U	R
	Aspecto	O				O				O				O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D	
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6		7	8	9			
IDONEIDAD		NA	NA	C	NA	C	NA		C	C	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.												
REQUISITOS		3: Montantes equidistantes a ejes verticales. 3: Montantes equidistantes a ejes verticales + Grapas en vuelo. 7: Travesaños alineados con juntas inclinadas, según banda. 8: Travesaños alineados con juntas inclinadas, según banda + Grapas equidistantes. 9: Travesaños equidistantes a los bordes de las placas.												
JUSTIFICACIÓN		1,2,4,6: Sistema no compatible.												

		4A	4B	5A	5B	5C	6A	6B	6C	7	8A	8B	8C	8D	9	
TIPOLOGÍA: DESPIECES SIMPLES EN UN PLANO																
Directo regulable	Puntual															
	Bulón en junta vertical															
Mediante subestructura regulable	Montantes	Bulón en junta horizontal														
		Bulón en junta vertical														
	Grapa en ranura discontinua															
	Grapa en ranura aislada / Uñeta vista															
Montantes y travesaños	Perfil horizontal en junta continua															
	Grapas en ranura aislada															
	Destalonado de fondo															

INTERPRETACIÓN DE SOLUCIONES ADMITIDAS PARA CONFIGURAR EL DESPIECE

SISTEMA APTO

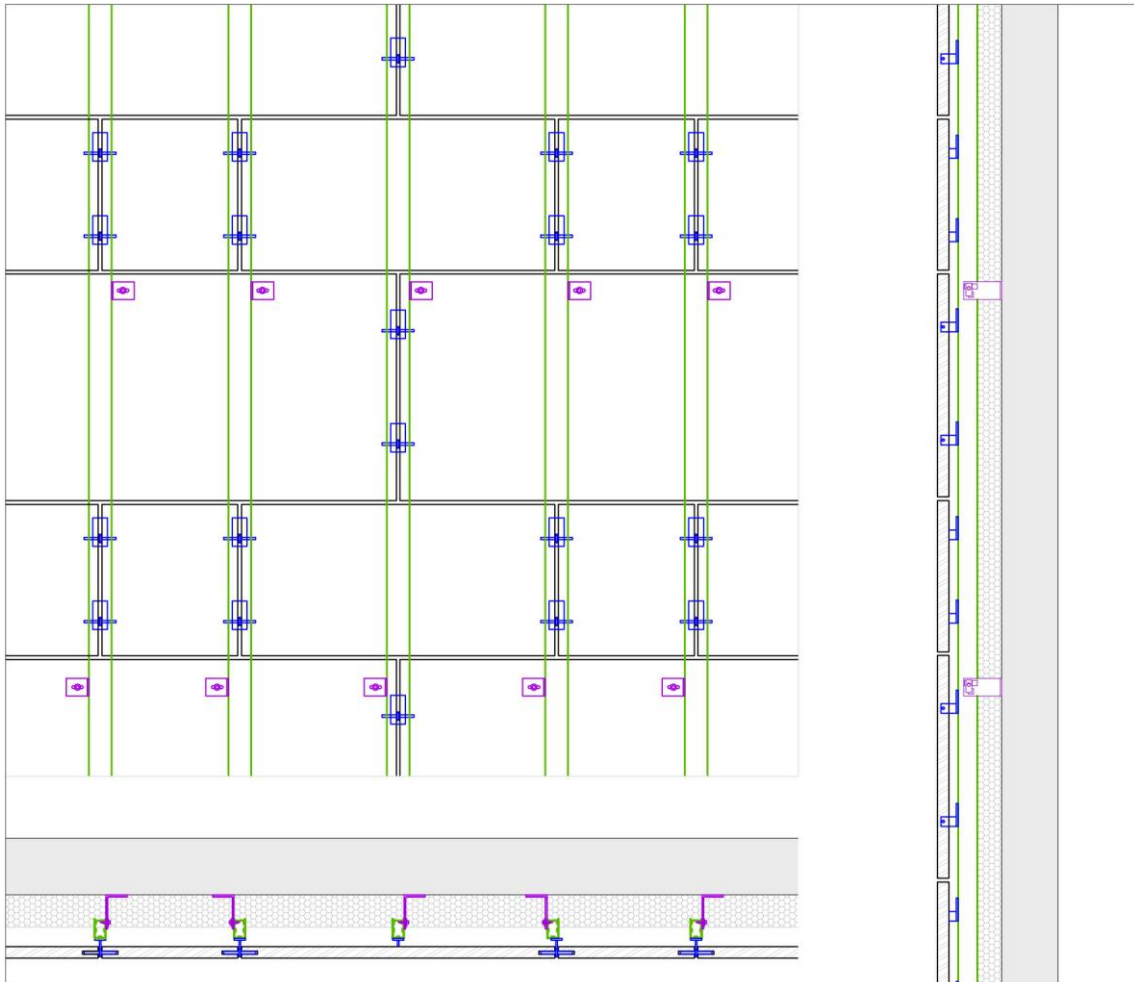
SISTEMA CONDICIONADO

SISTEMA NO APTO (no dibujado)

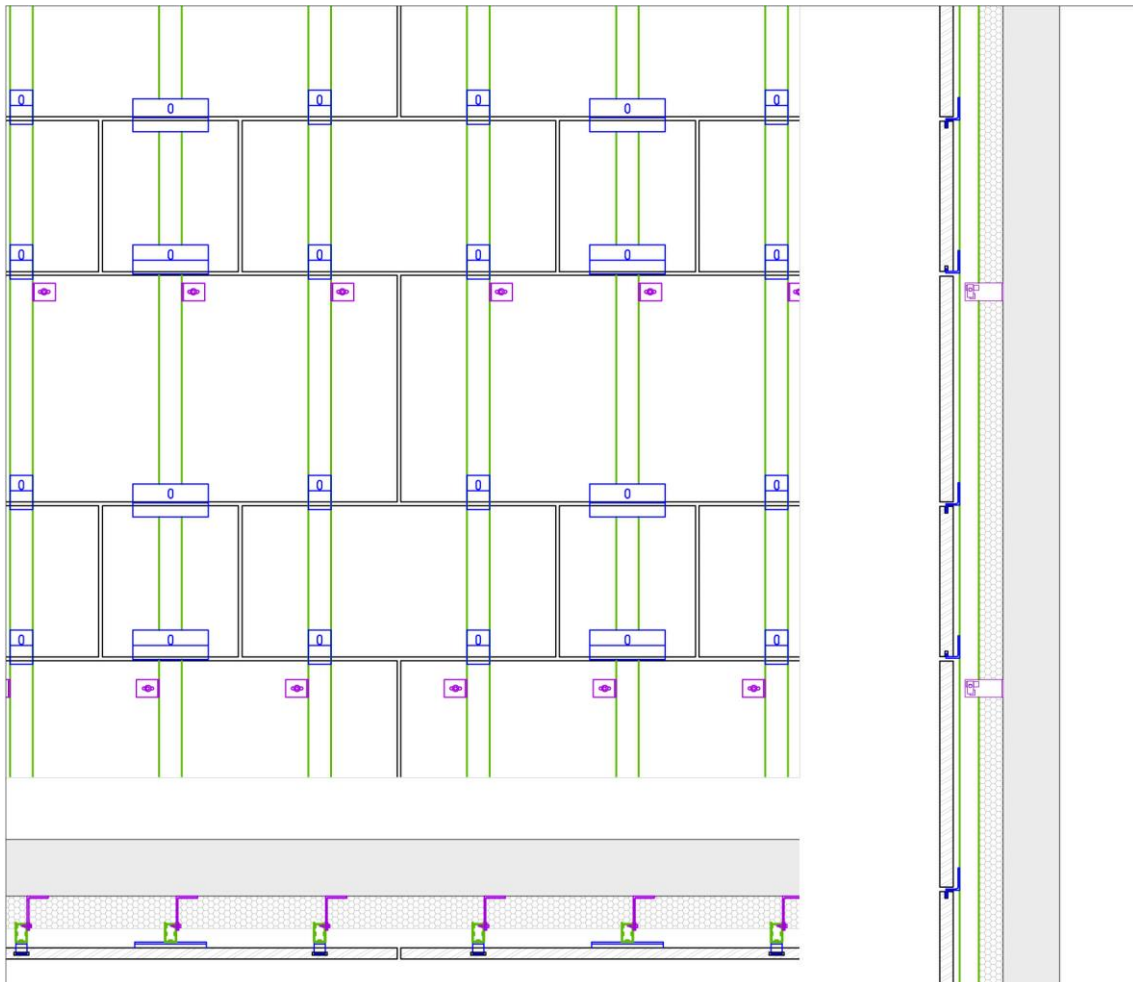
## SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En este apartado se representan y ejemplifican, a mayor escala, varias estrategias de configuración para resolver alguno de los despieces analizados.

### ALUSIÓN A SILLERÍAS



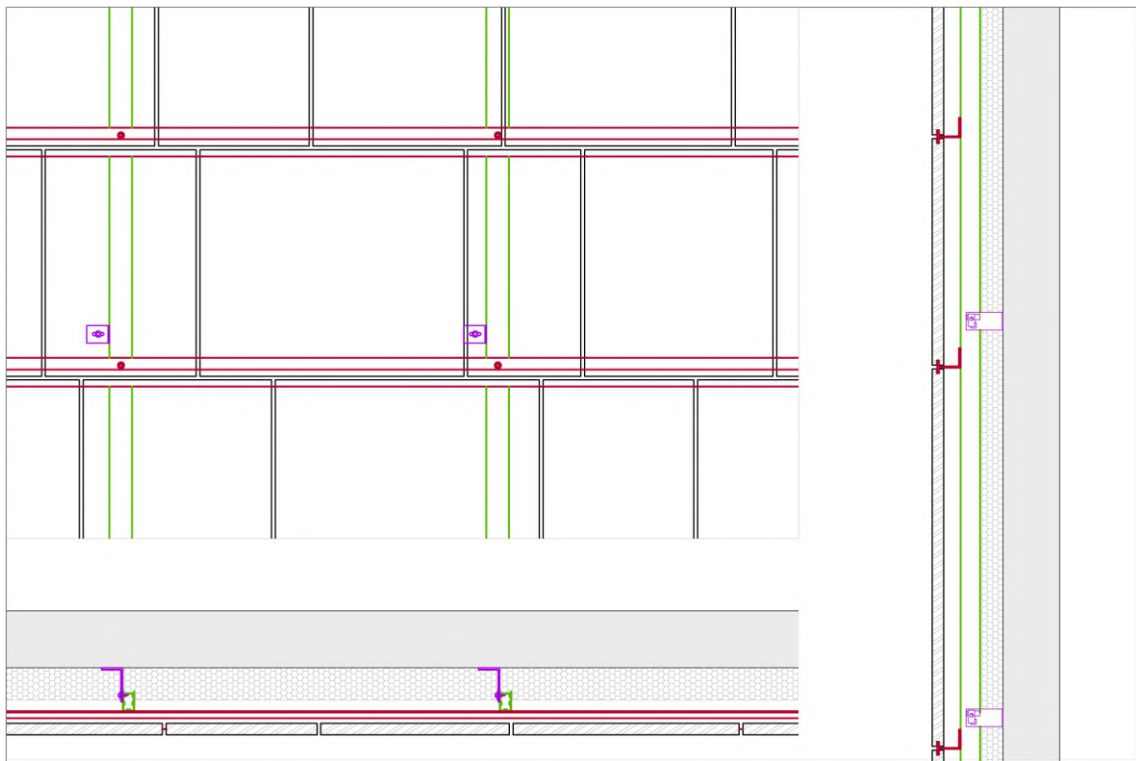
Despiece 4B, Solución 5. Hiladas en dos alturas. Juntas horizontales continuas y juntas verticales contrapeadas. Placas en 3 formatos. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilería de montantes alineados con las juntas verticales del despiece. Placas fijadas con 4 grapas de pivote lateral en las juntas verticales, unidas a los montantes. Las grapas inferiores son de carga y las superiores de retención.



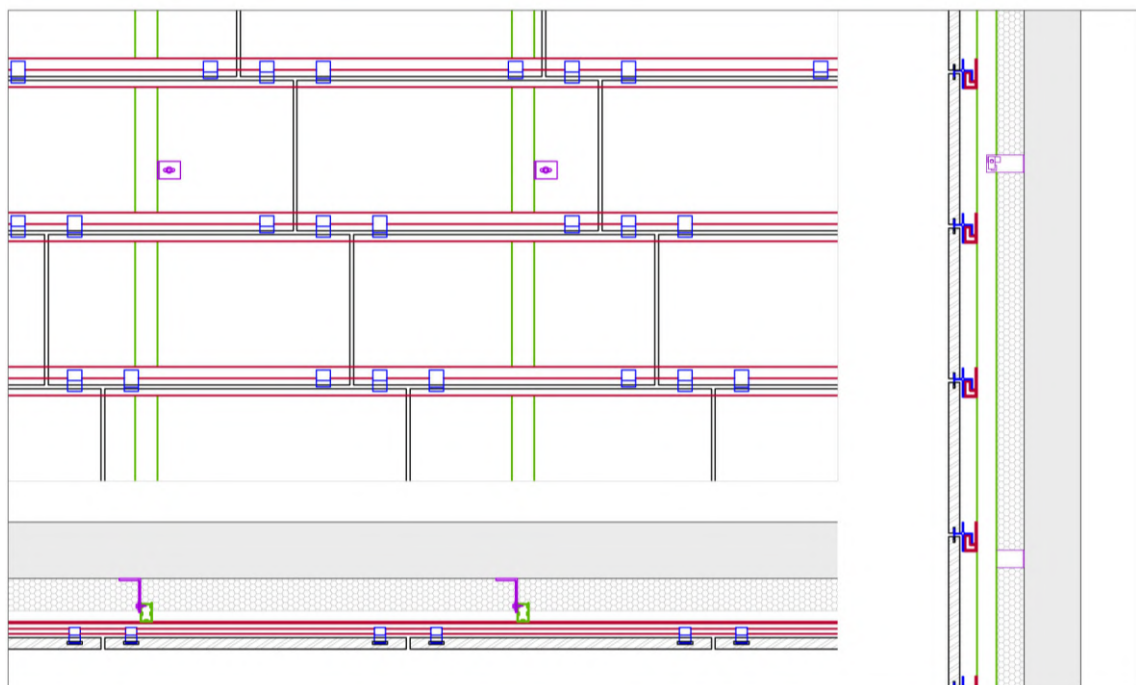
Despiece 4B, Solución 5. Hiladas en dos alturas. Juntas horizontales continuas y juntas verticales contrapeadas. Placas en 3 formatos. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilería de montantes ubicados a puntos medios entre juntas verticales. Las placas de mayores dimensiones se fijan mediante 4 grapas de ranura puntual de continuación, ubicadas en las juntas horizontales. Las grapas inferiores son de carga y las superiores de retención.

Las placas con poco canto se pueden fijar con dos únicas grapas de ranura, una inferior de carga y una superior de retención. Estas grapas tienen configuración de inicio y fin. La dimensión de la grapa de ranura dependerá de la dimensión de la placa, de tal manera que el apoyo sea estable.

BANDAS HORIZONTALES

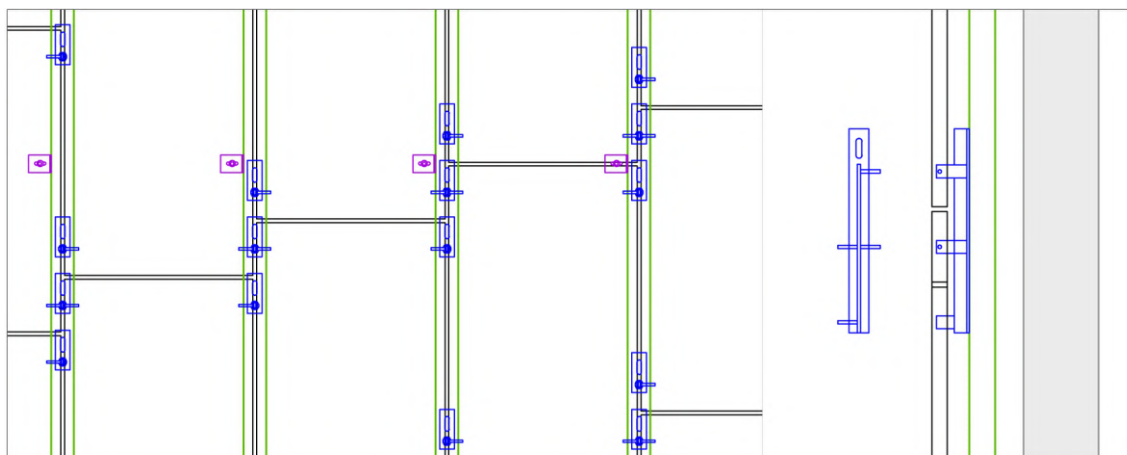


Despiece 5A, Solución 7. Juntas verticales discontinuas no coincidentes. Formatos variables. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilera de montantes equidistantes y travesaños alineados con las juntas horizontales del despiece. Las placas se fijan a los travesaños con apoyo continuo. Cada travesaño actúa como elemento de carga de las placas superiores y retención de las inferiores.

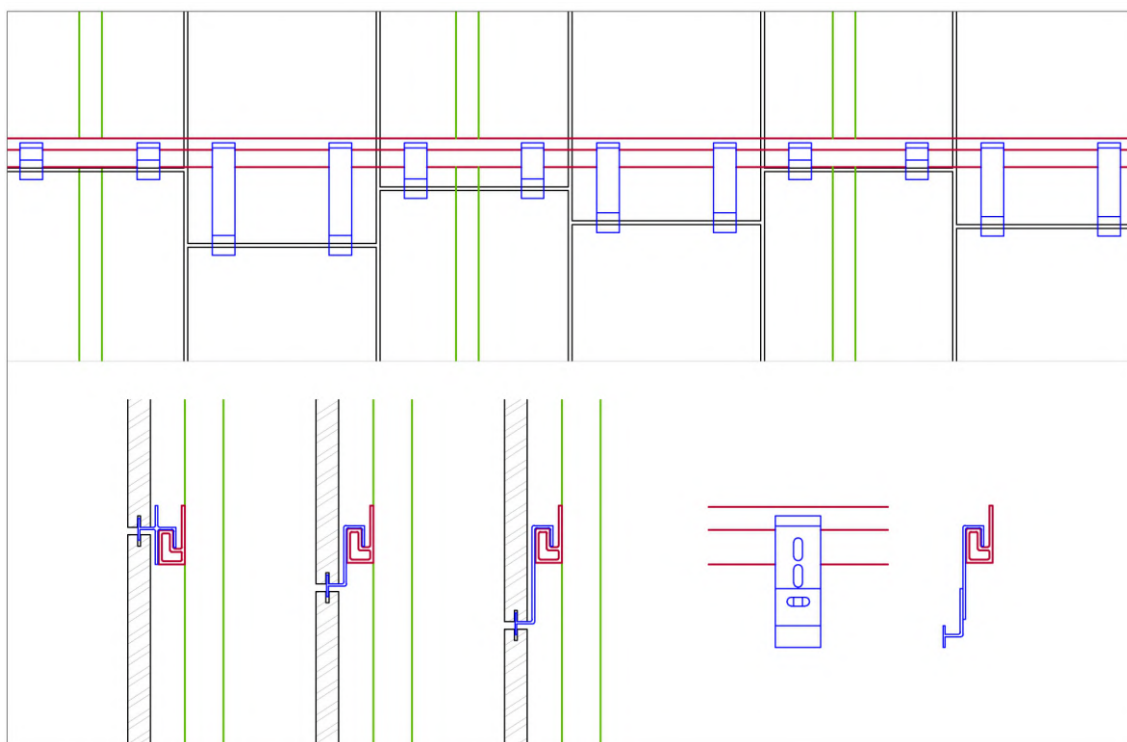


Despiece 5B, Solución 8. Juntas verticales discontinuas con desplazamiento. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilera de montantes equidistantes y travesaños alineados con las juntas horizontales del despiece. Las placas se fijan a los travesaños mediante 4 grapas de ranura discontinua en las juntas horizontales, siendo las inferiores de carga y las superiores de retención. Se combinan grapas de continuación y grapas de inicio o fin.

## BANDAS VERTICALES

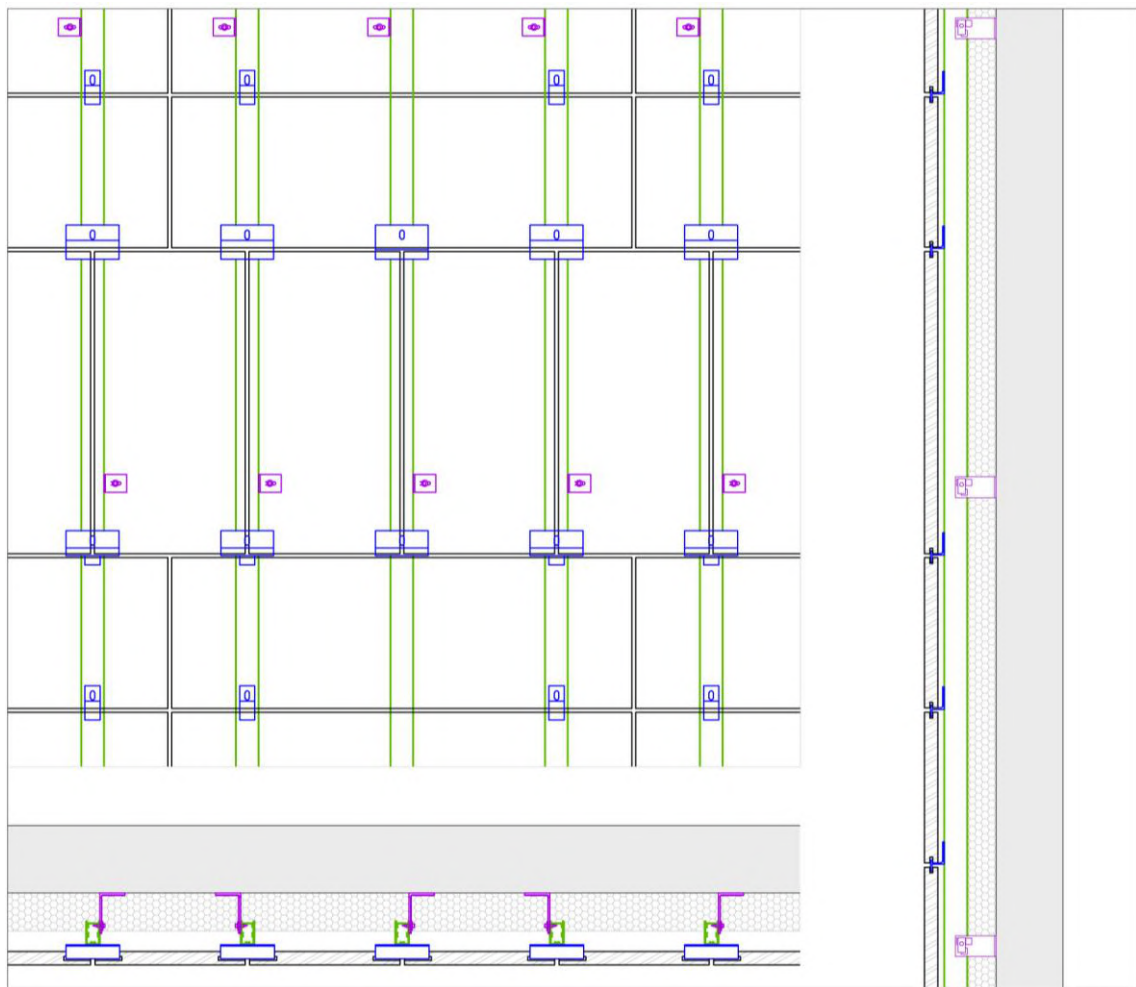


Despiece 6B, Solución 4. Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilera de montantes alineados con las juntas verticales del despiece. Las placas se fijan mediante 4 grapas de pivote lateral, siendo las inferiores de carga y las superiores de retención. Para asegurar la posición simétrica de las grapas se combinan grapas de continuación con grapas de remate lateral. Se puede utilizar una única grapa de pletina que incorpore varios pivotes laterales para la fijación de las placas. Para que este sistema se adapte a varias dimensiones la pletina contaría con una serie de ranuras de tal manera que se pueda ajustar la posición del bulón horizontal en la posición deseada.



Despiece 6C, Solución 4. Juntas horizontales discontinuas con desplazamiento. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilera de montantes equidistantes y travesaños alineados con una junta horizontal. Las placas se fijan mediante 4 grapas de descuelgo de ranura puntual ubicadas en las juntas horizontales con las juntas verticales del despiece. Las grapas inferiores son de carga y las superiores de retención. Esta solución se puede desarrollar, de tal manera que disponiendo de grapas de alturas diferentes se puede jugar con la posición de las juntas horizontales, de tal manera que con un único travesaño se podría resolver la posición de placas a varias alturas dando más libertad compositiva en cuanto al desplazamiento de las juntas.

## DESPIECES CON COMBINACIONES



Despiece 7, Solución 5-6. Despiece combinado compuesto por secciones de placas en posición horizontal y secciones de placas en posición vertical, manteniendo las juntas verticales contrapeadas. Resuelto con subsistema de anclaje mediante perfilería de montantes ubicados alineados con las juntas verticales de las placas verticales. Estas placas se fijan a los montantes mediante 4 grapas de ranura discontinua, ubicadas en las juntas horizontales, siendo las inferiores de carga y las superiores de retención. Las horizontales se fijan mediante 4 grapas de ranura puntual ubicadas en las juntas horizontales. Se combinan grapas de continuación con grapas de inicio o fin.

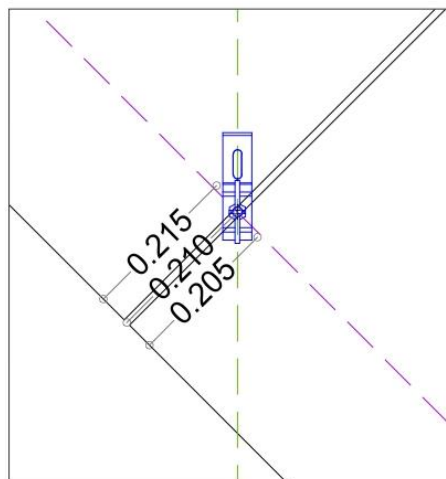
## DESPIECES INCLINADOS

Los despieces inclinados son complejos de resolver. No es una configuración recomendable al ubicarse las placas de piedra en una posición inclinada, aunque se puede resolver con un sistema a base de montantes o de montantes y travesaños. Las soluciones con anclajes puntuales directos no se utilizan en esta tipología salvo casos concretos de planos de despieces de dimensiones reducidas o la fijación de placas aisladas en un paño de fachada.

El hecho de que el plano de apoyo de las placas de piedra no sea horizontal añade una serie de dificultades complejas de resolver, como la transmisión de la carga y la aparición de tensiones en la placa no simétricas y una mayor probabilidad de rotura de las placas por arrancamiento en el entorno de la perforación.

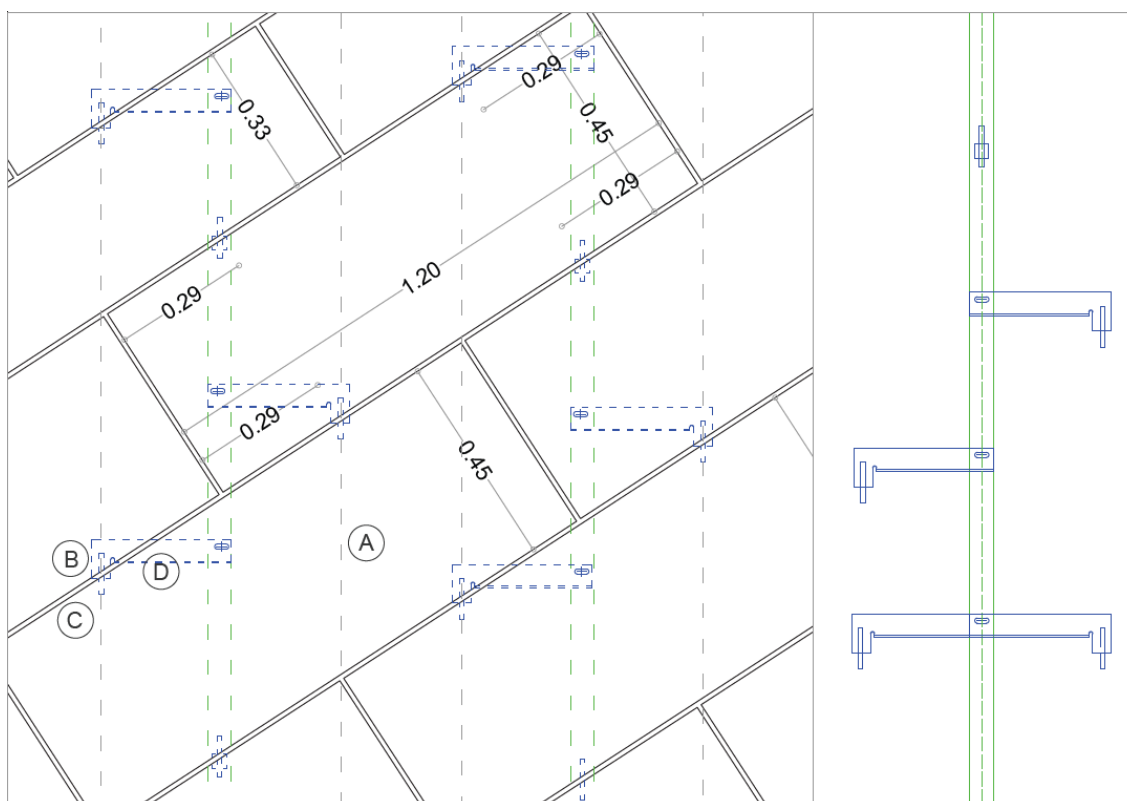
Si se mantiene la orientación estándar en el subsistema de anclaje únicamente se puede resolver con un anclaje o grapa de bulón, ya sea con anclajes puntuales regulables o mediante montantes y grapas. No se admiten grapas de ranura ya que la mecanización de la ranura con una penetración que no sea perpendicular a la base de la placa es compleja. La perforación del bulón con una dirección no perpendicular también es más compleja que la estándar, pero se puede inducir hasta la profundidad deseada, mientras que en el ranura no se conseguiría una superficie estable de apoyo y se generarían tensiones indeseadas en la unión.

Otra complejidad de cara a la mecanización de la placa. Por un lado, requerirían un mecanizado complejo en la placa para conseguir que la base de la placa tenga un plano horizontal y que el taladro en el que se introduce el taladro sea vertical. Por otro lado, dado que el bulón o pivote se encuentra en posición vertical y la base de las placas en una posición inclinada la distancia del eje de bulón al borde de la placa no va a ser la misma en la placa superior e inferior, teniendo una diferencia de distancia del equivalente a la mitad del espesor de la junta. Esta será una cuestión a tener en cuenta que se podría resolver planteando juntas de reducido espesor de tal manera que el margen de diámetro que se le dé al taladro del bulón asuma dicha tolerancia.





En otro orden tendríamos que hablar de las dificultades de cara a la puesta en obra y el replanteo. Salvo en casos muy concretos la utilización de un despiece inclinado implica que los puntos de anclaje del sistema (de la placa al soporte o de la placa a los montantes) no estarán alineados en vertical ni en horizontal. Además, en caso de utilizar montantes se duplicaría o triplicaría el número de estos respecto al mismo sistema en posición recta. Para analizar esta cuestión se ha estudiado una solución incluida en el caso de análisis del CGAC de Santiago de Compostela, que consistiría en la utilización de un montante y una serie de grapas excéntricas al eje del montante unidas a este mediante una pletina. Este sistema permitiría que un único montante resolviera tres ejes de fijaciones de anclajes. Las cargas excéntricas que se producen en este caso requerirán cálculos específicos y, en la mayoría de los casos, la utilización de montantes resistentes de acero inoxidable. Esta solución requiere elaborar numerosos planos de despieces y replanteo completos. En el ejemplo anterior, por ejemplo, se utilizaron diferentes alturas en las hiladas de placas para conseguir que la posición de los bulones fuera simétrica respecto a la posición de los montantes.

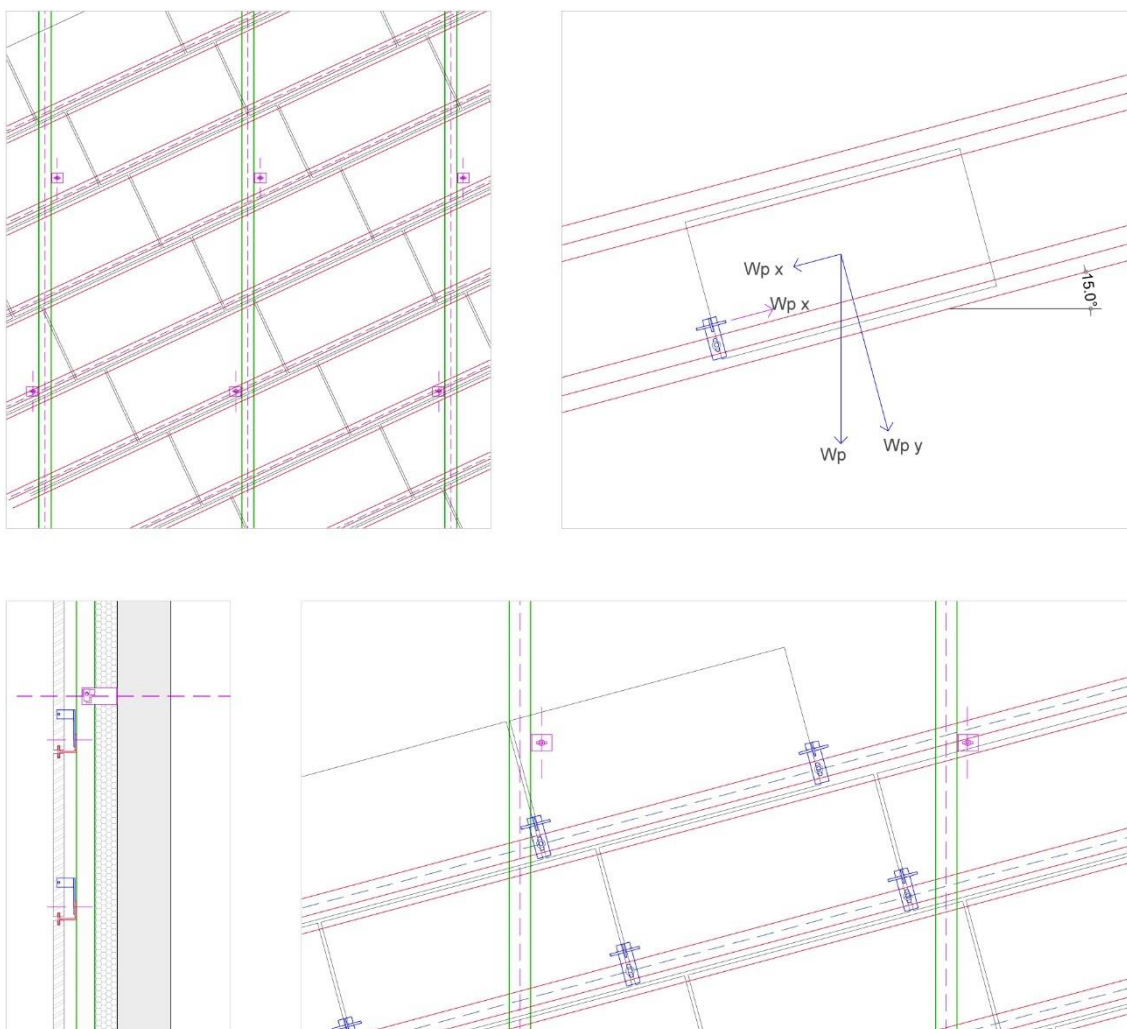


Aun pudiendo utilizarse este sistema, las dificultades comentadas hacen que quede relegado a pequeños paños de fachada o la utilización en puntos concretos de la fachada.

Se propone como solución más adecuada para resolver estos despieces la compuesta por perfilaría de montantes y travesaños, de tal manera que los montantes se colocan verticalmente como en los sistemas estándar y los travesaños se disponen inclinados coincidiendo con la inclinación del despiece. Se han estudiado tres propuestas de resolución:

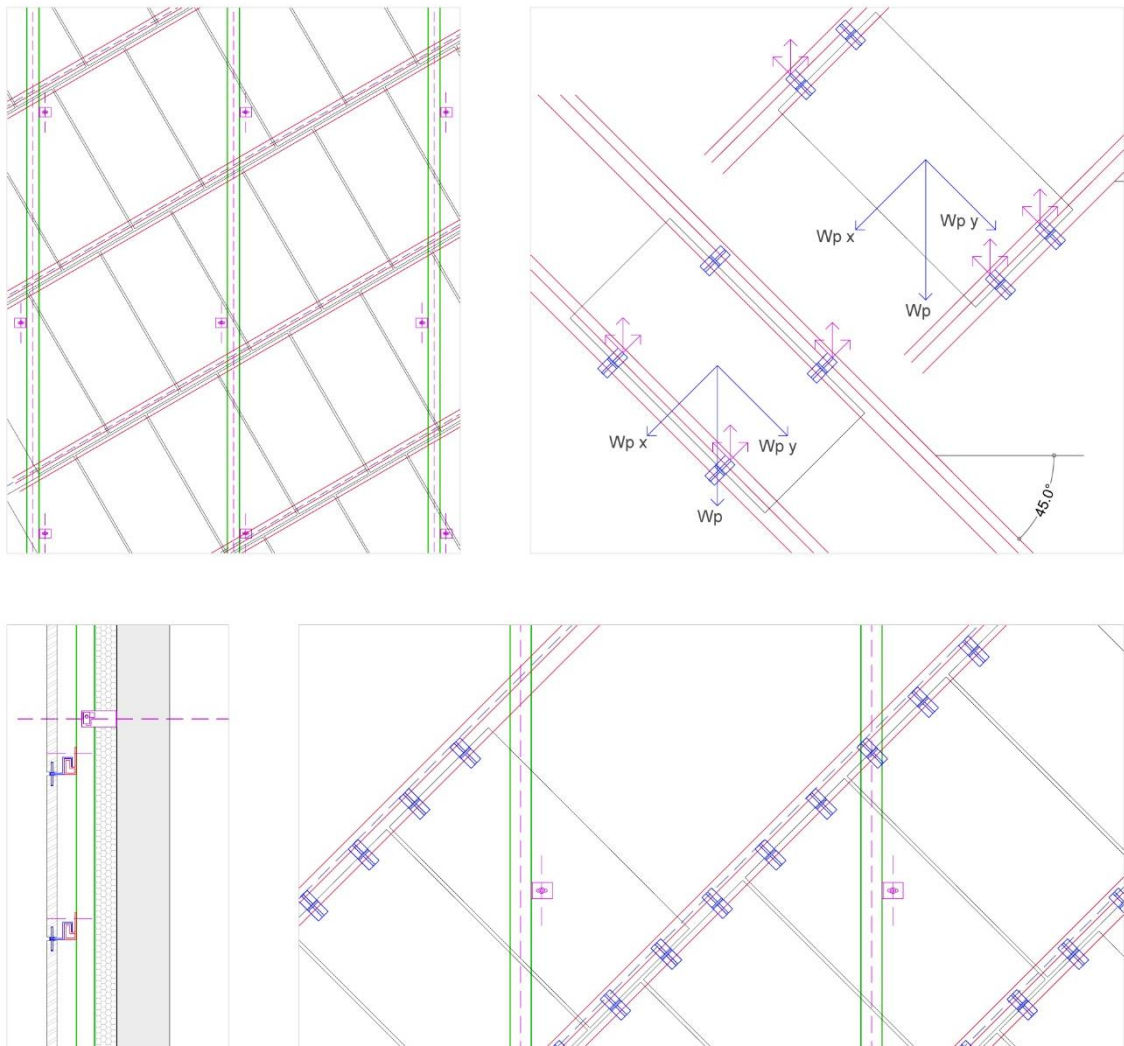
A) Placas apoyadas en los travesaños mediante apoyo continuo

Se admiten despieces en hiladas, pudiendo utilizarse los despieces explicados en el caso de hiladas horizontales (juntas continuas, juntas encontradas cada dos hiladas a puntos medios o con desplazamiento, juntas encontradas cada varias hiladas, placas con anchuras diferentes). Cuanto mayor sea el grado de inclinación respecto a la horizontal más probabilidades hay de que se produzca el desplazamiento de las placas. Para evitar este efecto y que las placas terminen apoyando sobre las anteriores se debe incluir un elemento a modo de grapa separadora y de carga/retenedora. A diferencia de los elementos de retención que se instalan en los sistemas de travesaño y apoyo continuo, cuya función es únicamente retenedora para evitar el desplazamiento lateral, en este caso se requiere un elemento que resista la carga transmitida por la placa en esa dirección. El peso de la placa se va a repartir entre el travesaño y la propia grapa que a su vez transmite la carga al travesaño. En estos casos se requieren cálculos específicos y ensayos de carga ya que la grapa tendrá que funcionar más como un elemento de carga que como una uña antivuelco. La puesta en obra de este sistema debe hacerse de abajo a arriba y dentro de cada hilada empezando por la placa inferior dependiendo de la dirección de la inclinación. Antes de colocar cada placa hay que instalar la grapa o grapas. Se puede utilizar una grapa con una configuración similar a la estándar de pivote lateral, pero con una mayor altura. Esta opción es válida cuando el despiece tiene poca inclinación y cuando se utilizan placas con poca altura, de tal manera que es mayor la componente vertical del peso.



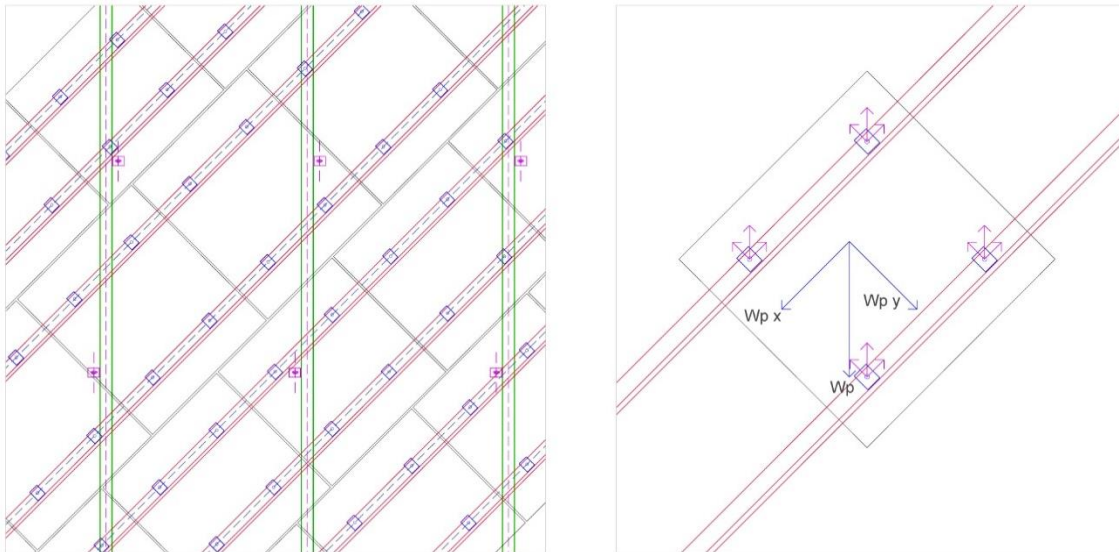
## B) Placas unidas a los travesaños mediante grapas de uña oculta o pivote

A diferencia del caso anterior se permite que las placas tengan alturas diferentes, moduladas respecto a la posición de los travesaños. En esta solución las placas no apoyan directamente en el travesaño, sino que lo hacen a través de grapas de carga/retención, de tal manera que serán estas grapas las encargadas de soportar el peso de la placa y de evitar su desplazamiento. Las grapas admitidas pueden ser de uña oculta en ranura puntual o de tipo bulón/pivote en taladro perforado en el canto. Cada placa estará sujeta por 4 grapas, de las cuales 3 trabajarán conjuntamente como anclajes de carga y retención, mientras que la grapa ubicada en la posición más elevada únicamente trabajará con efecto retenedor antivuelco. Esto es importante de cara la puesta en obra, ya que la placa no tendrá un apoyo estable hasta que se coloque las 3 grapas de carga.



C) Placas unidas a los travesaños mediante tacos de presión en el reverso de la placa

Esta solución se emplea cuando las placas tienen unas dimensiones mínimas suficientes. Como en el caso anterior se permite que las placas adquieran varias alturas, moduladas respecto a la posición de los travesaños. Se puede utilizar despieces con juntas continuas, juntas encontradas o con patrones que se repiten. Cada placa se sujeta con 4 puntos de anclaje y trabaja con efecto de “placa colgada”. Este sistema ofrece la ventaja de que todos los puntos anclaje trabajan solidariamente como carga y retención antivuelco por lo que no se ejercen distribuciones descompensadas en la unión placa-anclaje.



Los despieces inclinados requieren la utilización de un software de cálculo que asegure la adecuada estabilidad del sistema y que los anclajes de fijación de la placa sean capaces de soportar las cargas inclinadas aplicadas. Los ensayos mecánicos deben asegurar que su comportamiento sea óptimo para el caso concreto. Los resultados del análisis del comportamiento físico mecánico de los anclajes y su capacidad para soportar los esfuerzos de cortante y flexión recibidos y de la comprobación de la resistencia a arrancamiento de la placa de piedra serán determinantes para seleccionar una solución u otra.

### 5.3.4 DESPIECES SOLAPADOS

#### DEFINICIÓN TIPOLOGICA

Esta tipología engloba los despieces en los que las placas de piedra se colocan solapadas entre sí, dando lugar a un efecto de escamas superpuestas, de tal manera que el plano de apoyo de las placas de revestimiento no es el mismo que el del soporte.

Esta tipología deriva de la forma tradicional de revestir las cubiertas inclinadas y fachadas con plaquetas de pizarra, típicas de la arquitectura popular en climas húmedos, ya que garantizaba una buena estanqueidad. La profundidad del solape se decidía en función de la inclinación del plano de cubierta. En las zonas de montaña era habitual encontrar este sistema para protegerse de la nieve y de la lluvia, basado en cubiertas de grandes pendientes acabadas con el material existente en la zona, pizarra elaborada o lajas de piedra casi en bruto, colocadas con juntas contrapeadas. En muchas zonas aún se conserva esta solución de revestimiento con plaquetas de pizarra cuadradas o rectangulares de reducidas dimensiones y espesor, ancladas a listones de madera, mediante tornillos o grapas que pueden quedar vistas y ocultas.

Con el tiempo este sistema se ha reinterpretado para adaptarlo al sistema de fachadas trasventilada, de tal manera que se pueda utilizar con otras variedades de piedra y, especialmente, con placas de grosores habituales en esta tipología (3-4 centímetros) y dimensiones mayores. Aunque no es demasiado común, permite unos despieces que producen un aspecto estético muy singular de fachada formada por escamas superpuestas que generan sombras. Si sumamos el efecto producido por la luz en la fachada se consigue una textura orgánica con claras alusiones a la naturaleza y pieles marinas.

En esta tipología se admiten configuraciones con solape en una o en dos direcciones. Para definir la dirección y la profundidad del solape se suele tener en cuenta la precipitación y la dirección de los vientos predominantes. El solape más habitual en esta tipología es en el plano horizontal, de tal manera que cada placa solapa sobre la inferior. En este caso las opciones de despiece son con juntas continuas o bien con juntas verticales discontinuas.

Cuando el solape se produce en el plano vertical, cada placa se solapa sobre contigua, de tal manera que la junta vertical del despiece desaparece. Se pueden utilizar juntas continuas o juntas horizontales discontinuas. En este caso no se admiten despieces con juntas verticales discontinuas ya que al desplazar lateralmente las placas de cada hilada respecto a las inferiores se deja "al aire" parte del canto de estas últimas, lo generaría un evidente problema de entrada de agua en la cámara y de acumulación de humedad en las placas. Otra solución admitida en esta tipología es el solape en las dos direcciones, de tal manera que cada placa solapa al mismo tiempo sobre la contigua y sobre la inferior.

Estos despieces comparten las siguientes características:

- Configuraciones limitadas
- Placas de dimensiones estándar
- Se admiten placas en varios formatos, aunque hay que respetar la altura o anchura, según el tipo de solape, de las bandas predominantes.
- Despieces en planos solapados, el plano de las placas no es paralelo al del soporte.
- El solape depende del espesor de la placa.

- Para definir el subsistema de anclaje se requiere análisis de la configuración del despiece, y aplicación de posibles modificaciones.
- Importante la modulación y el posicionamiento de juntas para definir la solución.
- Los puntos singulares requieren estudio detallado, en algunos casos no se resuelven con detalles tipo ofrecidos por el fabricante.
- Requiere participación activa exhaustiva de la oficina técnica.

## EJEMPLOS

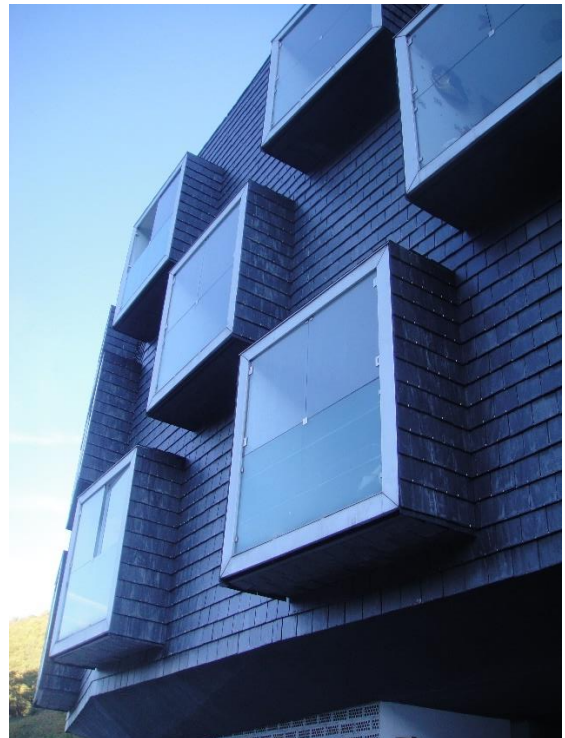
El arquitecto Arata Isozaki ha explorado este concepto en varios de sus proyectos, en los que las escamas de piedra se adaptan a un soporte curvilíneo, como en la Nara Centennial Hall de Japón (1992-98) o en el Museo de la Academia Central de Bellas Artes, Beijing, China, construido en el año 2012.

Probablemente el ejemplo más emblemático y reconocido en el que introdujo esta técnica es el museo Domus- Casa del hombre (A Coruña, 1993-1995), proyecto conjunto con César Portela, donde la disposición solada en el eje horizontal de las placas de pizarra verde hace referencia a las texturas marinas y a las escamas de los peces. Así, sobre la potente base de granito emerge un volumen curvilíneo según una línea clozoide que recuerda a una ola dando la sensación de estar afectada por la fuerza del viento. Las piezas de piedra de 53 x 50 centímetros y 2,5 centímetros de espesor, dispuestas con solape en las juntas horizontales, se sujetan mediante tornillos ubicados en el reverso de la placa, colocados por destalonado de fondo y unidos a travesaños de aluminio. La unión al muro soporte de forma clozoide se realiza mediante montantes de perfil trapezoidal que permite formar el plano de apoyo de las placas.

Hotel Four Seasons en Berlín (Alemania, J. P. Kleihues, 1993-1996): despiece de placas de mármol travertino de 90 x 30 centímetros, que se fijan lateralmente a montantes, con forma de listones de piedra, mediante pernos de acero inoxidable y resina sintética. Los listones de piedra se fijan a la estructura portante del edificio mediante perfiles tipo muro cortina. Este proyecto forma parte del plan desarrollado en la década de 1990 en Berlín para promover la recuperación de la zona oriental de la ciudad, que destacó por la construcción de varias fachadas pétreas.

Palacio de Congresos y hotel en Palma (Palma de Mallorca, Francisco Mangado, 2005-2017): se plantea en la fachada norte un revestimiento a base de escamas de piedra de marés y caliza de Vall solapadas en el eje horizontal, en alusión a las texturas marinas y a las escamas de los peces. Se utiliza un despiece a base de placas de piedra rectangulares, de base fija de 60 centímetros y alturas variables según la hilada de 110, 120, 130 y 150 centímetros y 4 centímetros de espesor. Las juntas verticales se colocan contrapeadas, con un desplazamiento de 12 centímetros respecto a la hilada inferior. Las juntas verticales son coincidentes cada dos hiladas. Las hiladas se colocan con un solape horizontal de 10 centímetros, generando una fuerte sombra horizontal.

Centro de Interpretación de Arte Rupestre en Campo Lameiro (Pontevedra, RVR arquitectos, 2005 - 2009): toda la envolvente del edificio está revestida con placas de granito, formando un efecto de unidad que contribuye a acentuar la continuidad entre fachadas y cubierta. Las fachadas responden a la búsqueda de una superficie texturizada creando un juego de sombras que varían a lo largo del día, lo cual se consigue gracias al solape de las placas granito gris en dos direcciones, de tal manera que cada placa se superpone horizontalmente sobre la inferior y verticalmente sobre la contigua. Para la disposición de los solapes verticales se ha tenido en cuenta la dirección predominante del viento en los días de lluvia, suroeste, lo que provoca encuentros distintos según la esquina del edificio.



Figuras 5.20 y 5.21 (arriba). Cubiertas tradicionales de pizarra en Sanabria, Zamora. Fotografías de la autora.  
 Figuras 5.22 y 5.23 (abajo). Viviendas para mineros. Cerrredo, Asturias (2006-2009). Zon-e (Nacho Ruiz Allén y Josean Ruiz Esquiroz). Izquierda, fotografía cedida por el estudio de arquitectura. Derecha, fotografía de la autora.

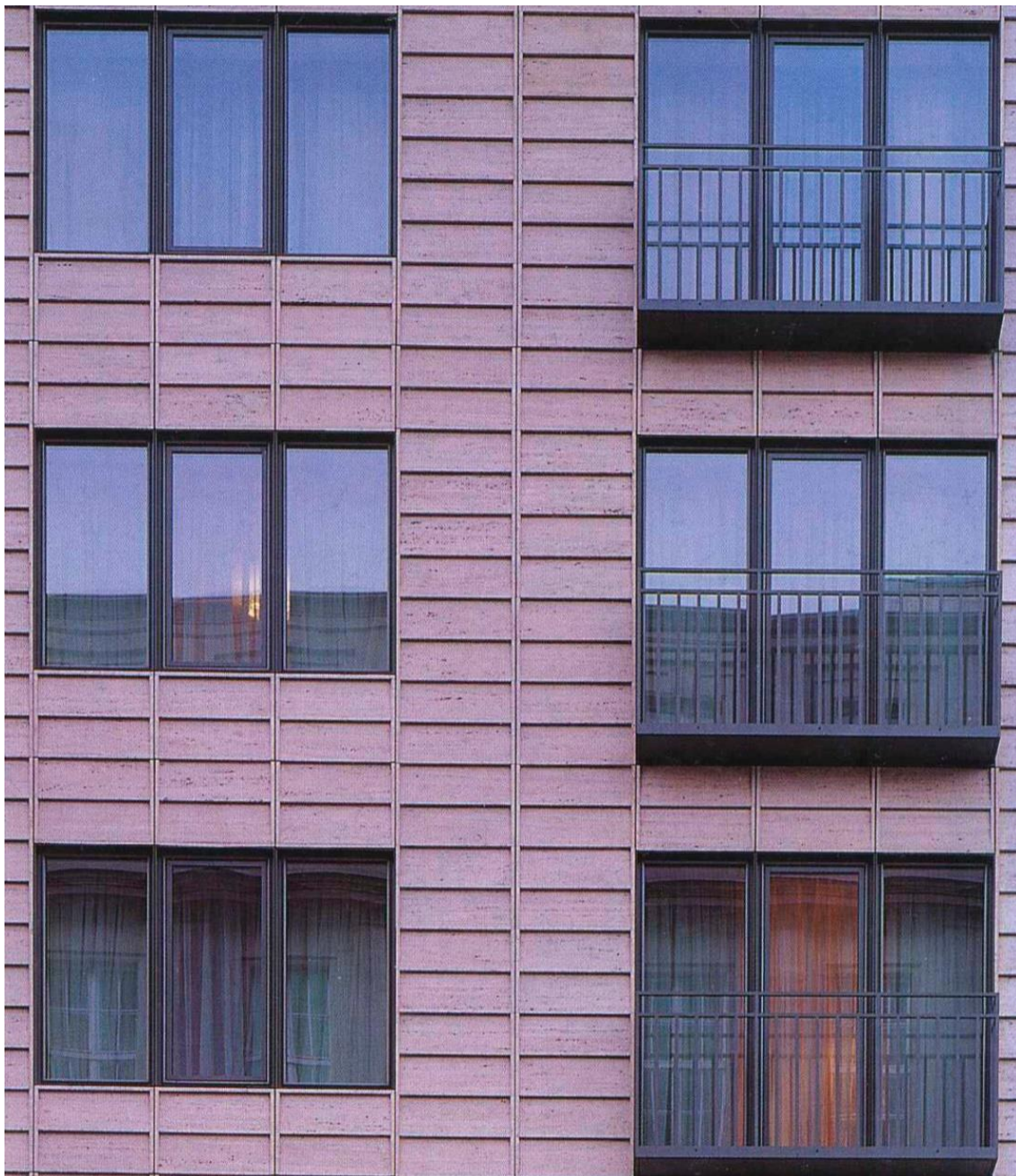


Figura 5.24. Hotel Four Seasons en Berlín (Alemania, 1993-1996), J. P. Kleihues. Despiece 11A. Solución 4. Arquitectura Viva 54. AAVV (1997). P.89





Figura 5.25. Palacio de Congresos y hotel en Palma de Mallorca, (Francisco Mangado 2005-2017). Despiece 11B. Solución 2. Fotografía de Juan Rodríguez. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/893354/palacio-de-congresos-y-hotel-en-palma-de-mallorca-francisco-mangado/5ae15aadf197ccccc10001c3-palacio-de-congresos-y-hotel-en-palma-de-mallorca-francisco-mangado-foto> (Consulta el 17.05.2017)



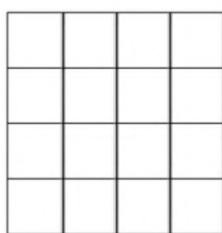
Figura 5.26. Centro de Interpretación de Arte Rupestre en Campo Lameiro (Pontevedra, RVR arquitectos, 2005 - 2009). Despiece 12. Solución 1. Fotografía de la autora.

### CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

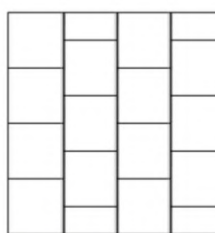
Cuando hablamos de despieces solapados, la principal diferencia respecto a los despieces vistos anteriormente es que las caras de las placas no son paralelas ni perpendiculares al muro soporte. Esta situación añade una dificultad al resolver el subsistema de anclaje ya que, además de sus funciones habituales, tendrá que ser compatible con este cambio de dirección o, en su caso, resolverla.

Otra dificultad de cara a la resolución de anclajes es que, dependiendo de las dimensiones de la placa (ancho y alto), del espesor y de la profundidad del solape entre placa y placa, estas se van a ubicar en una u otra posición respecto al soporte. Esto implica que el anclaje o grapa que se diseñe para un caso concreto puede no ser válidos para otro proyecto. En este sentido, el principal reto de los anclajes que se utilicen debería ser la posibilidad de adaptarse a distintas soluciones de proyecto y dimensiones de placas.

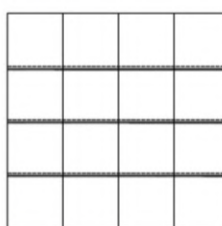
Tipología		Subtipo	Configuración / Formato
Singulares	Solapados	10. Solape vertical	A. Juntas horizontales continuas
			B. Juntas horizontales contrapeadas
		11. Solape horizontal	A. Juntas verticales continuas
			B. Juntas verticales contrapeadas
		12. Solape doble	A. Juntas desplazadas



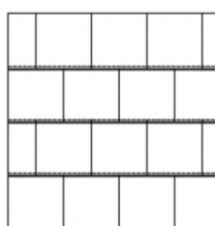
10A



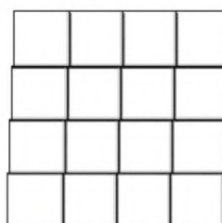
10B



11A



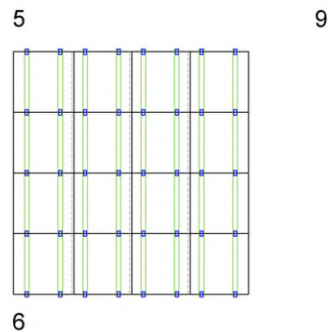
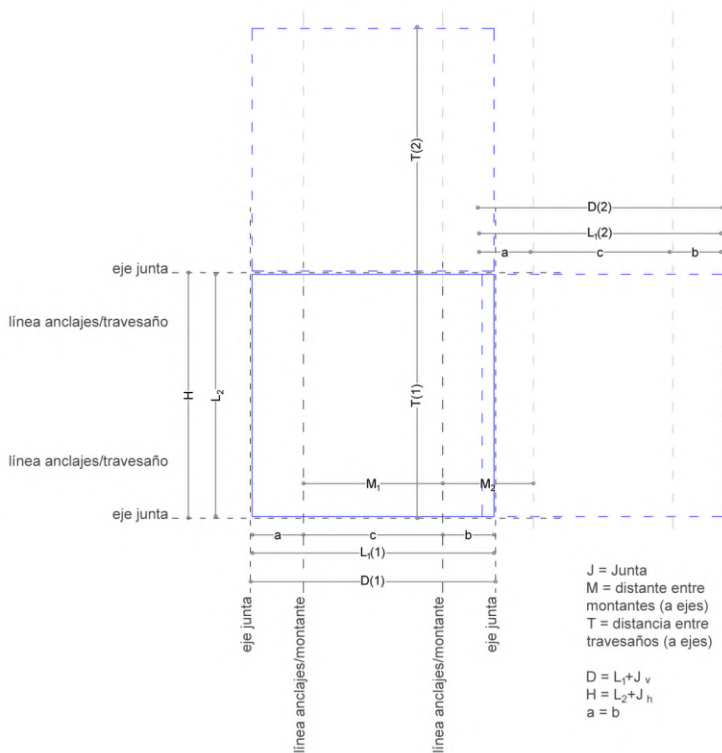
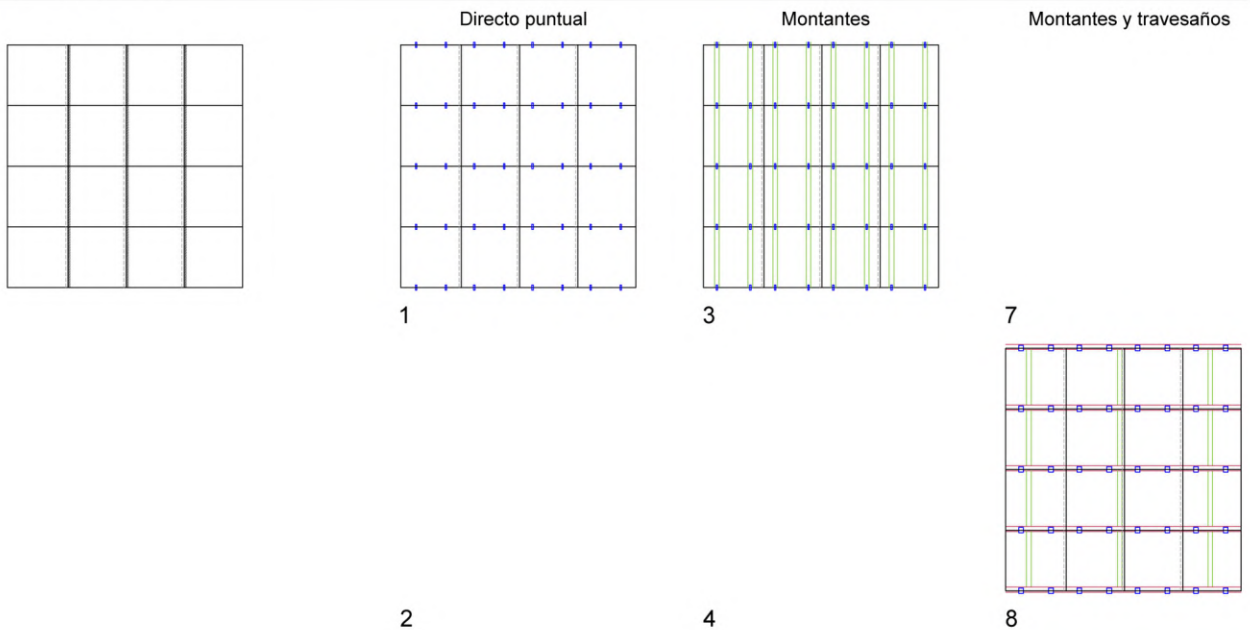
11B



12

# 10A CLASIFICACIÓN: SOLAPADOS. SOLAPE VERTICAL

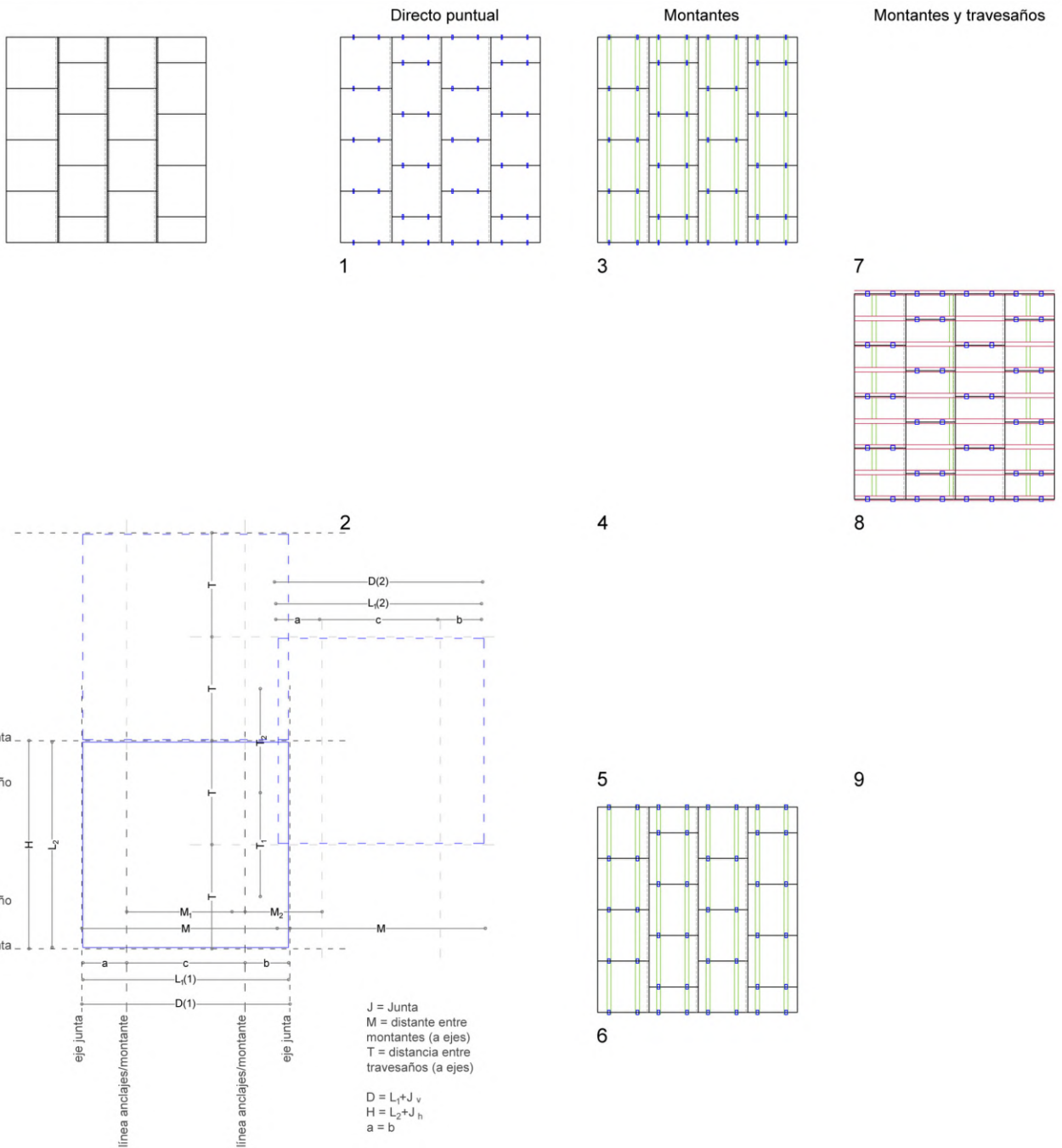
Juntas horizontales continuas.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo				Montantes				Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O	V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	NA	C	NA	NA	C	NA	C	NA			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes con distintas excentricidades. 3,6: Escudras con distintas excentricidades. 9: Grapas con diseño modificado, equidistantes al borde de la placa.											
JUSTIFICACIÓN		2,4,5,7,9: Sistema no compatible.											

# 10B CLASIFICACIÓN: SOLAPADOS. SOLAPE VERTICAL

Juntas horizontales contrapeadas.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes				Montantes + travesaños					
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh						R	
	Aspecto	O		O			V	O	V	O	V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		<b>6</b>		<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	
IDONEIDAD		<b>C</b>	<b>NA</b>	<b>C</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>		<b>C</b>		<b>NA</b>	<b>C</b>	<b>NA</b>	
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclajes con distintas excentricidades. 3,6: Escuadras con distintas excentricidades. 9: Grapas con diseño modificado, equidistantes al borde de la placa.											
JUSTIFICACIÓN		2,4,5,7,9: Sistema no compatible.											

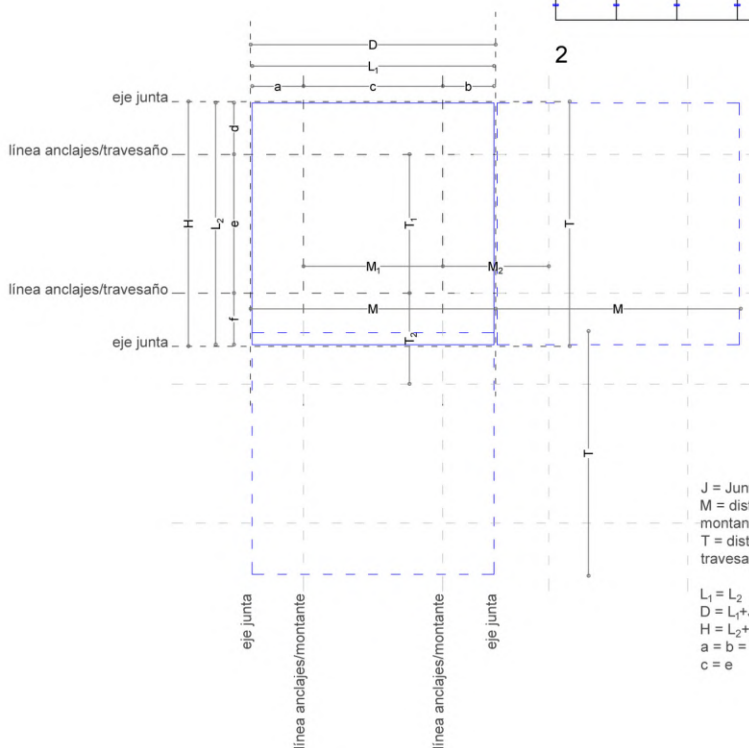
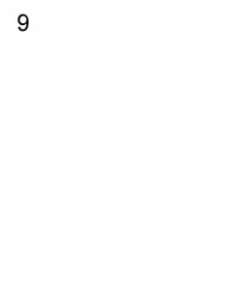
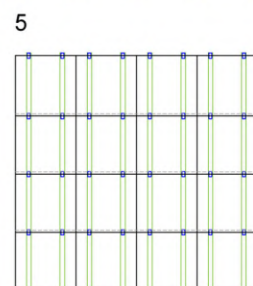
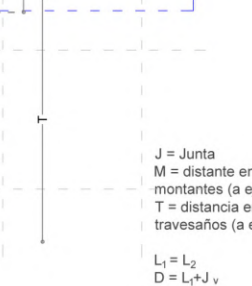
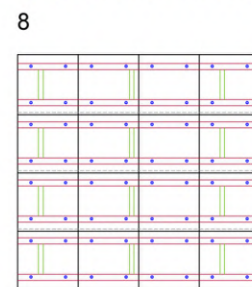
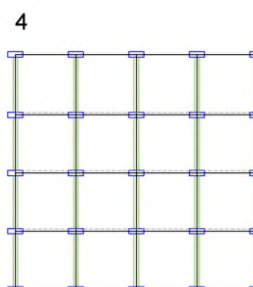
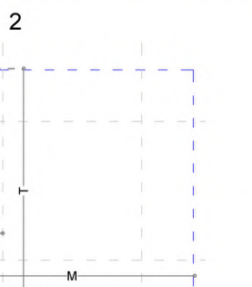
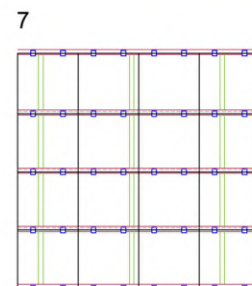
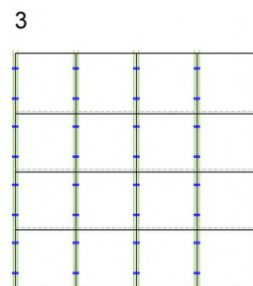
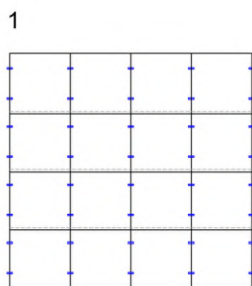
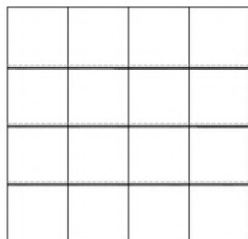
# 11A CLASIFICACIÓN: SOLAPADOS. SOLAPE HORIZONTAL

Juntas verticales continuas.

Directo puntual

Montantes

Montantes y travesaños



J = Junta  
 M = distante entre montantes (a ejes)  
 T = distancia entre travesaños (a ejes)  
 $L_1 = L_2$   
 $D = L_1 + J_v$   
 $H = L_2 + J_h$   
 $a = b = d = f$   
 $c = e$

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh				Jh			R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	C	C	C	C	C	NA	C	C			
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclaje con diseño modificado. 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa. 3,6: Montantes equidistantes al borde de la placa + Grapas con diseño modificado. 4: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas equidistantes. 5: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas con diseño modificado. 6: Montantes equidistantes al borde de la placa + Grapas con diseño modificado. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales según banda + Grapas con diseño modificado. 9: Montantes con diseño modificado.											
JUSTIFICACIÓN		7: Sistema no compatible.											

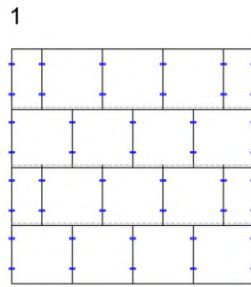
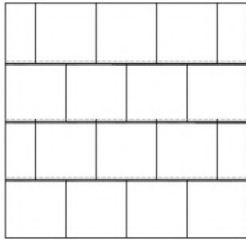
# 11B CLASIFICACIÓN: SOLAPADOS. SOLAPE HORIZONTAL

Juntas verticales contrapeadas.

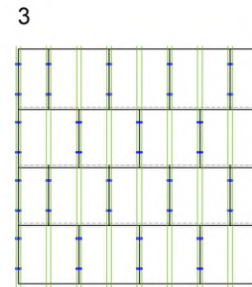
Directo puntual

Montantes

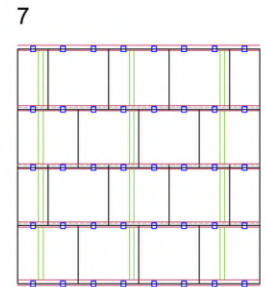
Montantes y travesaños



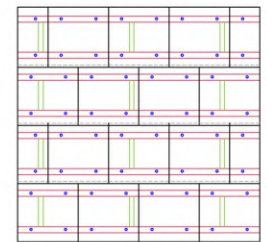
2



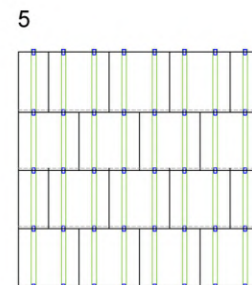
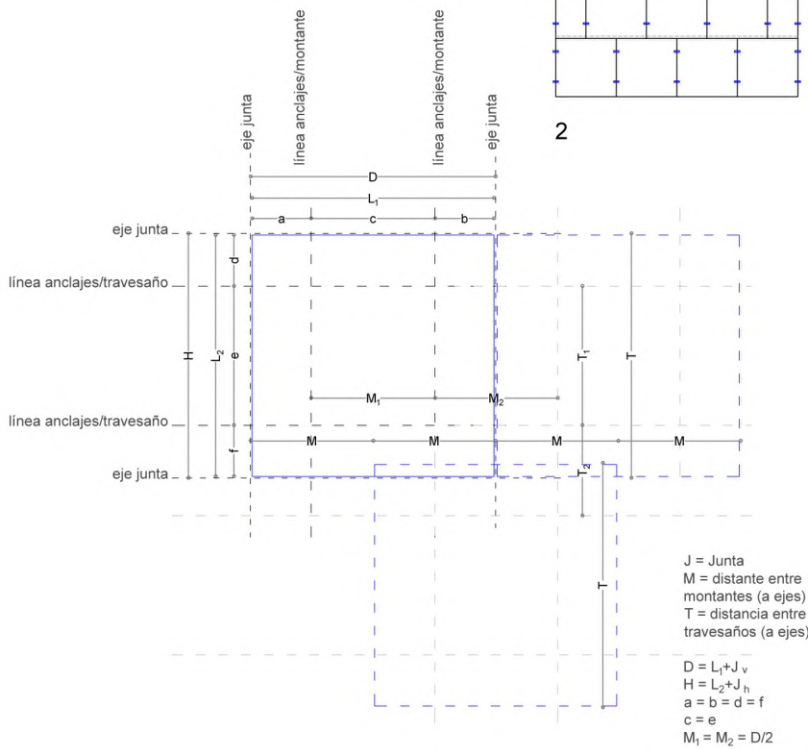
4



8



9

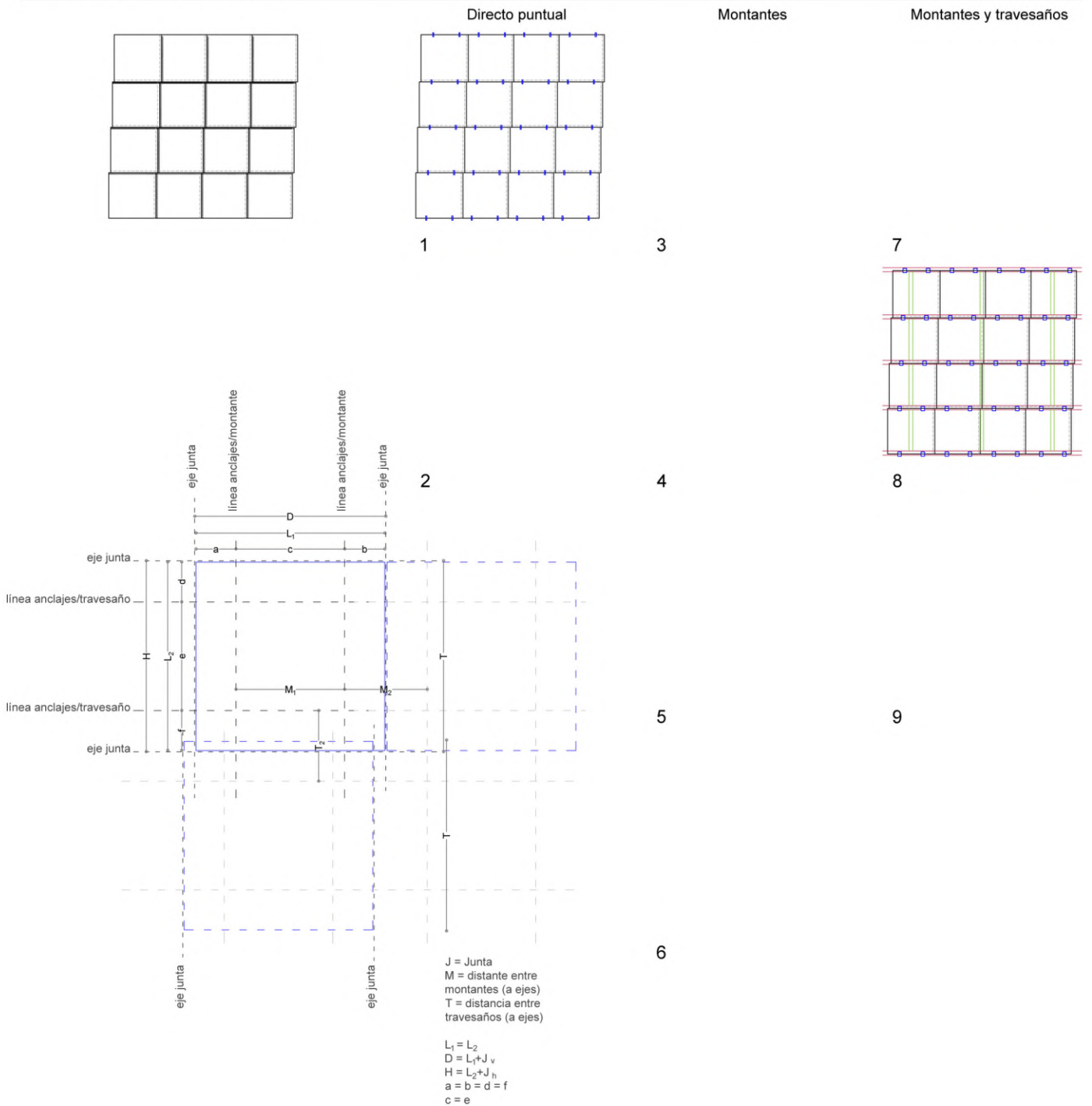


6

SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS												
Unión al soporte		Directo		Montantes					Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh			Jh			R
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8	9
IDONEIDAD		C	C	C	C	NA		C		NA	C	C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclaje con diseño modificado (Válido para contrapeado a puntos medios). 2: Anclajes equidistantes al borde de la placa. 3,6: Montantes equidistantes al borde de la placa + Grapas con diseño modificado. (Válido para contrapeado a puntos medios). 4: Montantes alineados con juntas verticales + Grapas equidistantes (Válido para contrapeado a puntos medios). 6: Montantes equidistantes al borde de la placa + Grapas equidistantes al borde de la placa con diseño modificado. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales según banda + Grapas con diseño modificado. 9: Montantes con diseño modificado.										
JUSTIFICACIÓN		5,7: Sistema no compatible.										

# 12 CLASIFICACIÓN: SOLAPADOS. SOLAPE DOBLE

Juntas horizontales y verticales desplazadas.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		C	C	C	C	NA		C		NA	C		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1,2: Soporte resistente. 1: Anclaje con diseño modificado, anclajes no alineados verticalmente. 8: Travesaños alineados con juntas horizontales según banda + Grapas con diseño modificado, no alineadas verticalmente.											
JUSTIFICACIÓN		2,3,4,5,6,7,9: Sistema no compatible.											



		10A	10B	11A	11B	12	
TIPOLOGÍA: DESPIECES SOLAPADOS							
Directo regulable	Puntual						
	Bulón en junta vertical						
Mediante subestructura regulable	Montantes	Bulón en junta horizontal					
		Bulón en junta vertical					
	Grapa en ranura discontinua						
	Grapa en ranura aislada / Uñeta vista						
Montantes y travesaños	Perfil horizontal en junta continua						
	Grapas en ranura aislada						
	Destalonado de fondo						

INTERPRETACIÓN DE SOLUCIONES ADMITIDAS PARA CONFIGURAR EL DESPIECE

SISTEMA APTO

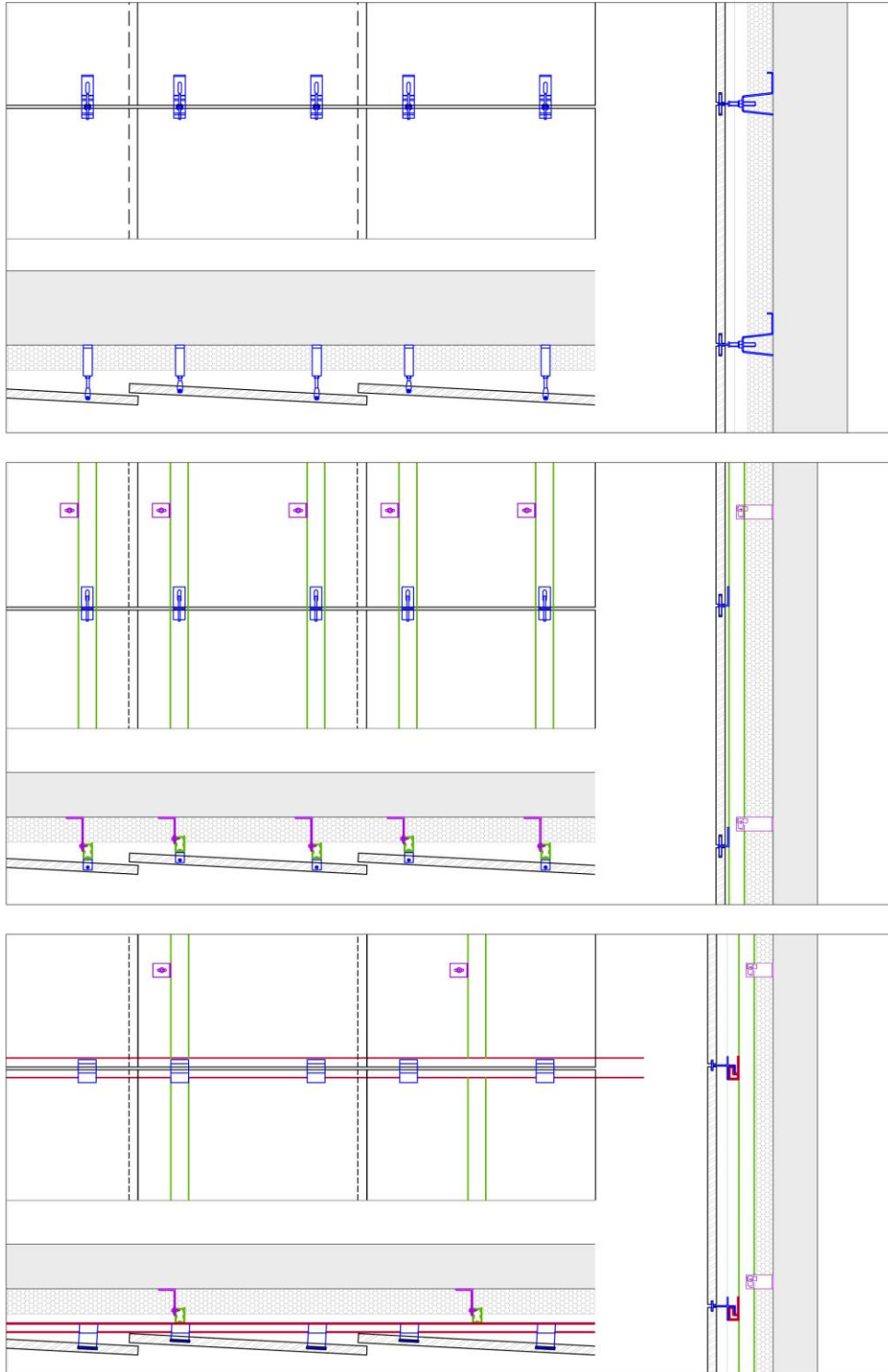
SISTEMA CONDICIONADO

SISTEMA NO APTO (no dibujado)

## SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

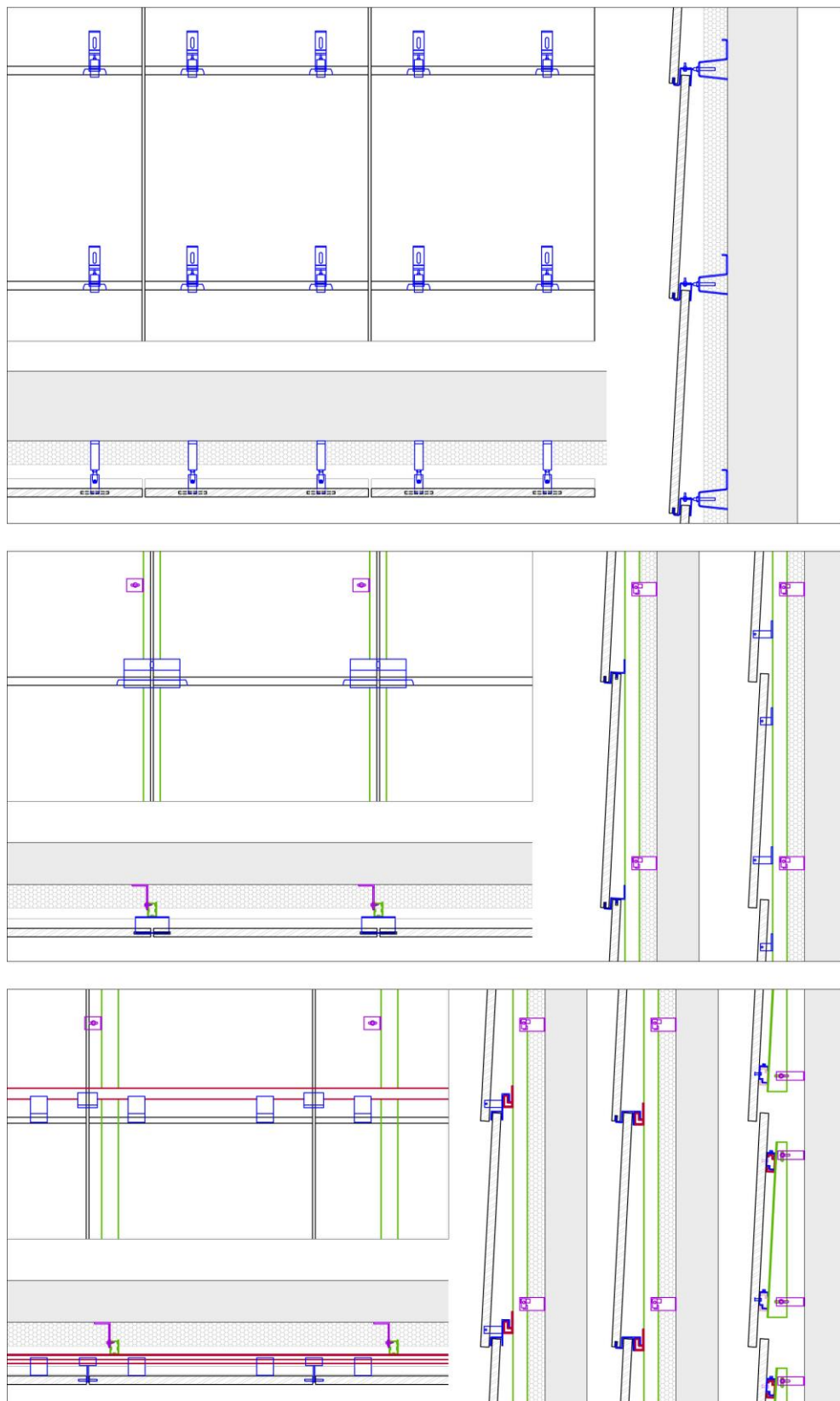
En este apartado se representan y ejemplifican, a mayor escala, estrategias de configuración para resolver alguno de los despieces analizados.

### SOLAPE VERTICAL



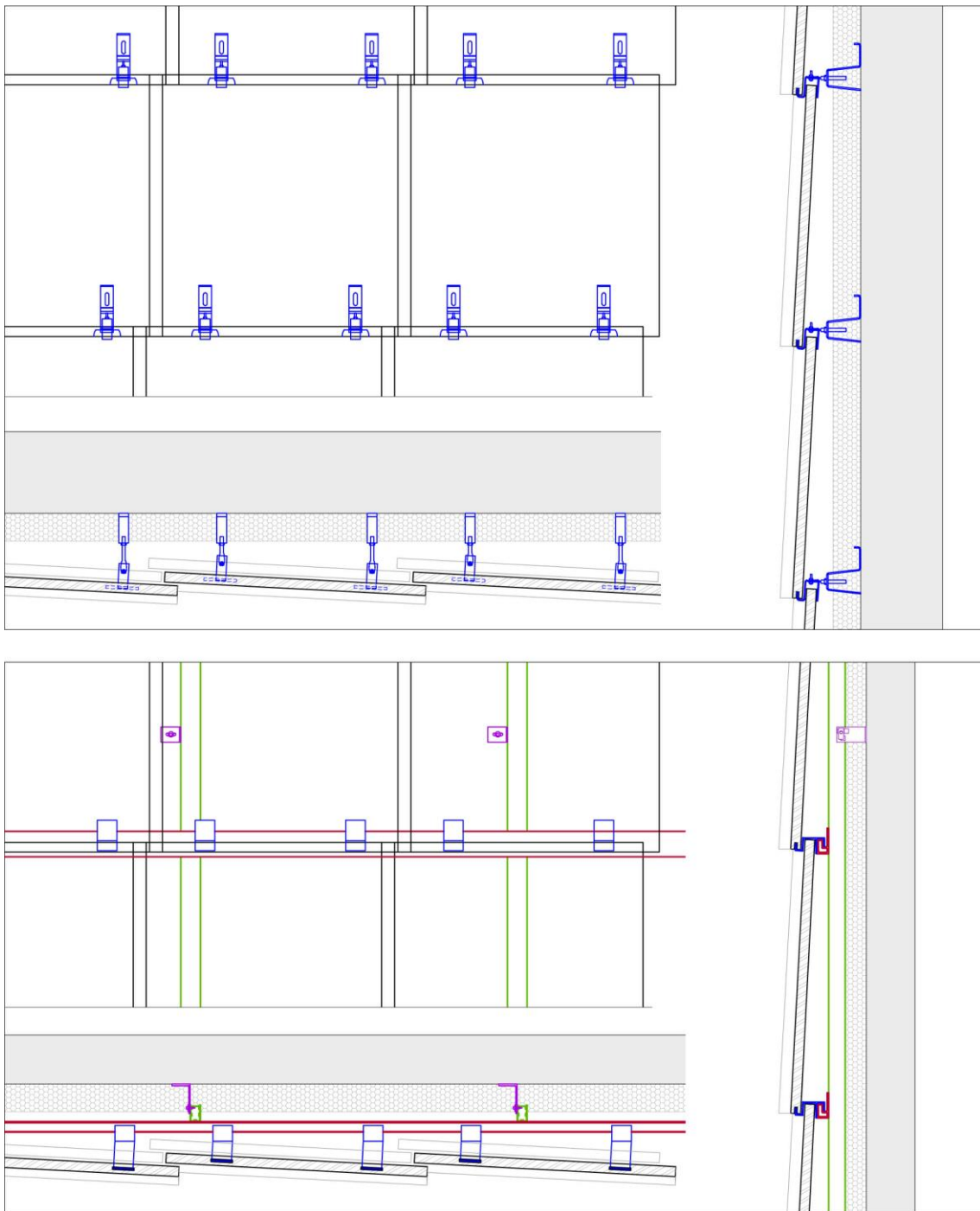
Despiece 10A. Arriba, resuelto con subsistema a base de anclajes directos puntuales. Se requieren anclajes que permita regular la profundidad. Centro, resuelto con un subsistema a base de montantes, dos por placa, y grapas de pivote ubicadas en juntas horizontales. Las escuadras resuelven la diferencia de excentricidad. Abajo, resuelto con subsistema a base de montantes equidistantes y travesaños compatibles con las juntas horizontales. Se requiere una modificación en las grapas de ranura puntual que resuelva la diferencia de plano.

SOLAPE HORIZONTAL



Despiece 12. Arriba, resuelto con subsistema a base de anclajes directos puntuales. Se requiere una adaptación de los anclajes que soportan cada placa, de tal manera que permitan resolver la diferencia de ángulo en el plano del revestimiento y del soporte. Centro, resuelto a base de subsistema de montantes. Se requiere una modificación en las grapas para que resuelvan la diferencia de plano. Abajo, resuelto con subsistemas a base de montantes y travesaños. Se puede modificar la configuración de la grapa o del montante.

SOLAPE EN DOS DIRECCIONES



Despiece 12. Arriba, resuelto con subsistema a base de anclajes directos puntuales. Se requiere una adaptación de los anclajes que soportan cada placa, de tal manera que permitan regular la profundidad y resolver la diferencia de ángulo en el plano del revestimiento y del soporte. Abajo, resuelto con subsistema de montantes equidistantes y travesaños compatibles con las juntas horizontales. Se requiere una adaptación en las grapas de tal manera que resuelva la diferencia de ángulo en el plano del revestimiento y del soporte

### 5.3.5 DESPIECES DE GRAN FORMATO

#### DEFINICIÓN TIPOLÓGICA

Esta tipología se caracteriza por la utilización de placas de gran formato, entendiéndose como tal aquellas que por sus dimensiones y peso no se pueden sujetar con los sistemas estándar. El diseño y cálculo adecuado de los elementos permite llegar a placas de grandes dimensiones, que pueden llegar hasta los 4 metros.

Aunque algunos fabricantes incluyen en sus catálogos anclajes especiales para cargas elevadas, este tipo de despieces requiere un cálculo detallado previo por parte de la oficina técnica, de tal manera que se garantice que los elementos están calculados para soportar el peso y garantizar la estabilidad del edificio. Otro aspecto relevante en esta categoría es la selección de la variedad de piedra, que debe tener una dureza mínima, adecuada a las dimensiones del despiece. Una vez seleccionada la variedad se requiere calcular el espesor necesario que, dependiendo de las dimensiones de la placa, puede llegar hasta espesores de más de 15 centímetros.

Estos despieces comparten las siguientes características:

- Placas de grandes dimensiones y despieces simples en un plano

En esta tipología es fundamental tener definido el despiece en su conjunto y las dimensiones de las placas previamente a los cálculos. Cualquier modificación no prevista requiere repetir los cálculos para asegurar que se garantiza la estabilidad del sistema. Por este motivo, aunque hay casos de despieces más complejos la tendencia mayoritaria es recurrir a despieces simples de juntas continuas o junta contrapeada a puntos medios.

- Se admiten placas en varios formatos combinados.

La utilización de placas en varios formatos requiere un cálculo detallado que asegure el adecuado funcionamiento del subsistema para todos ellos. Además, se deberá comprobar que las dimensiones de las placas y su despiece son compatibles con el subsistema de anclaje. Se requieren planos detallados de despiece definitivo para realizar el cálculo estructural del subsistema de anclaje.

- Se requieren variedades de piedra compacta

En este sentido no solo hablamos del tipo de piedra, sino de la variedad comercial específica que se vaya a utilizar. En general y cuarcitas alcanzan la dureza necesaria, pero en otros casos dependerá de la variedad utilizada. Además, al estar hablando de un material natural no sólo se debe comprobar las características de la variedad, sino de que habrá que conocer los datos de la cantera que se vaya a utilizar. Este caso es bastante habitual cuando hablamos de pizarras. Se requiere selección e identificación de la variedad, caracterización y especificaciones para realizar el cálculo estructural del subsistema de anclaje.

- Se requieren sistemas para grandes cargas

Habitualmente se utilizarán elementos de acero inoxidable, que aportan resistencias superiores a los de aluminio, para conseguir que el sistema de transmisión de cargas sea análogo al de los despieces convencionales. En esta tipología es fundamental el cálculo estructural de los elementos que componen el subsistema de anclaje, de tal manera que se asegure su estabilidad y la transmisión de las cargas a la estructura del edificio. Además, se deberá comprobar que las cargas transmitidas por el subsistema de la fachada son compatibles con la estructura del edificio.

Un cálculo erróneo puede derivar en el vuelco del sistema y afectar a la integridad de la estructura del edificio, con graves consecuencias de seguridad. Si los anclajes a las placas de piedra se ubican en las juntas, de manera general no se utilizarán juntas inferiores a 10 milímetros para permitir la correcta disposición del anclaje. De manera general se dejará como junta mínima el espesor del anclaje más 2-3 milímetros a cada lado.

- Se requiere conocer el espesor para realizar el cálculo estructural del subsistema de anclaje.

Una vez seleccionada la variedad y dimensiones se debe calcular el espesor de las placas, que dependerá de las características de la piedra y de las dimensiones de la placa.

- Se requiere comprobar el espesor y la resistencia del soporte si se van a fijar anclajes directos.
- Los puntos singulares requieren estudio detallado.
- Requiere participación exhaustiva de la oficina técnica.

## EJEMPLOS

Hay varias estrategias compositivas que se utilizan habitualmente en esta tipología de despieces. La más habitual es utilizar despieces sencillos a base de placas cuadradas o rectangulares con juntas verticales y horizontales continuas o bien con una de las dos continuas y la otra a rompejuntas a puntos medios. Cuando se utilizan estos despieces, que corresponden con los que denominamos convencionales, la seña compositiva se logra por el alarde en las grandes dimensiones de las placas y por el juego compositivo entre bandas de forjado a forjado, bandas ocupadas por las carpinterías y bandas entre carpinterías.

Gran Teatro del Liceo de Barcelona: se utilizan placas de dimensiones de hasta 250 x 110 centímetros y de 5 centímetros espesor, sujetas mediante perfilera y escuadras diseñadas para grandes cargas.

Edificio de viviendas de la calle clavel (Madrid, Carlos de Riaño, 2005): despiece de placas de granito que ocupan la altura de una planta completa, de canto a canto de forjado, siguiendo una modulación de basada en la alternancia hueco – macizo. Las placas tienen unas dimensiones de 125 x 300 centímetros y 4 centímetros de espesor. El sistema de anclaje consiste en una subestructura a base de montantes y travesaños continuos de acero inoxidable y sección en L, que soportan el peso de las placas. Para evitar el vuelco se usan tornillos en el reveso superior de la placa unidos mediante uñas a travesaños.

Ampliación del museo de Pontevedra (Pesquera Ulargui Arquitectos, 2008): se utilizan placas de granito silvestre de dimensiones 1,33 x 3,32 metros y 4 de espesor. La composición es a base de bandas horizontales, combinado banda de piedra – banda de hueco carpintería. Las placas se sujetan con un sistema de perfilera de acero mediante el cuelgue de la placa y anclajes laterales puntuales que funcionan como clips antivuelco.

Teatro Auditorio de San Lorenzo del Escorial (Picado de Blas, 2006): sistema de anclajes puntuales de acero inoxidable aptos para soporte el peso del revestimiento de costeros de grandes dimensiones y espesor. Como anclaje de retención se emplearon anclajes puntuales ubicados en las juntas verticales, en la parte superior de la placa.

Edificio de Institutos de investigación de Santiago (Manuel Gallego, 1992-1997): placas de granito extremeño con dimensiones de 189 x 173 centímetros, que van desde el vierteaguas de cada ventana al dintel de la ventana inferior, fijadas mediante grapas de acero inoxidable ubicadas en las juntas

horizontales, en el encuentro entre dos placas continuas. Las placas del zócalo tienen un espesor de 12 centímetros, para aumentar la resistencia al impacto, y el resto de 4,5 centímetros.

Edificio para la nueva sede de los Juzgados de A Coruña (Xose Bar Boo, 1995): las placas de granito rosa de 38 x 180 centímetros y 9 centímetros de espesor se fijan mediante anclajes de bulón en las juntas verticales y montantes resistentes de acero inoxidable. Los bulones se distancian entre sí 90 centímetros, siendo, de tal manera que no se posicionan de manera simétrica en la placa. De cara al reparto de cargas esto no supone un inconveniente, ya que al servir cada anclaje como carga de una placa y retención de la contigua quedan compensados.

Edificio bancario DZ (Ghery Partners, 2001): se utiliza una subestructura de montantes y travesaños de acero inoxidable para fijar las grandes placas de piedra caliza de Vicenza mediante anclajes por destalonado de fondo. Los anclajes se han adaptado para soportar las grandes cargas de las placas, que alcanzan dimensiones de 4 metros y 18 centímetros de espesor. Toda la subestructura es de acero. En este caso se sustituye la perfilaría de aluminio por perfilaría de acero anclaje a la estructura del edificio, calculada para soportar las grandes cargas.

Centro de Control de los Túneles de Piedrafita en Lugo (Arturo Franco Taboada, 2001-2002): se emplea un recurso diferente, basado en un despiece compuesto por placas de distintas dimensiones dispuestas en vertical o en horizontal, con formatos que varían de 105 x 212 a 280 x 174 centímetros. Presentan un acabado natural, por lo que los espesores varían de 3 a 5 centímetros. Para resolverlo, se necesitaba un sistema que permitiera garantizar la planeidad suficiente, por lo que se recurrió a varios anclajes de cabeza vista ubicados en perforaciones en el perímetro de las placas, que llevan incorporadas tuercas y contratueras para la regulación de la profundidad. Para asegurar el correcto funcionamiento del subsistema se ha tenido en cuenta la posición de los travesaños respecto al revestimiento, de tal manera que los puntos de anclaje estén alineados horizontalmente.

Museo Jumex (Ciudad de México, David Chipperfield, 2013): se utiliza un sistema similar, basado en la utilización de varios travesaños a los que se fijan las placas por medio de anclajes por destalonado en el reverso de la placa, de tal manera que el peso de cada placa se divide entre 6 puntos de anclaje.

Otra estrategia consiste en la utilización de una retícula compuesta por perfiles que conforman una sección a gran escala, sobre la que se montan placas de dimensiones inferiores. En la Reconstrucción de la fachada del Arco de la Defensa de París (Valode & Pistre, 2015-2018) se utiliza este recurso, de tal manera que las placas de granito blanco de 100 x 69 centímetros se unen, mediante un sistema de anclaje por destalonado en el reverso de la placa, a una retícula compuesta por perfiles de acero verticales y un perfil perimetral que delimita la sección. Los perfiles de acero presentan unas muescas para posicionar las placas, que vienen premontadas con el anclaje de unión.



Figura 5.27. Edificio de viviendas de la calle del clavel en Madrid (Carlos de Riaño, 2005). Despiece 13 B. Solución 7+9. Imagen obtenida de Google maps. <https://bit.ly/3AZnWwC>





Figura 5.28. Museo de Pontevedra (Pesquera Ulargui Arquitectos, 2008). Despiece 13B. Solución 7. Fotografía de la autora.



Figura 5.29. Edificio de Institutos de investigación de Santiago (Manuel Gallego, 1992-1997). Despiece 14. Solución 5. Fotografía de la autora



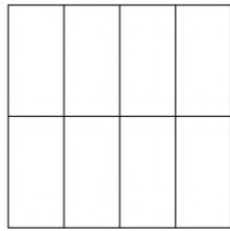
Figura 5.30. Centro de Control de los Túneles de Piedrafita en Lugo (Arturo Franco Taboada, 2001-2002). Despiece 15. Solución 9. Fotografía de la autora



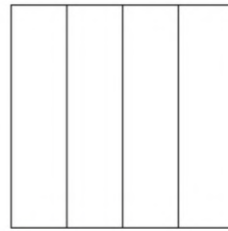
Figura 5.31. Reconstrucción de la fachada del Arco de la Defensa de París (Valode & Pistre, 2015-2018). Despiece 15. Solución 9. Fotografía de la autora

**CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE**

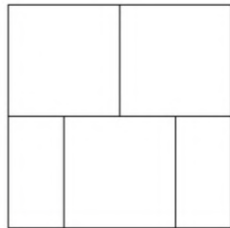
	Tipología	Subtipo	Configuración / Formato
Singulares	Gran formato	13. Juntas continuas	A. Placas cuadradas o rectangulares
			B. Placas rectangulares de gran altura
		14. Juntas discontinuas	
		15. Combinación/patrón	



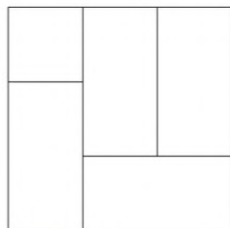
13A



13B



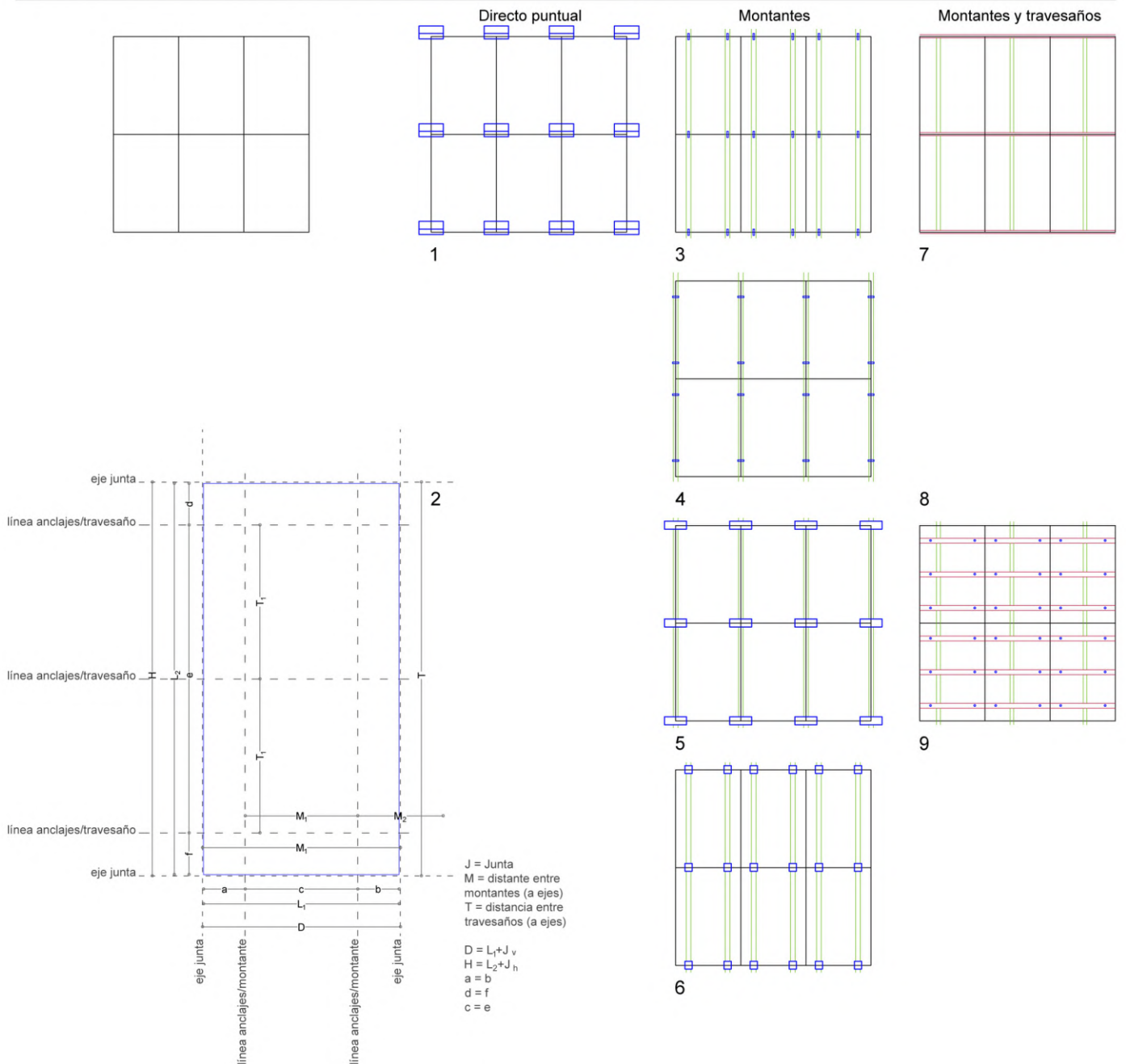
14



15

# 13A CLASIFICACIÓN: GRAN FORMATO. JUNTAS CONTINUAS

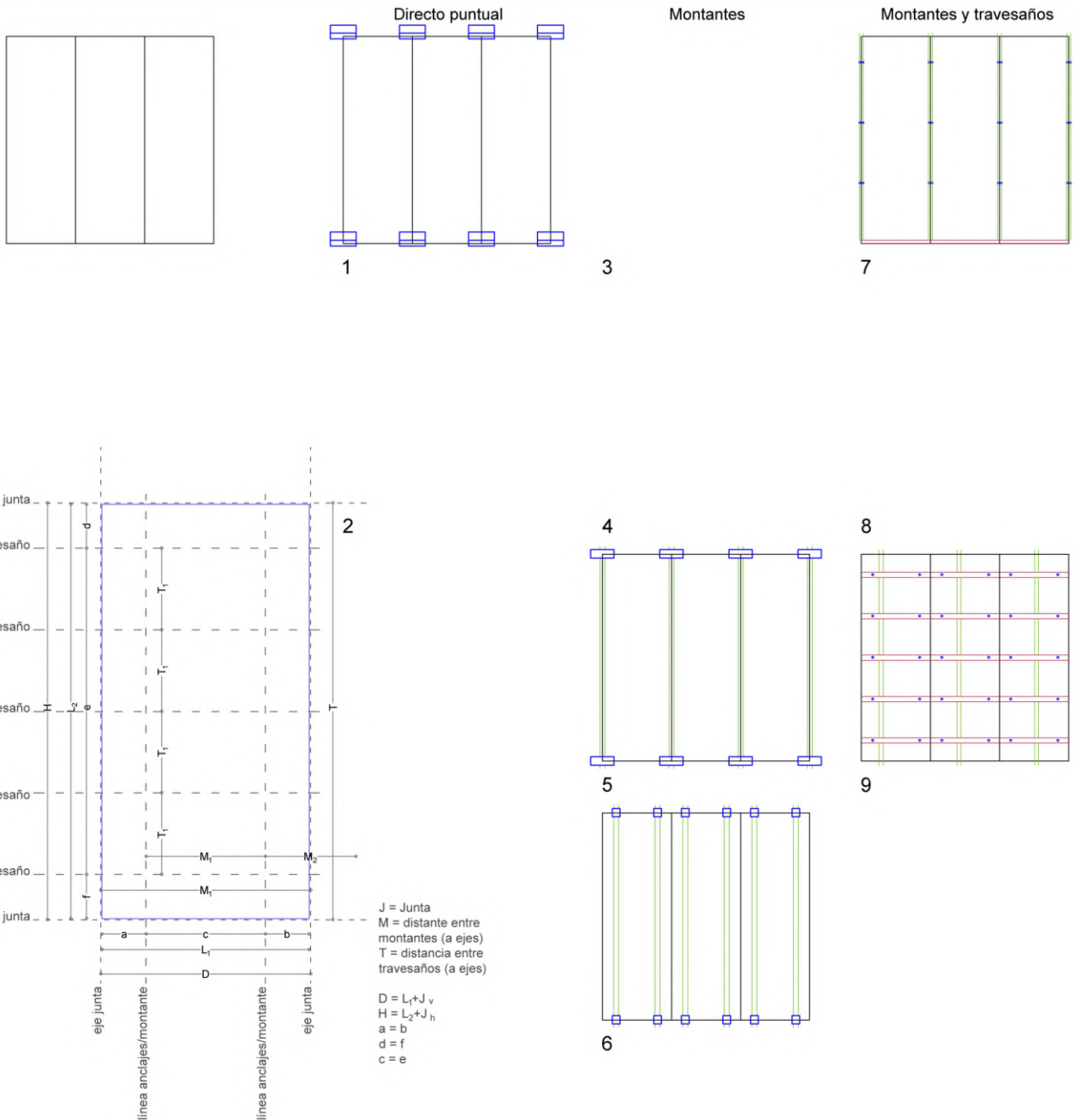
Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas cuadrado o rectangular.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo				Montantes				Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh	O	V	O	V	Jh	V	R
	Aspecto	O		O		V		O		V		O	R
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
IDONEIDAD		C	NA	C	NA	C	C	C	C	NA	C		
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1: Soporte resistente. 1: Anclajes para grandes cargas. 3,6: Montantes equidistantes + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de montantes si es necesario. 5: Montantes alineado con juntas verticales + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de montantes si es necesario. 7: Travesaños alineados con juntas horizontales para grandes cargas + Grapas de retención puntuales. 9: Mayor número de travesaños y de anclajes perimetrales.											
JUSTIFICACIÓN		2,4: En grandes cargas funciona peor el anclaje lateral. 8: Grapas no aptas para grandes cargas.											

# 13B CLASIFICACIÓN: GRAN FORMATO. JUNTAS CONTINUAS

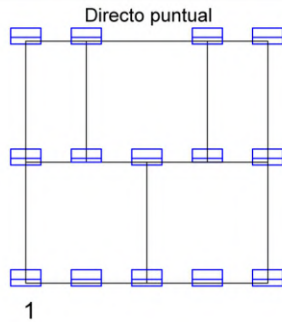
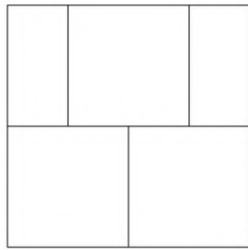
Juntas horizontales y verticales continuas. Formato de placas rectangular vertical con gran altura.



SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		R			
	Aspecto	O		O		V	O	V	O		V	O	
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		C	NA	C	NA	C		C		C	NA		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		1: Soporte resistente. 1: Anclajes para grandes cargas. 3,6: Montantes equidistantes + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de montantes si es necesario. 5: Montantes alineado con juntas verticales + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de montantes si es necesario. 7: Travesaños alineados con juntas horizontales para grandes cargas + Varias grapas de retención puntuales. 9: Mayor número de travesaños y de anclajes perimetrales.											
JUSTIFICACIÓN		2,4: En grandes cargas funciona peor el anclaje lateral. 8: Grapas no aptas para grandes cargas.											

# 14 CLASIFICACIÓN: GRAN FORMATO. JUNTAS DISCONTINUAS

Juntas horizontales y verticales contrapeadas. Formato de placas cuadrado o rectangular.

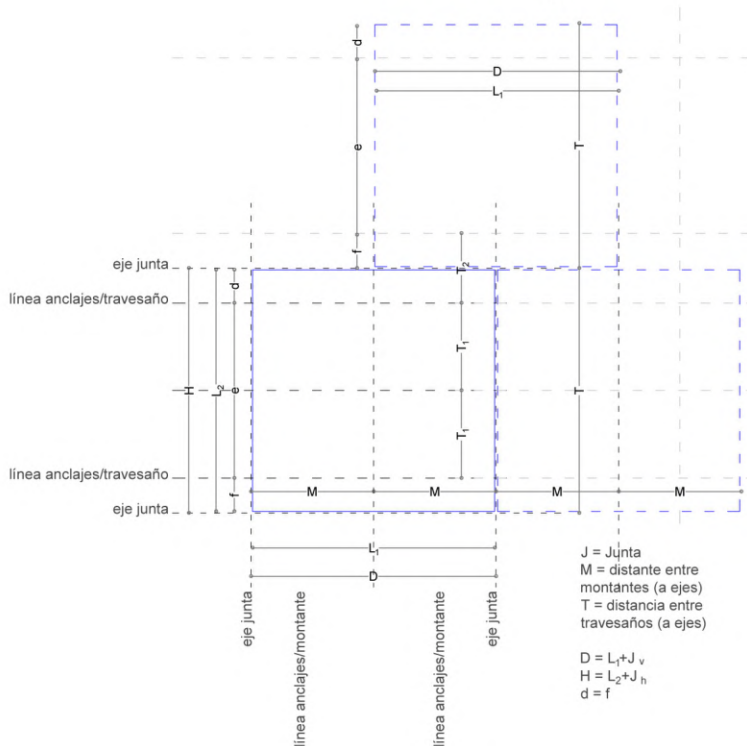


Montantes

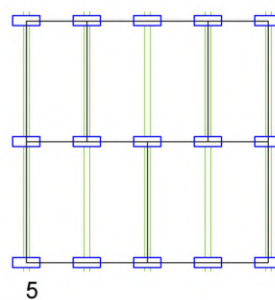


3

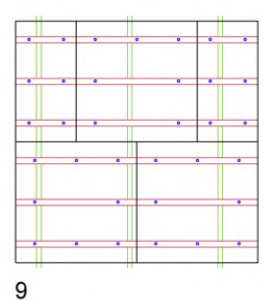
2



4



8



6

## SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS

Unión al soporte		Directo		Montantes				Montantes + travesaños				
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		R		
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	O		
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6	7	8	9	
IDONEIDAD		C	NA	C	NA	C		C	C	NA	C	
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.										
REQUISITOS		1: Soporte resistente. 1: Anclajes para grandes cargas + Aumento de grapas por placa. 5: Montantes alineado con juntas verticales + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de grapas. Aumento del nº de montantes si es necesario. 7: Travesaños alineados con juntas horizontales para grandes cargas + Grapas de retención puntuales. 9: Mayor número de travesaños y de anclajes perimetrales.										
JUSTIFICACIÓN		2,4: En grandes cargas funciona peor el anclaje lateral. 3,6: Sistema no compatible. 8: Grapas no aptas para grandes cargas.										



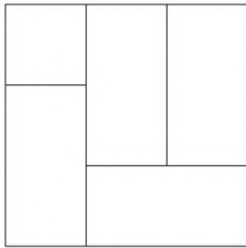
# 15 CLASIFICACIÓN: GRAN FORMATO. COMBINACIÓN / PATRÓN

Combinaciones o patrones sencillos. Formato de placas cuadrado o rectangular.

Directo puntual

Montantes

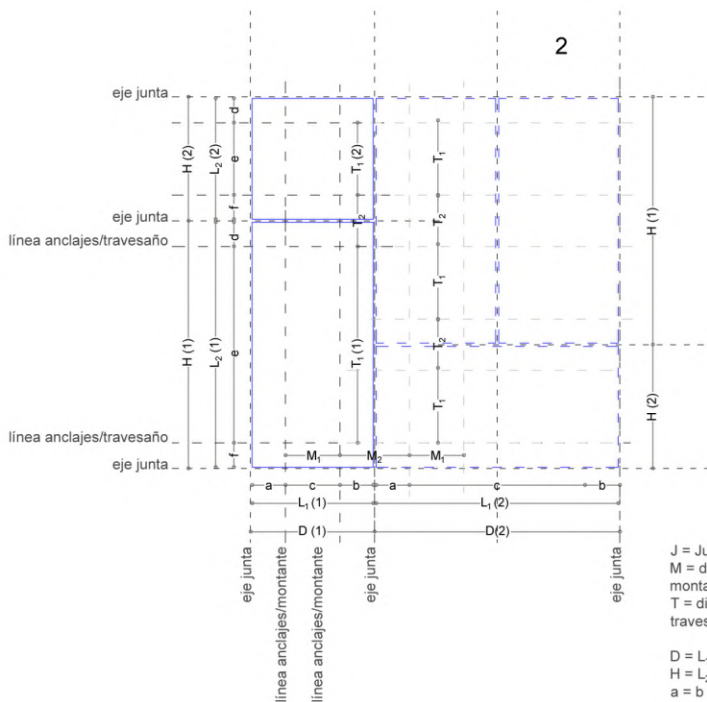
Montantes y travesaños



1

3

7

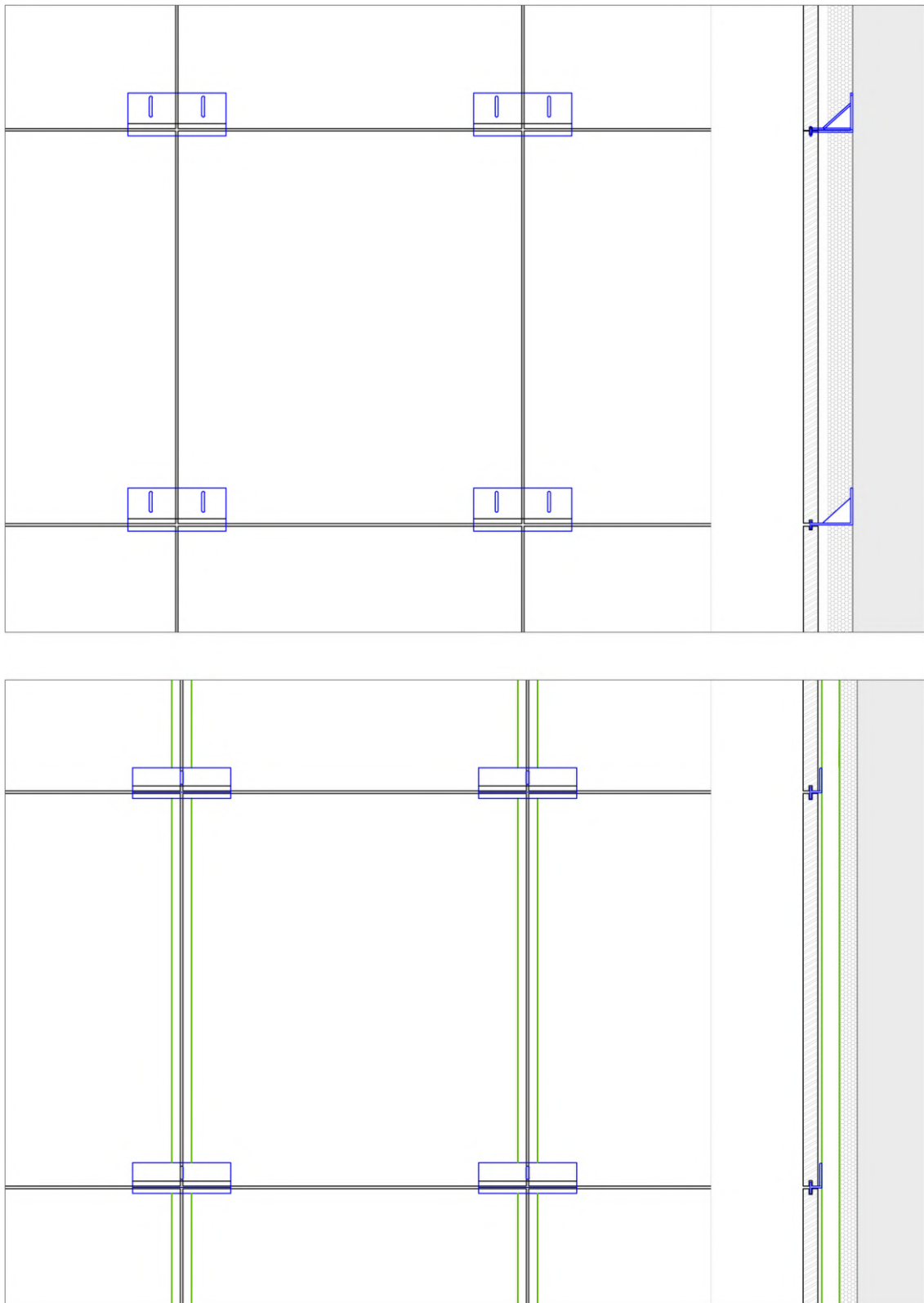


SISTEMAS DE ANCLAJE ANALIZADOS													
Unión al soporte		Directo		Montantes						Montantes + travesaños			
Unión a la placa	Posición	Jh	Jv	Jh	Jv	Jh		Jh		Jh		R	
	Aspecto	O		O		V	O	V	O	V	O		
	Grapa	P	P	P	P	Rd	U	Ra	U	Rc	Ra	U	D
SOLUCIÓN		1	2	3	4	5		6		7	8		9
IDONEIDAD		C	NA	C	NA	C		C		C	NA		C
LEYENDA		A = APTA. NA = NO APTA. C = CONDICIONADA.											
REQUISITOS		6: Montantes alineados con juntas verticales + Montantes equidistantes al borde de la placa + Grapas para grandes cargas. Aumento del nº de montantes y grapas si es necesario. 9: Mayor número de travesaños, equidistantes al borde de la placa, y de anclajes perimetrales.											
JUSTIFICACIÓN		1,2,3,4,5,7,8: Sistema no compatible.											

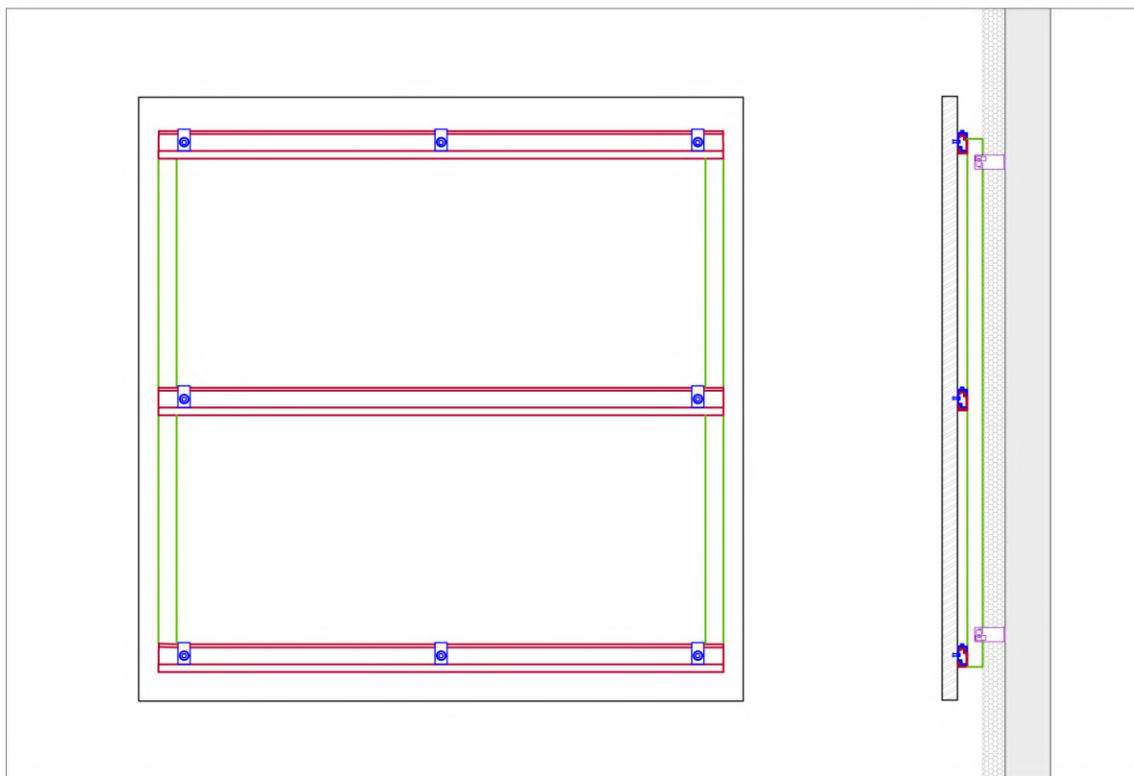
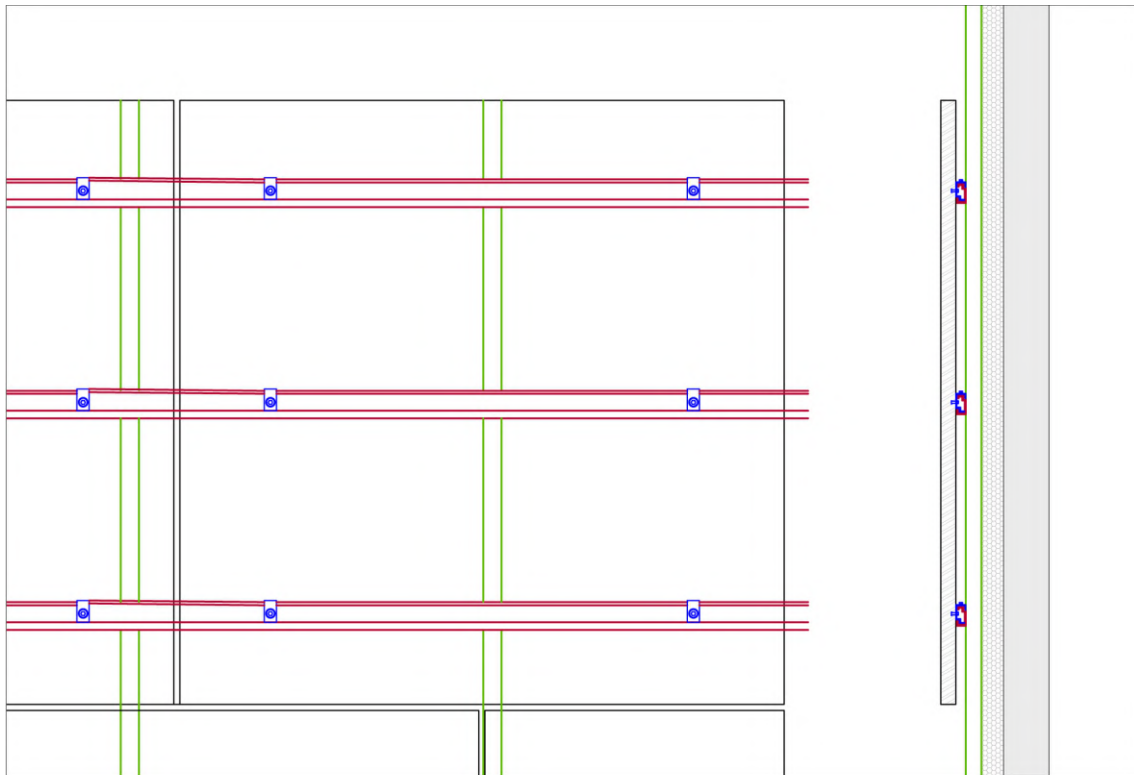
		13A	13B	14	15	
TIPOLOGÍA: DESPIECES DE GRAN FORMATO						
Directo regulable	Puntual					
	Bulón en junta vertical					
Mediante subestructura regulable	Montantes					
	Bulón en junta vertical					
	Grapa en ranura discontinua					
	Grapa en ranura aislada / Uñeta vista					
Montantes y travesaños	Perfil horizontal en junta continua					
	Grapas en ranura aislada					
	Destalonado de fondo					
						INTERPRETACIÓN DE SOLUCIONES ADMITIDAS PARA CONFIGURAR EL DESPIECE

## SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En este apartado se representan y ejemplifican, a mayor escala, estrategias de configuración para resolver alguno de los despieces analizados.



Despiece 13A. Juntas contrapeadas. Arriba, resuelto con subsistema a base de anclajes directos puntuales ubicados en las juntas horizontales. Se requieren anclajes específicos para grandes cargas. Abajo, resuelto con subsistema a base de montantes alineados con las juntas verticales y grapas de ranura discontinua específicas para grandes cargas ubicadas en las juntas horizontales.



Despiece 14. Juntas discontinuas. Arriba, resuelto con subsistema a base de montantes equidistantes y varios travesaños por placa. Las placas se fijan a los travesaños mediante anclajes por destalonado ubicados en el reverso de la placa, alrededor del perímetro. Abajo, misma solución con subsistema de perfilería perimetral.

### 5.3.6 DESPIECES VOLUMÉTRICOS

#### DEFINICIÓN TIPOLOGICA

Esta tipología admite soluciones más complejas, siendo la más compleja de resolver respecto a los subsistemas de anclaje estándar y, por tanto, más costosa. De todas las tipologías revisadas sigue siendo la menos utilizada, quedando su uso relegado a edificaciones singulares.

La singularidad de estas soluciones implica la dificultad añadida de separar los distintos procesos de creación de la fachada, desde el concepto, el diseño del despiece, configuración y cálculo del subsistema de anclaje, elaboración de documentación, extracción y transformación de la piedra, ensayos e instalación en obra. Es fundamental que haya una interconexión de ida y vuelta entre todos estos procesos y las personas encargadas de los mismos para asegurar un resultado final adecuado.

Las soluciones pueden englobarse en dos subgrupos, en función del tipo de placa utilizada: fachadas con piezas de revestimiento en 3 dimensiones y fachadas con placas planas. Cuando se utilizan piezas en 3 dimensiones, estas son las encargadas de crear la imagen tridimensional de la fachada. Esta solución, poco vista hasta el momento, adquiere ahora nuevas posibilidades gracias al uso de software de modelado 3D y a la maquinaria de corte equipada con motores controlados por ordenador mediante sistemas CNC.

#### EJEMPLOS

En varias de las fachadas del Parlamento de Malta (2007-2015) se utiliza un revestimiento a base de piezas de piedra caliza de Malta donde se recupera la idea de las antiguas fachadas de piedra de gran espesor por varios motivos. Por un lado, para integrarse con el resto de las edificaciones del entorno y, por otro lado, para proporcionar funciones añadidas a la fachada de control del soleamiento, a modo de parasol encargado de tamizar la entrada de luz.

Los bloques de piedra se obtienen partiendo de un paralelepípedo de 55,5 x 48,6 x 50 centímetros, sobre el que se hacen una serie de recortes teniendo en cuenta la orientación de la luz solar más desfavorable. La fijación de las placas de piedra en este ejemplo supuso un reto para conseguir un sistema eficiente y adecuado para la sujeción de estas piezas irregulares y con un ala en vuelo, de tal manera que la unión sea estable y, por otro lado, para conseguir un tipo de unión que sea válida para la fijación de todos los tipos de piezas utilizadas. Las piezas pétreas se fijan a travesaños mediante 4 anclajes en L ubicados en las esquinas en el reverso de la placa, que a su vez transmiten las cargas a la estructura de acero del edificio mediante ménsulas-separadores fijados a placas de anclaje. Para la unión entre piedra y anclaje en L se utilizó un sistema de anclajes por destalonado de fondo y tuerca cilíndrica patentado, ya que tras los ensayos realizados resultó ser el más eficiente para la variedad de piedra utilizada y el que generaba un cono de tensiones más distribuido (Ramsey, 2016).

Estos ejemplos, en los que hay un catálogo de varias piezas a instalar en la fachada requiere, además de un enorme esfuerzo previo en cuanto a previsión, ensayos, definición, numeración y organización, una cuidada puesta en obra y un evidente aumento en el presupuesto. El uso de esta tipología queda por tanto relegado a obras singulares y su uso no está extendido de momento a las fachadas en edificios más convencionales.

En una fachada de tal envergadura se hace imprescindible el uso de sistemas de modelado 3D así como software y tecnología puntera que permita una definición exacta de los bloques, además de una

optimización y mayor control sobre los procesos de modelado y transformación de las piezas, elaboración de documentación técnica, mediciones organización de los trabajos y puesta en obra. El estudio previo de los puntos singulares también es fundamental para evitar problemas de comportamiento no contemplados.

En el caso de utilizar piezas planas, el diseño tridimensional se consigue mediante la utilización de una subestructura cuya configuración se encarga de resolver la diferencia de planos de apoyo entre el revestimiento y el soporte. Para resolver estas configuraciones es habitual definir uno o varios patrones más o menos complejos que se va repitiendo o combinando, de tal manera que las subestructuras de montaje sobre las que se montan las placas del revestimiento se pueden fabricar en serie y montar en taller. En todo caso se requerirá un estudio detallado de todos los puntos singulares y se deberá generar numerosa documentación técnica en proyecto para evitar problemas en obra.

En el Museo de Liverpool (3XN arquitectos, 2011) se utiliza este sistema de tal manera que se repite un patrón como una reinterpretación de un detalle arquitectónico de los edificios monumentales del entorno. Este patrón, compuesto por 6 caras de piedra caliza, se repite a lo largo de la fachada creando sombras diferentes en cada una de las caras en función de la hora del día y obteniendo una imagen de piel moldeable y orgánica que recuerda al efecto de sol sobre el agua.

La dificultad para la resolución de este tipo de fachadas consiste en definir una solución para el elemento patrón, que sirva al mismo tiempo para la fijación del resto sin añadir complicaciones en la puesta en obra. Una cuestión a tener en cuenta y que va a condicionar la configuración del subsistema de anclaje es la utilización de cantos en ángulo en las placas, al producirse cambios de plano entre placa y placa. A la hora de definir la volumetría se deben tener en cuenta las uniones entre placa - placa y entre patrón - patrón, evitando las soluciones que favorezcan la entrada de agua.

El Centro cultural Kyushu Geibunkan (Fukuoka, Japón, Kengo Kuma, 2008-2012) se integra en el paisaje mediante su volumetría a base de fachadas plegadas. Las fachadas revestidas con placas de piedra se resuelven con un sistema de fachada trasventilada tecnológica, que permite el movimiento rotatorio de las placas. La solución de anclaje parte de la idea explicada en el caso anterior pero, para permitir el movimiento individualizado, se ha considerado que cada una de las placas forma un patrón independiente. El subsistema consiste en una serie de montantes en forma de perfil en L. Cada placa lleva en su reverso un marco equidistante al borde y 4 ménsulas con perfiles de sección en L. Las placas van unidas a este marco mediante anclajes por destalonado en el reverso. Cada uno de estos patrones se unen a los montantes mediante un sistema de anclajes móviles que permite el movimiento rotatorio controlado por domótica.



Figura 5.32. Edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. Puerta de La Valeta. Despice 16. Fotografía de Michel Denancé. <https://arquitecturaviva.com/obras/puerta-de-la-valeta> (Consulta el 08.09.2020)

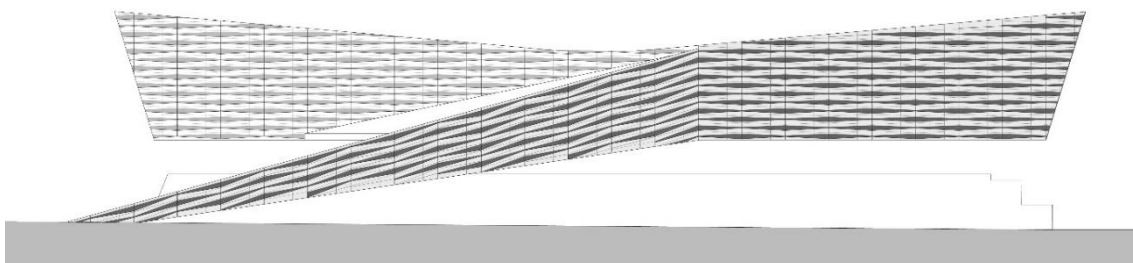
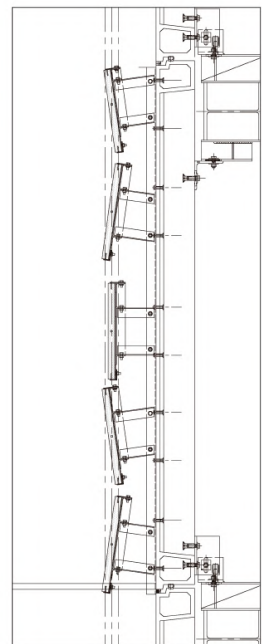
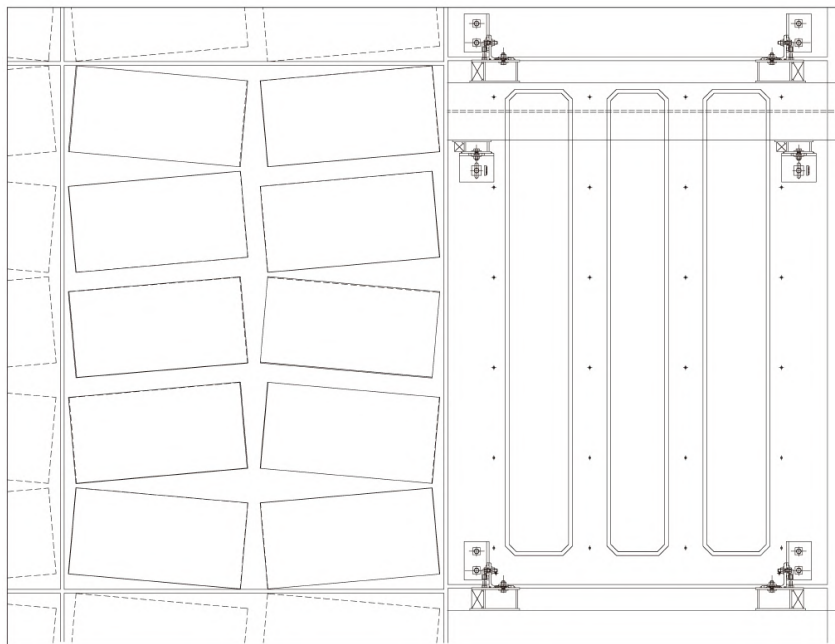
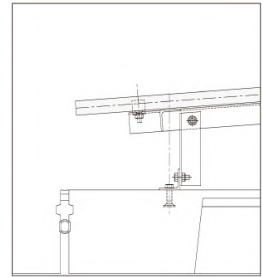
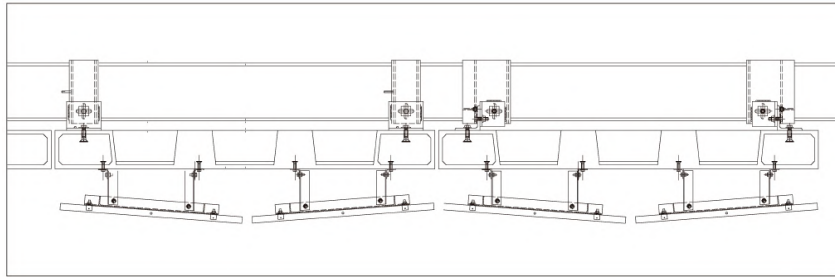


Figura 5.33 (arriba). Museo de Liverpool (3XN arquitectos, 2011). Despiece 17.  
<https://www.architectsjournal.co.uk/news/museum-of-liverpool-by-3xn-and-aew-architects/1994293.article>.  
(Consulta el 21.11.2019)  
Figura 5.34 (abajo) Esquema fachada. Elaboración propia.





Figuras 5.35 y 5.36. Centro cultural Kyushu Geibunkan de Kengo Kuma, (Fukuoka, Japón, 2008-2012). Despiece 17. Fotografía y detalles de Kengo Kuma & Associates. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-302569/kyushu-geibunkan-kengo-kuma-and-associates> (Consulta el 21.11.2019)

## CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

Al igual que sucede con los despieces de grandes dimensiones, en el caso de los tridimensionales también es habitual alcanzar cargas elevadas y excentricidades superiores, que podrían provocar el vuelque de la fachada, por lo que en los casos en que la subestructura se fije al soporte se debe comprobar el espesor necesario del mismo. Por este motivo y dado que la tendencia hoy en día va en la línea de utilizar soportes con menor espesor o incluso ligeros, el sistema de transmisión de cargas en esta tipología es más habitual directamente a la estructura, pudiendo ser de muros estructurales, cantos de los forjados o estructuras metálicas discontinuas.

La configuración del subsistema de anclaje se diferencia para las dos variantes de despieces admitidas en esta tipología. Aunque pueden definirse las estrategias generales para su resolución, esta tipología tiene una componente de singularidad que hace que la definición concreta del sistema de fijación de las placas o piezas de piedra se tenga que hacer de manera individualizada para cada caso. Como demuestran los ejemplos analizados anteriormente, cuanto menos estandarizada sea la pieza o patrón utilizado más trabajo personalizado va a requerir.

Por este motivo la explicación del subsistema de anclaje se hará a través del análisis de un ejemplo de cada subtipología. Para el caso de despieces volumétricos con piezas tridimensionales se ha seleccionado el Edificio para el Nuevo Parlamento en Malta y para el caso de despieces volumétricos con piezas planas se ha seleccionado el Museo de Liverpool.

Tipología		Subtipo
Singulares	Volumétrico	16. Con piezas tridimensionales
		17. Con piezas planas

## 16 CLASIFICACIÓN: VOLUMÉTRICO. CON PIEZAS TRIDIMENSIONALES

En este caso la estrategia para la fijación pasa por utilizar una subestructura de acero apta para resistir grandes cargas, en general con dos posibles configuraciones. La dificultad de la configuración cuando se utilizan este tipo de piezas es que las placas de piedra suelen tener un formato reducido en comparación con el alto espesor que alcanzan, más típico de los sillares, lo que dificulta los cálculos y el posicionamiento de los anclajes. Las dos configuraciones de anclajes más adecuadas son:

- Configuración de anclajes equivalente a Solución 3, 5 o 6, condicionada: Compuesta por montantes y grapas puntuales adaptadas a las piezas tridimensionales, a su carga, a su espesor y, por tanto, a su excentricidad. Si las placas de piedra tienen una base horizontal se usan grapas de carga, de ranura puntual, discontinua o de pivote, en la base de la pieza, complementadas por grapas de retención en la junta superior o en las juntas laterales.
- Configuración de anclajes equivalente a Solución 9, condicionada: Compuesta por montantes y travesaños, fijándose cada pieza mediante varios anclajes por destalonado en el reverso de la placa. El número de anclajes dependerá del peso y dimensiones de las piezas, siendo el mínimo 4 anclajes. En caso de necesitarse un número de anclajes superior, las cargas se repartirán entre el número de anclajes equidistantes alrededor del perímetro de la placa. Para utilizar esta solución se requiere que la cara del reservo de la placa sea paralelo al soporte.

El proceso requerido para la configuración de la subestructura en este caso comienza con la definición del tipo o tipos de piezas. Posteriormente se configura el despiece a partir de las piezas disponibles, basado en estrategias de traslación, rotación, simetría o combinación de las piezas, para lo que se requiere un plano de despiece de la fachada completa en la que se numeran las piezas por tipos. Finalmente se define el sistema de fijación de cada una de ellas. Trasladados estos pasos al ejemplo mostrado, se resumen en:

1. Definición del concepto y de la pieza/s tipo. Las piezas diseñadas en este caso tienen una configuración masiva moldeada que aporta a la fachada nuevas funciones de control de las condiciones de luz y temperatura y, por tanto, una mejora en las condiciones de eficiencia energética del edificio.
2. Configuración del despiece. En esta etapa se define el sistema para la configuración de la fachada, describiendo los tipos de piezas diferentes y las posiciones de los mismos como generación del despiece. En el ejemplo estudiado la fachada se forma mediante un efecto de superposición vertical de varios tipos de piezas en un orden determinado.
3. Selección de la piedra a utilizar: búsqueda de piedra con características adecuadas y en suficiente cantidad, supervisión de su extracción y transformación y ensayos para verificar que cumplan con los requisitos de resistencia.
4. Sistema de fijación de las placas. En esta fase se estudia la compatibilidad con el soporte, con la estructura o la inclusión de una subestructura intermedia que se encargue de trasladar las cargas. En el ejemplo mostrado se tomó la decisión de fijar las placas mediante un sistema ideado por CFF Filiberti y patentado, basado en anclajes de expansión por destalonado en el reverso de la placa y tuerca cilíndrica, que producen una distribución de tensiones adecuada. Cada pieza tiene 4 anclajes equidistantes al borde. Las cargas de las piezas se transmiten a una subestructura de travesaños con perforaciones en su parte superior y, posteriormente, se fijan mediante ménsulas de carga a placas de anclaje ubicadas en la estructura metálica de entramado.



Figura 5.37 ,5.38, 5.39 ,5.40 y 5.41 (arriba izquierda, centro). Proceso de diseño y producción de las piezas. Sapienza, Vincenzo (2014). Il nuovo parlamento di Malta: immagine architettonica e tecnica costruttiva. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*. 2014, Vol. 8. pp. 221-223.

Figura 5.42 y 5.43 (arriba centro y derecha). Ramsey, Kevin (2020). <https://www.ramseystone.com/portfolio/valletta-city-gate-malta/> (Consulta el 21.11.2019)

Figura 5.44 (abajo). Fotografía de Matthew Mirabelli. <https://timesofmalta.com/articles/view/Unesco-to-probe-City-Gate-project.478987> (Consulta el 21.11.2019)

## 17 CLASIFICACIÓN: VOLUMÉTRICO. CON PIEZAS PLANAS

En este caso la estrategia para la fijación se basa en la utilización de una subestructura de montaje que se encarga de configurar la forma tridimensional diseñada y de dar soporte a las placas, formando patrones que trabajan de manera independiente. Estas subestructuras tienen la ventaja de poder fabricarse en taller, de tal manera que los distintos patrones pueden venir premontados de fábrica y en obra únicamente se requiere su unión al soporte o a la estructura. Las dos configuraciones de anclajes más adecuadas son:

- Fijación directamente al soporte o a la estructura: en este caso la subestructura puede traer incorporadas las lengüetas de fijación encargadas de transmitir las cargas a la estructura o soporte mediante los anclajes adecuados según su material.
- Fijación a una subestructura intermedia, compuesta por montantes, travesaños o ambos: cuando se requiere una distancia elevada entre el soporte y el revestimiento o cuando se utilicen soportes ligeros, con poco espesor o poco resistentes se incorpora una subestructura intermedia a base de montantes y/ travesaños fijados a los forjados, posicionados según las dimensiones del patrón, de tal manera que las subestructuras de montaje se fijan a la subestructura y siendo esta la encargada de transmitir las cargas a la estructura. Esta opción facilita el replanteo y su fijación en obra.

El proceso requerido en este caso es la definición del patrón o patrones, incluyendo la subestructura y el sistema de fijación de las placas de piedra al mismo. Cuando se utilizan placas con forma no rectangular la unión por destalonado de fondo es la más adecuada, de tal manera que los cantos de las placas quedan libres de anclajes. Si las piezas fueran rectangulares sí podrían utilizarse otros métodos de fijación a la placa como grapas en ranuras puntuales o grapas de pivote de carga y/o retención. Posteriormente se configura el despiece basado en diferentes estrategias como traslación, simetría, giro o combinación de los patrones. Se requiere un plano de despiece de la fachada completa en la que se numeran los patrones por tipos. Trasladados estos pasos al ejemplo mostrado, se resumen en:

1. Definición del patrón/es y subsistema de montaje. En el ejemplo del Museo de Liverpool el patrón está compuesto por una subestructura compuesta por perfiles tubulares y perfiles plegados encargados de formar la sección tridimensional y de recibir el apoyo de las placas de piedra. Cada patrón incluye 9 placas de piedra, incluyendo 6 tipos de diferentes dimensiones. Además de las dimensiones y el espesor debe definirse el tipo de canto al no estar en el mismo plano, distinguiéndose aquellas que presentan un canto o acabado diferente.
2. Sistema de fijación de las placas a la subestructura de montaje. Las placas de piedra se unen al soporte de montaje mediante anclajes por destalonado de fondo, de forma que la posición de los perfiles incluidos debe ser compatible con la posición de los anclajes de la piedra.
3. Configuración del despiece. En este caso el despiece se configura mediante simetría de los patrones respecto a un eje vertical y respecto a un eje horizontal.
4. Sistema de fijación de los patrones. Las subestructuras de montaje llevan incorporadas 4 lengüetas en sus extremos, para su fijación a la estructura metálica de entramado, de tal manera que la longitud de los patrones se ha establecido a partir de la distancia a ejes entre elementos estructurales.

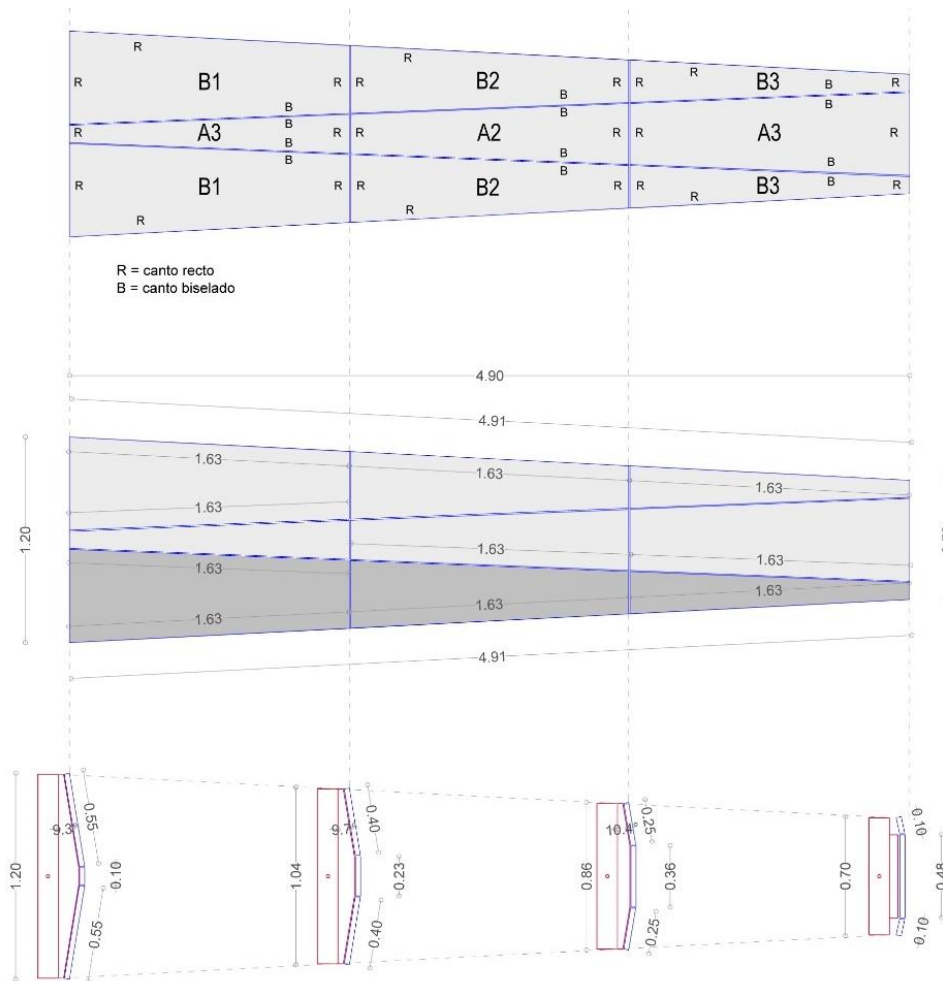


Figura 5.45 (arriba). Esquema del proceso de diseño y configuración del despiece. Elaboración propia  
Figura 5.46 y 5.47 (abajo). Fotografías de Mogens y Hedegaard Andersen. <https://www.stoneworld.com/gdpr-policy?url=https%3A%2F%2Fwww.stoneworld.com%2Farticles%2F85756-new-liverpool-landmark-is-defined-by-jura-limestone#:~:text=The%20new%20Museum%20of%20Liverpool,of%20Kaldorf%2C%20Titting%2C%20Germany.>  
(Consulta el 21.11.2019)

### 5.3.7 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SUBSISTEMA

Para seleccionar el subsistema de anclaje más adecuado es fundamental el entendimiento del funcionamiento de estos sistemas: reparto y transmisión de cargas, posición del subsistema de anclaje respecto a la placa y función de los anclajes y de las grapas, distinguiendo las que asumen funciones de cargas de las que asumen funciones de retención.

El análisis previo de despieces ha demostrado que la mayor parte admiten su resolución mediante más de una solución. Para seleccionar la más adecuada habrá que tener en cuenta el resto de condicionantes de proyecto en cuanto a la variedad de piedra, soporte, tipología de proyecto y resolución de puntos singulares. No obstante, se pueden establecer los siguientes criterios generales para la selección del subsistema de anclaje.

#### Soporte:

- El tipo, espesor y resistencia del soporte condiciona los subsistemas de anclaje admisibles.
- Cuando se utilice un soporte que no permita la fijación de anclajes de carga, se debe resolver mediante un subsistema a base de perfilaría.

#### Análisis del formato de las placas y la proporción entre sus lados:

- La proporción entre la anchura y altura de las placas va a determinar qué sistema es más adecuado para utilizar la densidad de anclajes más eficiente.
- Las soluciones de anclajes ubicados en las juntas verticales favorecen placas con mayor altura que anchura.
- Las soluciones de anclajes ubicados en las juntas horizontales favorecen placas con mayor anchura que altura.
- Si las piezas tienen una base de dimensiones reducidas se utilizarán subsistemas a base de travesaños, para reducir la densidad de anclajes y facilitar la colocación del aislamiento.

#### Análisis de las juntas continuas predominantes:

- Los despieces con juntas horizontales continuas se pueden resolver con subsistemas a base de montantes y travesaños.
- Los despieces con juntas verticales continuas se pueden resolver con subsistemas a base de montantes.
- Los despieces resueltos con anclajes o grapas ubicadas en los cantos de las placas requieren juntas predominantes verticales u horizontales según el caso.
- En general, los despieces con juntas discontinuas dificultan la resolución del despiece e incrementan la densidad de anclajes necesarios. Cuantas más juntas verticales u horizontales discontinuas haya se producirá una mayor multiplicidad de anclajes.
- Los despieces con juntas verticales contrapeadas cada dos hiladas se pueden resolver con subsistemas de montantes o de montantes y travesaños.

- En los despieces con muchas juntas discontinuas y no coincidentes son preferibles las soluciones mediante subsistema de anclaje ya que facilitan el replanteo.
- Cuando se utilizan despieces con un patrón que se repite habrá que analizar el patrón y las juntas predominantes. En este tipo de despieces suele haber una junta continua predominante, bien horizontal o vertical.
- Cuando no hay juntas continuas o rectas se dificulta la utilización de anclajes o grapas ubicadas en los cantos de las placas. En estos casos se pueden utilizar subsistemas de travesaños y anclajes en el reverso de la placa.
- Cuando los despieces se ubican en secciones diferenciadas de la fachada, se puede utilizar una configuración diferente del subsistema de anclaje para cada sección del despiece. De este modo se evita el desperdicio innecesario de perfilera.
- Es imprescindible la previsión de juntas en el despiece compatibles con las juntas de dilatación entre montantes y travesaños, asegurando que una misma placa no se fije al mismo tiempo a dos perfiles independientes.

#### Tipologías de anclajes:

- Cuando se utilicen anclajes encargados de soportar el peso de placas de diferentes dimensiones se debe calcular el anclaje teniendo en cuenta el peso de las placas de mayores dimensiones, de tal manera que se puedan utilizar el mismo modelo de anclaje en ambas hiladas, facilitando la puesta en obra por parte de los operarios.
- Los anclajes por destalonado en el reverso de la placa son más versátiles al liberar el canto de las placas y admitir un margen mayor de distancias a la hora de posicionar los travesaños.
- Cuando el plano de la placa de piedra no es paralelo al soporte, es probable que requiera la modificación del elemento de unión a las placas.
- Cuando se utilizan cargas o excentricidades elevadas se requieren cálculos específicos del subsistema de anclaje, utilización de elementos específicos para soportar grandes cargas, y comprobación de las condiciones del soporte, en su caso.
- El hecho de que el plano de apoyo de las placas de piedra no sea horizontal añade una serie de dificultades complejas de resolver, como la transmisión de la carga y la aparición de tensiones en la placa no simétricas y una mayor probabilidad de rotura de las placas por arrancamiento en el entorno de la perforación.
- Los despieces en forma de planos tridimensionales que forman distintos ángulos respecto al soporte, no siendo paralelos al mismo, se pueden resolver mediante subestructuras de montaje a medida que proporcionen apoyos estables para las placas y resuelvan las diferencias de planos.



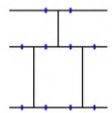
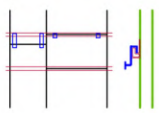
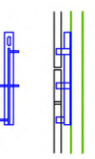
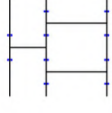
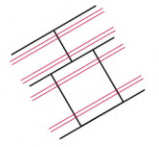
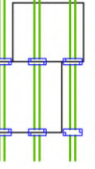
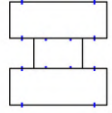
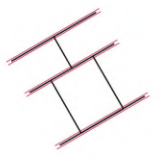
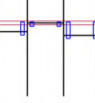

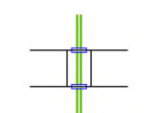
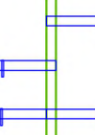
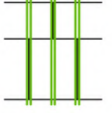
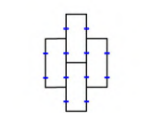
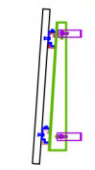

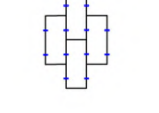

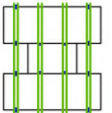


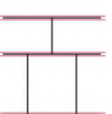
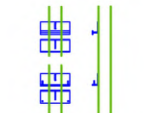
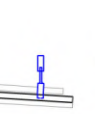
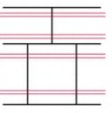
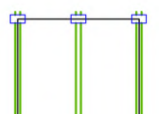

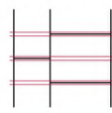
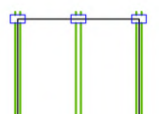

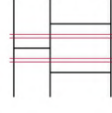
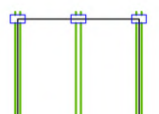
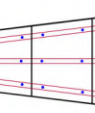
### 5.3.8 ESTRATEGIAS PROYECTUALES DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER DESPIECES SINGULARES

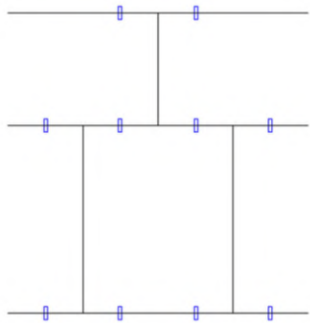
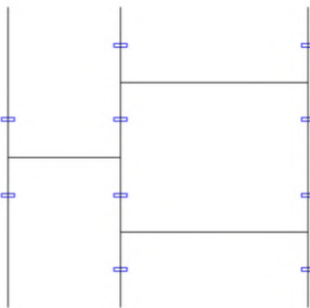
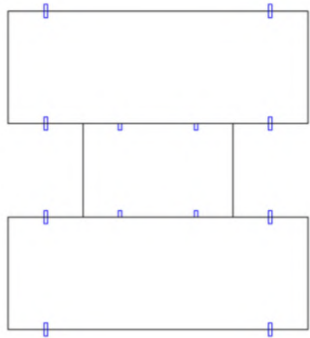
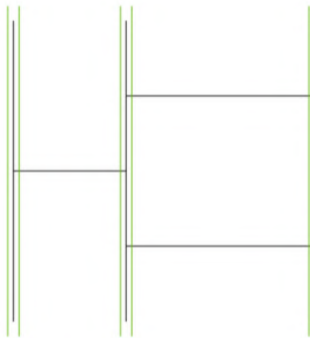
La mayor parte de los despieces de piedra natural utilizados en proyecto se engloban dentro de lo que se consideran despieces singulares, dado que requieren alguna adaptación o modificación respecto a la configuración convencional del subsistema de anclaje. Para definir estas variaciones el análisis de la relación anclaje-despiece es clave para el proyectista. Una configuración mal diseñada o una inadecuada compatibilidad despiece – subsistema de anclaje puede obligar a duplicar o triplicar el número de montantes y/o travesaños, con el consiguiente coste añadido.

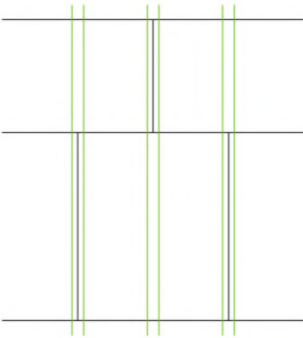
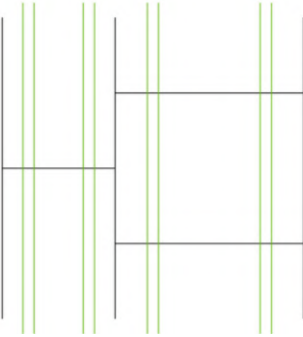
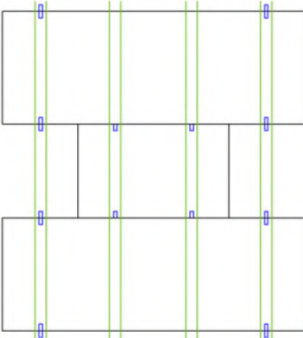
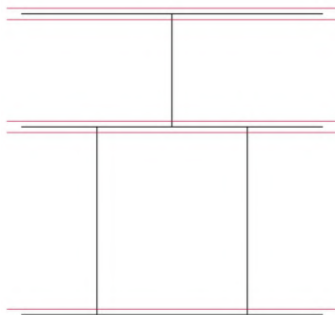
Tras el análisis de las distintas tipologías y subtipologías de despieces se han identificado una serie de estrategias de configuración, que pueden englobarse en 3 bloques, en función del grado de modificación:

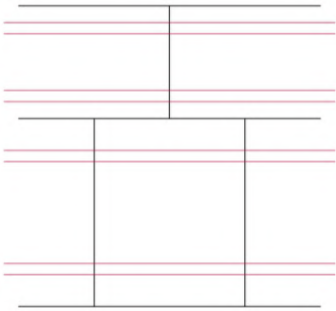

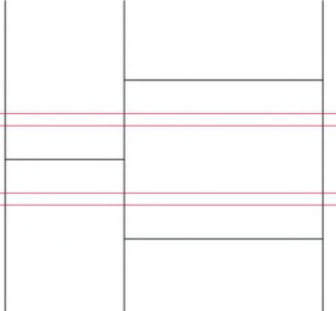
- Adaptación simple: se resuelve mediante variaciones en la posición de elementos o la introducción de nuevas grapas o anclajes disponibles en el sistema. No se modifica la configuración general.
- Adaptación compleja: se resuelve mediante la introducción de elementos no previstos en la configuración, pero sí existentes en el sistema. Se modifica la configuración general.
- Modificación: se resuelve mediante la modificación de un elemento del sistema o mediante la introducción de un nuevo elemento no disponible en el sistema. Se modifica la configuración general y se introducen elementos nuevos.

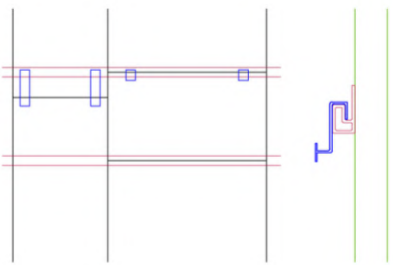
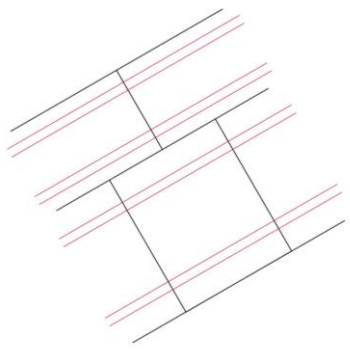
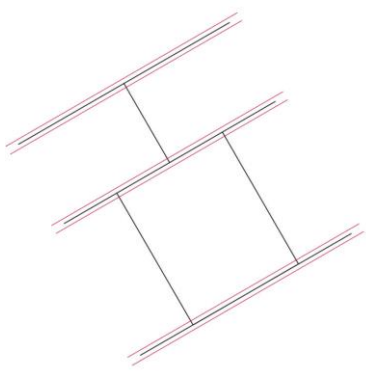
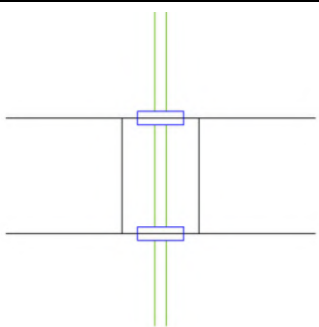
ESTRATEGIAS PARA RESOLVER DESPIECES SINGULARES		
ADAPTACIÓN SIMPLE	ADAPTACIÓN COMPLEJA	MODIFICACIÓN
Anclajes equidistantes a juntas verticales	Grapas de descuelgue	Grapas pivote multiposición
Anclajes equidistantes a juntas horizontales	Travesaños inclinados equidistantes, posicionados según banda	Grapas asimétricas
Anclajes/grapas calculadas por placa	Travesaños inclinados coincidentes con las juntas inclinadas.	Grapas en vuelo
Montantes compatibles con juntas verticales	Montante único por placa	Grapas de descuelgue multitaladro
Aumentar el nº de montantes coincidentes con las juntas verticales	Anclajes en posición no simétrica	Montante de morfología adaptada
Travesaños equidistantes al borde de la placa	Anclajes puntuales adaptados para grandes cargas	Grapas de morfología adaptada
Aumentar el nº de montantes	Subestructura adaptada para grandes cargas	Anclajes de morfología adaptada
Travesaños compatibles con juntas horizontales	Aumentar nº de montantes / anclajes en juntas horizontales	Grapas de morfología adaptada en dos direcciones
Travesaños equidistantes, posicionados según banda		Subestructura de montaje perimetral
Aumentar nº de travesaños, compatibles con las juntas horizontales		Subestructura de montaje adaptada
Travesaños a puntos medios		

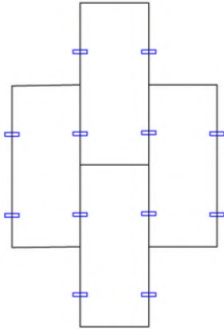
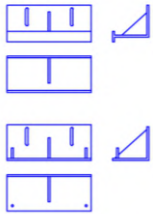
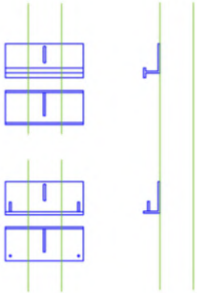
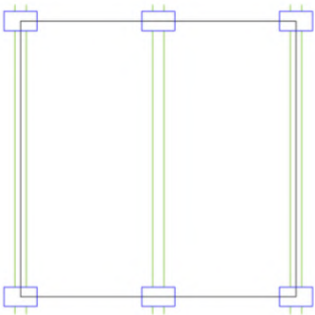
ADAPTACIÓN SIMPLE	ADAPTACIÓN COMPLEJA	MODIFICACIÓN
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

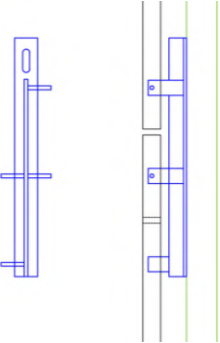
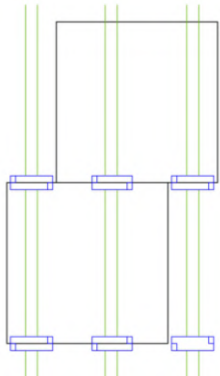
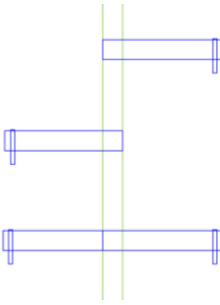
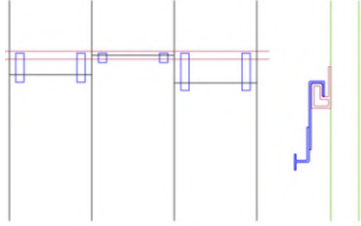
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN SIMPLE	
<b>Anclajes equidistantes a juntas verticales</b>	
	<p>Cuando las juntas verticales se contrapean se puede posicionar el eje de montantes / anclajes en juntas horizontales en el punto medio entre las juntas verticales.</p> <p>En estos casos los puntos de anclaje no van a quedar a una distancia de 2,41 L del borde de la placa, pero sí aproximada.</p>
<b>Anclajes equidistantes a juntas horizontales</b>	
	<p>Cuando las juntas horizontales se contrapean se puede posicionar el eje de anclajes en juntas verticales en el punto medio entre las juntas verticales.</p> <p>En estos casos los puntos de anclaje no van a quedar a una distancia de 2,41 L del borde de la placa, pero sí aproximada.</p>
<b>Anclajes/grapas calculadas por placa</b>	
	<p>Si las juntas no se contrapean a puntos medios hay que estudiar el posicionamiento de las fijaciones. En general se va a producir un aumento en el número de anclajes requerido o bien la combinación de anclajes de inicio-fin que únicamente sirven para una placa. En algunos casos se puede valorar la opción de posicionar los anclajes de carga en su posición requerida según sistema (generalmente aproximadamente a una distancia de 2,41 L del borde de la placa, y dejar que las grapas de retención queden a una distancia mayor o menor, de tal manera que no haya que duplicar anclajes.</p>
<b>Montantes compatibles con juntas verticales</b>	
	<p>Cuando hay juntas verticales continuas y bandas de placas de distinta anchura se pueden posicionar los montantes alineados con las juntas verticales, de tal manera que no serán equidistantes entre sí, sino que su distancia dependerá del ancho de la banda de placas.</p>

Aumentar el nº de montantes coincidentes con las juntas verticales	
	<p>Cuando hay juntas verticales contrapeadas se pueden posicionar los montantes de tal manera que coincidan con todas las juntas verticales del despiece. Esta opción se puede utilizar cuando las juntas verticales coinciden cada dos hiladas, de tal manera que el nº de montantes no sea excesivo. Esta opción permite posicionar grapas en las juntas verticales de las placas.</p>
Travesaños equidistantes al borde de la placa	
	<p>Cuando hay juntas verticales continuas y bandas de placas de distinta anchura se pueden posicionar los montantes equidistantes a los lados de las placas, de tal manera que su posición se calcula para cada una de las bandas de forma independiente. Esta opción permite posicionar las grapas en las juntas horizontales de las placas.</p>
Aumentar el nº de montantes	
	<p>Cuando las placas tienen anchos distintos y las juntas verticales se contrapean se puede aumentar el nº de montantes, posicionándolos equidistantes a cada lado de las placas. Esta opción permite posicionar grapas de continuación o de inicio-fin para sujetar las placas.</p> <p>Cuando las juntas verticales están muy próximas entre sí o no coinciden en hiladas alternas no se recomienda esta opción.</p>
Travesaños compatibles con juntas horizontales	
	<p>Cuando hay juntas horizontales continuas y bandas de placas de distinta altura se pueden posicionar los travesaños alineados con las juntas horizontales, de tal manera que no serán equidistantes entre sí, sino que su distancia dependerá de la altura de la banda de placas.</p>

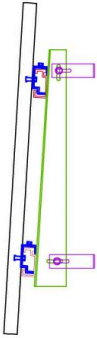
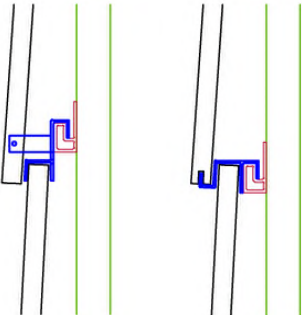
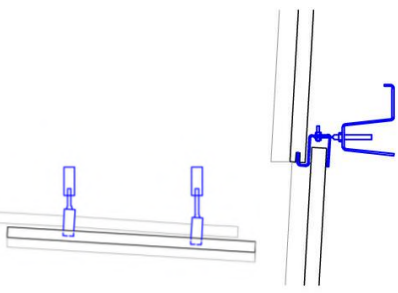
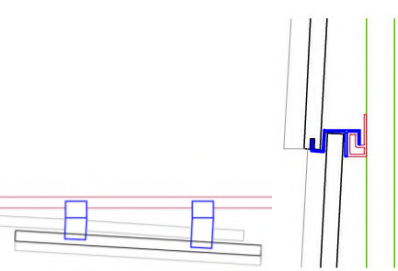
Travesaños equidistantes, posicionados según banda	
	<p>Cuando hay juntas horizontales continuas y bandas de placas de distinta altura se pueden posicionar los travesaños equidistantes a los lados de las placas, de tal manera que no serán equidistantes entre sí, sino que su distancia dependerá de la altura de la banda de placas.</p>
Aumentar nº de travesaños, compatibles con las juntas horizontales	
	<p>Cuando hay juntas horizontales contrapeadas se pueden posicionar los travesaños tal manera que coincidan con todas las juntas horizontales del despiece. Esta opción se puede utilizar cuando las juntas horizontales coinciden cada dos hiladas, de tal manera que el nº de travesaños no sea excesivo. Esta opción permite posicionar grapas en las juntas horizontales de las placas.</p>
Travesaños a puntos medios	
	<p>Cuando las juntas horizontales se contrapean se puede posicionar el eje de travesaños en el punto medio entre las juntas horizontales. Esta opción permite posicionar grapas de descuelgue o anclajes en el reverso de la placa, en cuyo caso hay que comprobar que la distancia del anclaje al borde de la placa cumple las distancias máximas permitidas por el fabricante.</p>

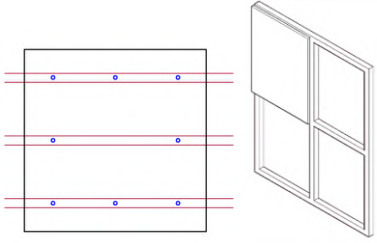
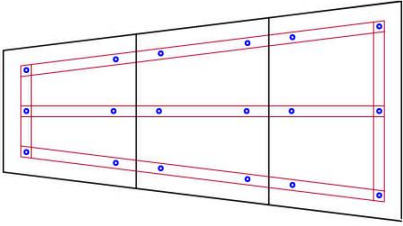
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN COMPLEJA	
<b>Grapas de descuelgue</b>	
	<p>Cuando las juntas horizontales son discontinuas cada dos hiladas, pero cercanas entre sí, se puede utilizar travesaños coincidentes con la junta superior y combinarlo con grapas estándar y grapas de descuelgue ubicadas en la junta horizontal de las placas.</p>
<b>Travesaños inclinados equidistantes, posicionados según banda</b>	
	<p>Cuando las juntas horizontales entre placas se presentan inclinadas pero continuas, se pueden posicionar los travesaños con la misma inclinación y equidistantes a los bordes de las placas, calculando su posición para cada una de las bandas inclinadas. Esta opción permite posicionar anclajes en el reverso de la placa.</p>
<b>Travesaños inclinados coincidentes con las juntas inclinadas.</b>	
	<p>Cuando las juntas horizontales entre placas se presentan inclinadas pero continuas, se pueden posicionar los travesaños con la misma inclinación y coincidentes con las juntas, de tal manera que las placas apoyan sobre ellos. Esta opción requiere la incorporación de grapas que impidan el deslizamiento de las placas y que las superiores empujen a las inferiores.</p>
<b>Montante único por placa</b>	
	<p>Cuando se utilizan placas de dimensiones muy reducidas tanto en anchura como en altura se puede utilizar un único montante en el punto medio de su base y una única grapa de carga y retención con unas dimensiones adecuadas a la anchura de la placa que vaya a sujetar, de tal manera que el apoyo sea estable.</p>

<p>Anclajes en posición no simétrica</p>	
	<p>Cuando la disposición de juntas horizontales discontinuas no permite posicionar anclajes equidistantes a los bordes de la placa, se puede colocar los anclajes con funciones de carga en su posición óptima a una distancia del borde de <math>2,41 L</math>, de tal manera que los anclajes de retención queden a una distancia superior o inferior según el caso. Este sistema permite que un mismo anclaje sirva de carga y retención de dos placas contiguas al mismo tiempo sin necesidad de duplicar los anclajes.</p>
<p>Anclajes puntuales adaptados para grandes cargas</p>	
	<p>Consisten en anclajes puntuales de acero inoxidable y con espesores especialmente calculados para soportar grandes cargas y, por tanto, reservado a los casos de placas de gran formato y/o espesor.</p> <p>Están preparados para posicionarse en las juntas horizontales, de tal manera que las placas descansen sobre ellos, pudiendo colocarse para servir a una única placa o en la junta de contorno de tal manera que sirva a dos placas contiguas.</p>
<p>Subestructura adaptada para grandes cargas</p>	
	<p>Consiste en la utilización de una configuración estándar de montantes y grapas en las juntas horizontales, pero adaptada para soportar grandes cargas. Tanto los montantes como las grapas son de acero inoxidable y con unos espesores superiores a los habituales en soluciones estándar.</p>
<p>Aumentar nº de montantes / anclajes en juntas horizontales</p>	
	<p>Cuando las placas tienen grandes dimensiones se puede repartir el peso de la misma introduciendo un mayor número de anclajes puntuales o de montantes y grapas ubicadas en las juntas horizontales.</p> <p>Esta solución está reservada para placas de gran formato y peso, no se recomienda que las placas de dimensiones estándar se sujeten con más de 4 puntos de anclaje, ya que podrían provocar que el reparto de cargas a los anclajes no se haga a partes iguales y generaría tensiones indeseadas en la placa.</p>

ESTRATEGIAS DE MODIFICACIÓN	
<b>Montantes multiposición o grapas de pivote multiposición</b>	
	<p>Consisten en montantes o grapas modificadas regulables que incluyen una serie de perforaciones euidistantes a lo largo de toda la pieza, de tal manera que permiten sujetar placas a distintas alturas al mismo tiempo. mediante anclajes de tipo pivote ubicados en las juntas verticale. Este sistema es válido para despieces con juntas verticales continuas.</p>
<b>Grapas asimétricas</b>	
	<p>Consisten en grapas que se fijan a montantes y que tienen una configuración asimétrica, de tal manera que incluyen, en uno de sus lados, un resorte de carga para la placa superior y, en el otro lado, un resorte de retención para la placa inferior.</p> <p>Permite diseñar despieces con juntas discontinuas con desplazamientos pequeños sin necesidad de duplicar las grapas y los montantes.</p>
<b>Grapas en vuelo</b>	
	<p>Consisten en grapas que se fijan a montantes quedando en vuelo hacia uno o ambos lados, de tal manera que el eje del bulón, pivote o grapa en la que se va a fijar la placa de piedra no está alineado con el eje del montante.</p> <p>Se puede utilizar en determinados despieces para evitar duplicidades de montantes demasiado próximos.</p> <p>No se debe superar el vuelvo máximo permitido por cálculo para evitar inestabilidades, ya que las cargas que asume el montante son excéntricas.</p>
<b>Grapas de descuelgue multitaladro</b>	
	<p>Consisten en grapas como las explicadas en el caso de grapas de descuelgue, pero incorporan la posibilidad de regulación del cuelgue, de tal manera que puede utilizarse con juntas horizontales discontinuas con desplazamientos pequeños y no regulares.</p>



<p>Montante de morfología adaptada</p>	
	<p>Consisten en montantes con una sección en forma trapezoidal de tal manera que permiten el posicionamiento de placas creando un solape horizontal. Los montantes tienen una longitud adecuada a la altura de las placas.</p> <p>Este sistema sólo es válido para un ángulo de inclinación determinado. Si se utiliza un formato o espesor distinto de placas que requiera un ángulo diferente para lograr el solape, se debe rediseñar la inclinación y longitud del montante.</p> <p>Permite la utilización de grapas en las juntas horizontales o de anclajes en el reverso de la placa por medio de travesaños.</p>
<p>Grapas de morfología adaptada</p>	
	<p>Consisten en grapas adaptadas que permiten sujetar dos placas solapadas en su junta horizontal, de tal manera que sirven de grapa de carga a la placa inferior y de retención a la superior.</p>
<p>Anclajes de morfología adaptada</p>	
	<p>Consiste en anclajes adaptados que permiten regular su posición y rotar sobre el eje vertical, de tal manera que permiten configurar despieces solapados en el eje horizontal, así como despieces solapados en dos direcciones. Cada anclaje sirve de carga a la placa inferior y de retención a la superior.</p>
<p>Grapas de morfología adaptada en dos direcciones</p>	
	<p>Consisten en grapas adaptadas que permiten sujetar dos placas solapadas en su junta horizontal, de tal manera que sirven de grapa de carga a la placa inferior y de retención a la superior. Su configuración inclinada en dos direcciones permite configurar despieces solapados en dos direcciones.</p> <p>Cada placa requiere grapas con dos morfologías distintas.</p>

Subestructura de montaje perimetral	
	<p>Cuando hay placas de grandes dimensiones o combinaciones de placas con formatos diferentes se puede aumentar el número de travesaños, siendo equidistantes al borde de la placa y añadiendo travesaños intermedios, de tal manera que se aumenta el número de anclajes en el reverso de la placa, paralelos al perímetro de la placa.</p> <p>Esta solución asegura un reparto de cargas a partes iguales y equilibrado.</p> <p>Cuando se combinan varias dimensiones de placas se puede incorporar a la subestructura un marco perimetral creando secciones independientes de despieces.</p>
Subestructura de montaje adaptada	
	<p>Cuando se utilizan despieces a base de placas no cuadradas o con secciones volumétricas se puede utilizar una subestructura marco de montaje a base de perfiles que se encarga de proporcionar los distintos planos de soporte sobre los que se ubican las placas.</p> <p>Esta solución es compatible con anclajes en el reverso de la placa o con grapas en los casos en que la base de la placa quede en posición horizontal.</p>

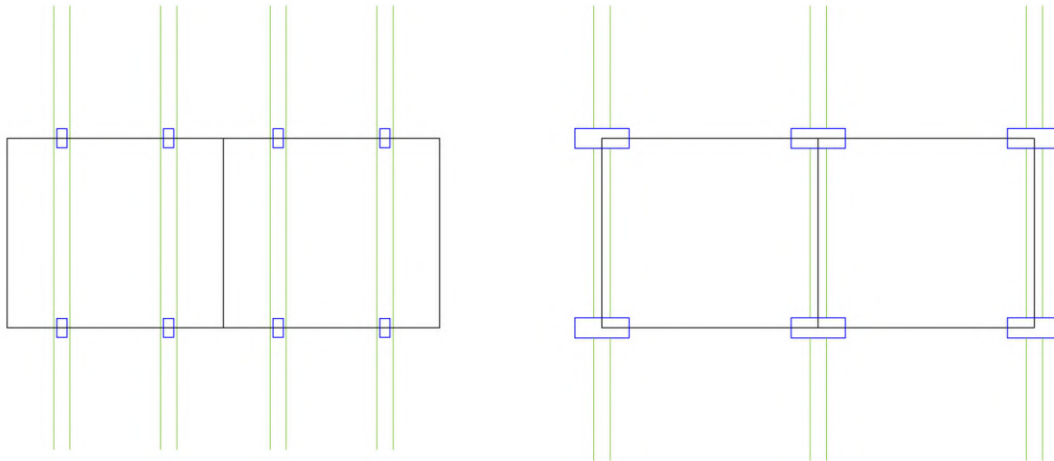
## 5.4 ESTRATEGIAS PARA RESOLVER DETERMINADAS TIPOLOGÍAS DE PROYECTO

La tipología de proyecto influye en la forma en la que se diseña la configuración general del subsistema de anclaje y, por tanto, en las posibilidades del despiece. Una fachada ciega, por ejemplo, no tiene las mismas necesidades que una fachada con numerosos huecos repetidos y, por tanto, requiere que se resuelva de forma diferente. En este capítulo se reflexiona sobre el proceso adecuado para configurar el despiece y su sistema de fijación en varias tipologías edificatorias habituales.

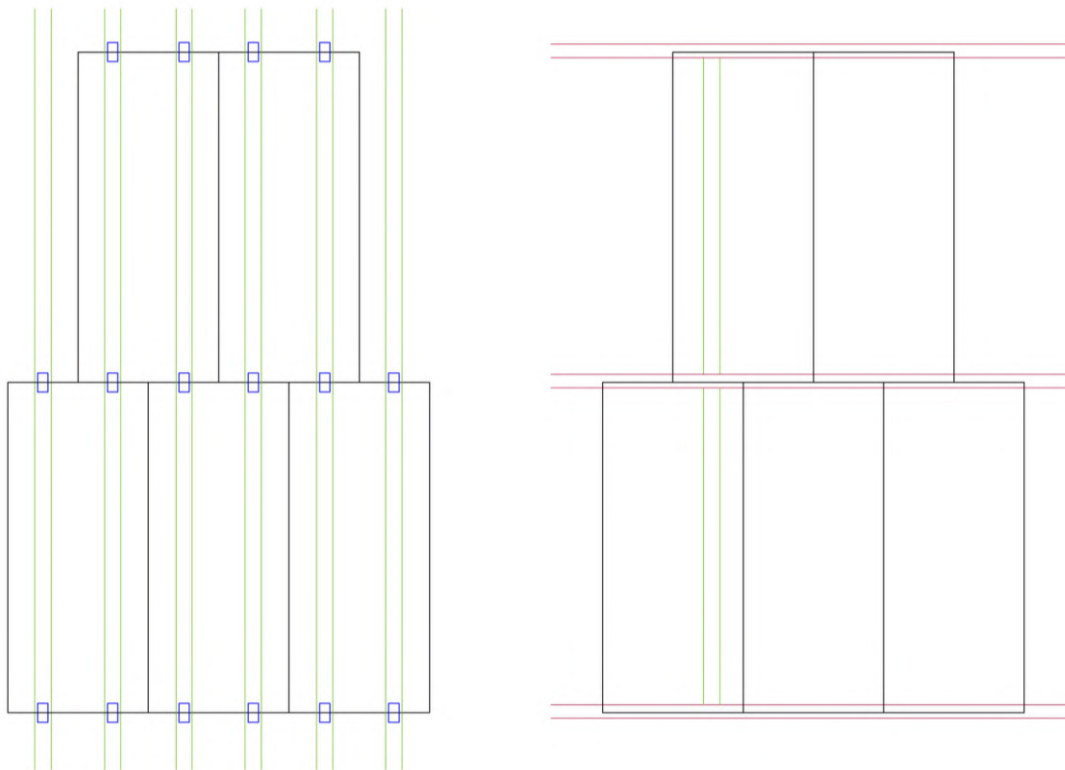
### 5.4.1 FACHADAS CIEGAS

Se entiende por fachadas ciegas aquellas formadas por paños ciegos, en edificaciones con pocas plantas de altura. Las fachadas ciegas admiten la utilización de todos los tipos de despieces. Permiten trabajar en un despiece más técnico o complejo dado que no se añade la dificultad de la resolución del hueco por lo que, cuando se trabaja con paños ciegos, es más habitual utilizar despieces con juntas discontinuas, ya sea en forma de bandas, patrones o despieces volumétricos. Las estrategias proyectuales recomendadas en esta tipología son las que podríamos considerar estándar en el caso de las fachadas trasventiladas y que se han visto a lo largo de los capítulos anteriores. De forma resumida, se enumeran los pasos propuestos:

- Concepto general y selección del despiece
  - Croquis general, despiece esquemático del paño completo.
- Comprobación del soporte y de la estructura
- Comprobación de las juntas de dilatación estructurales y en el soporte
- Definición del diseño
  - Plano de despiece del paño completo, identificando la posición de los forjados, del límite del soporte, y de las juntas de dilatación.
  - Definición del formato y dimensiones de las placas y acotación.
  - Si el despiece tiene placas con formatos variables se recomienda diferenciar los distintos formatos por colores. De cara al cálculo del sistema se tendrán en cuenta las placas más desfavorables, generalmente las de mayores dimensiones.
- Selección del subsistema de anclaje.
  - Elegir un subsistema que asegure la compatibilidad con el soporte
  - Elegir un sistema que asegure la compatibilidad con el despiece. Si se trabaja con despieces con predominio de juntas discontinuas es preferible utilizar subsistemas a base de perfilaría.
  - Altura entre plantas para definir altura del montante. Si hay poca altura entre plantas se puede configurar el montante en dos alturas, comprobando las longitudes máximas recomendadas por el fabricante.
  - El principal reto en esta tipología consiste en utilizar la configuración del subsistema de anclaje más eficiente, evitando incrementos innecesarios en la densidad de la perfilaría. Una mala selección puede exigir duplicidades innecesarias de montantes o travesaños. Para ello se pueden tener en cuenta las recomendaciones indicadas en el capítulo anterior para cada tipología de despiece.
- Representación del despiece en función de las alturas de los montantes, indicando las dimensiones de las placas y de las juntas de contorno.



A la izquierda, despiece resuelto con un subsistema que requiere 4 montantes. A la derecha, mismo despiece resuelto con 3 montantes.

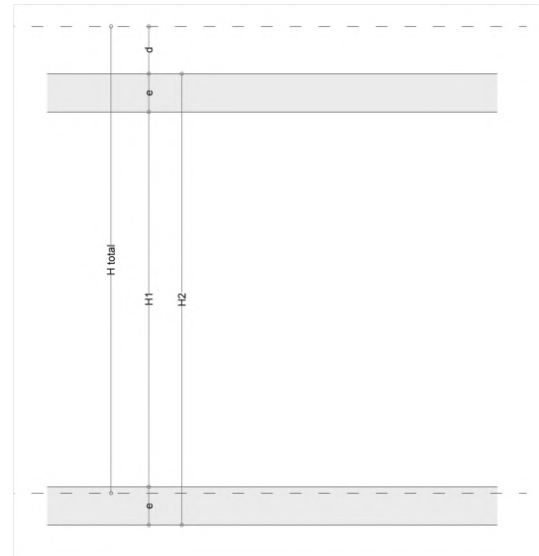
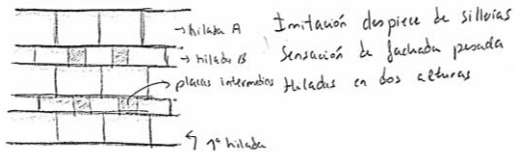


A la izquierda, despiece resuelto con un subsistema que requiere 6 montantes. A la derecha, mismo despiece resuelto con 3 travesaños y un montante.

Estas diferencias de densidad de perfilaría, a lo largo de un paño completo de fachada, puede suponer una diferencia considerable de coste. Otro aspecto a tener en cuenta son las dimensiones de las placas. Si se selecciona placas de dimensiones reducidas se va a requerir un mayor número de anclajes y el rendimiento de puesta en obra será inferior.

### EJEMPLO 1

Como ejemplo, se sintetizan las etapas de actuación en un caso de despiece que imita a los despieces de sillerías, resuelto con subestructura de montantes y grapas en las juntas horizontales.



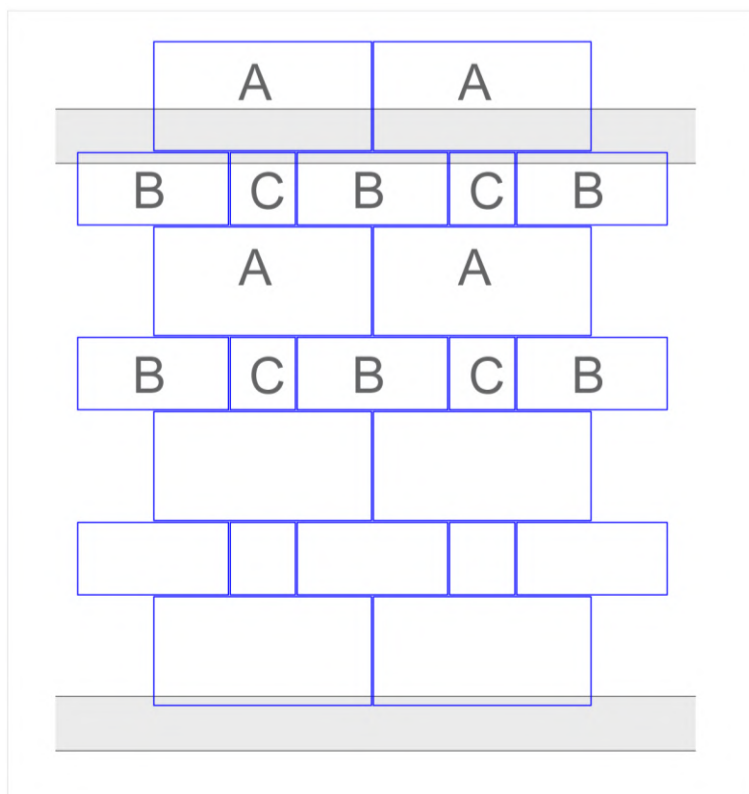
Etapa 1:

Planteamiento de la idea

Etapa 2:

Posicionamiento de los cantos de los forjados y de las líneas de inicio y fin de despiece.

Diseño del despiece, respetando las juntas de dilatación horizontales en la parte superior e inferior, además de las verticales, si las hubiera.



Etapa 3:

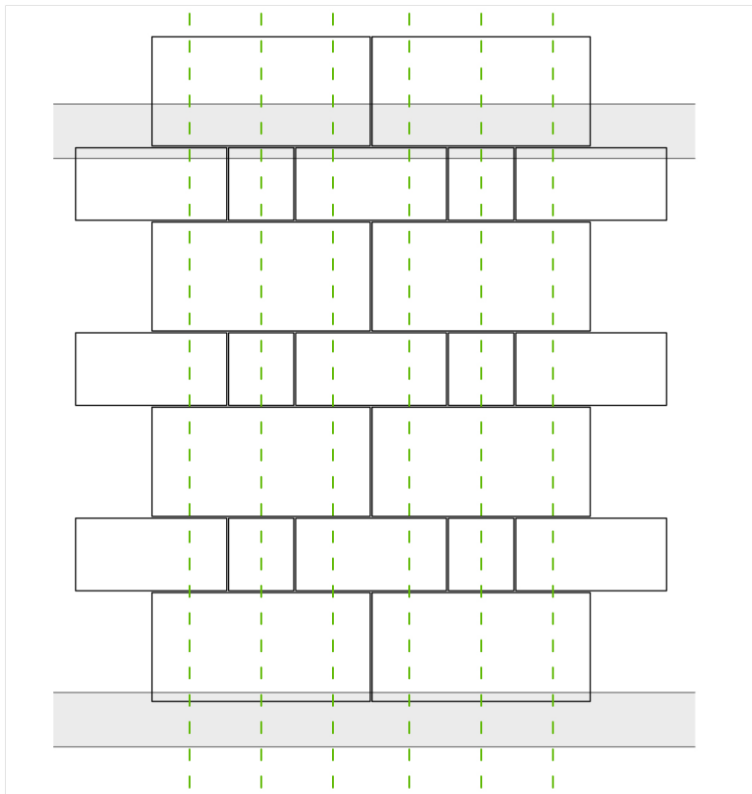
Planteamiento de dimensiones del despiece en función de la altura y teniendo en cuenta la dimensión de las juntas de dilatación y de contorno. Identificación de los formatos de las placas.

Selección del subsistema de anclaje

Posicionamiento de las fijaciones a la estructura y al soporte, en su caso.

Líneas de replanteo

Comprobación de distancias máximas.



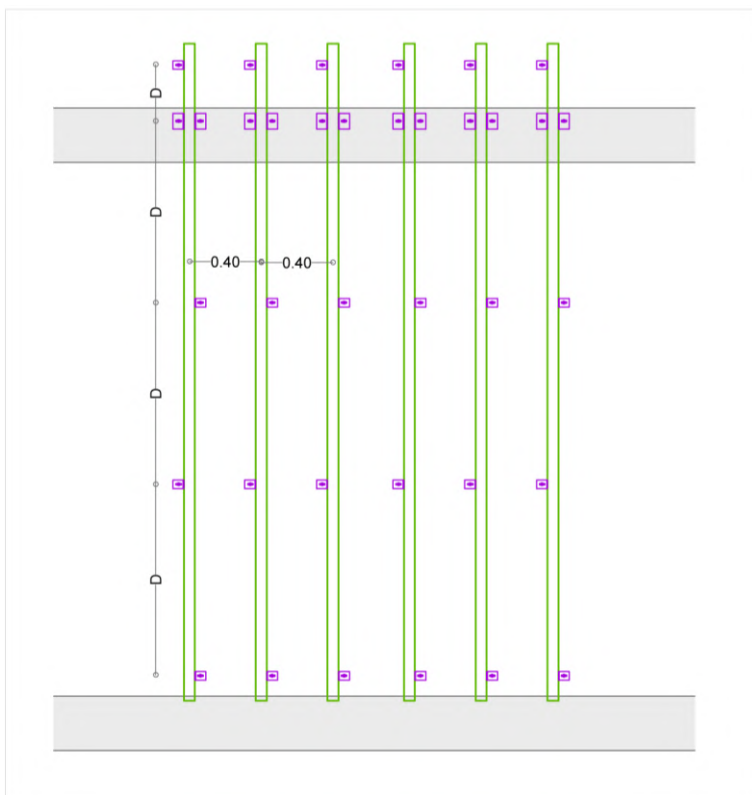
Etapa 4:

Selección del subsistema de anclaje e identificación de estrategia de configuración, en este caso, posicionamiento de montantes a puntos medios entre juntas verticales.

Líneas de replanteo

Comprobación de distancias máximas.

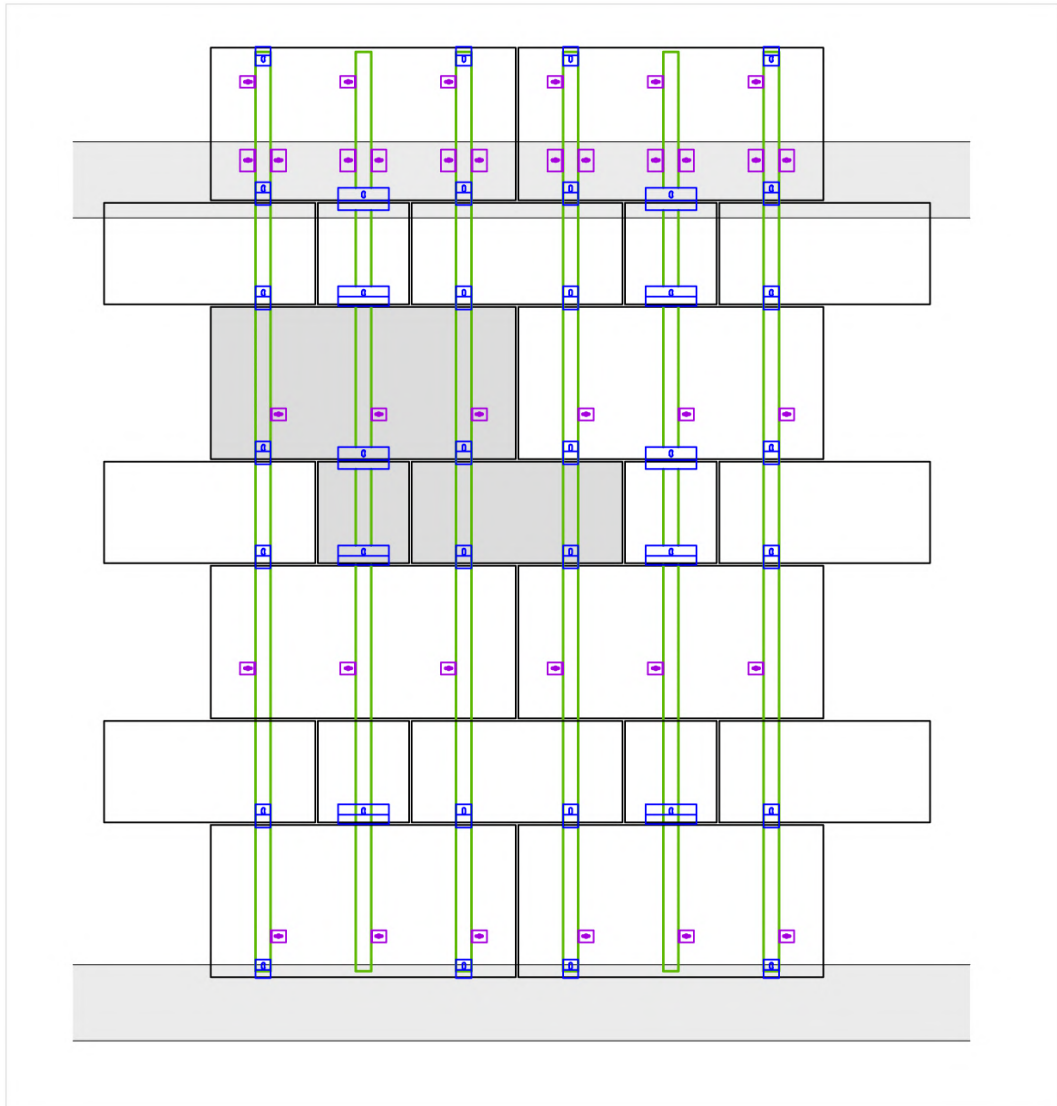
Posicionamiento de los montantes y comprobación de longitudes y vuelos máximos.



Etapa 5:

Posicionamiento de las fijaciones a la estructura y al soporte, en su caso, comprobando las distancias máximas.

Posicionamiento de los montantes, definiendo la distancia entre ellos a ejes.



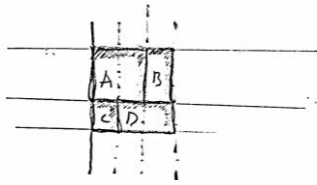
Etapas 6:

Definición de la estrategia para la fijación de las placas, en este caso, combinación de grapas de continuación o de inicio-fin, ubicados en las juntas horizontales. Definición de grapa especial para la sujeción de placas si fuera necesario.

Posicionamiento de las placas y verificación de requisitos.

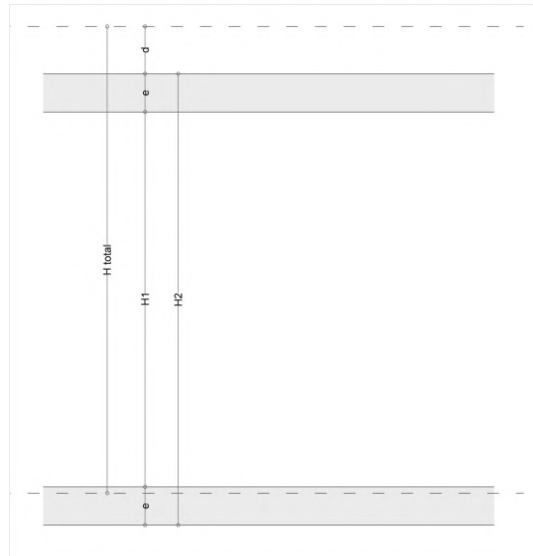
## EJEMPLO 2

Como ejemplo, se sintetizan las etapas de actuación en un caso de despiece a base de un patrón que se repite, resuelto con subestructura de montantes y grapas de pivote en las juntas verticales.



Patrón  
 Repetición por simetría

A	B	B	A
C	D	D	C
A	B	B	A



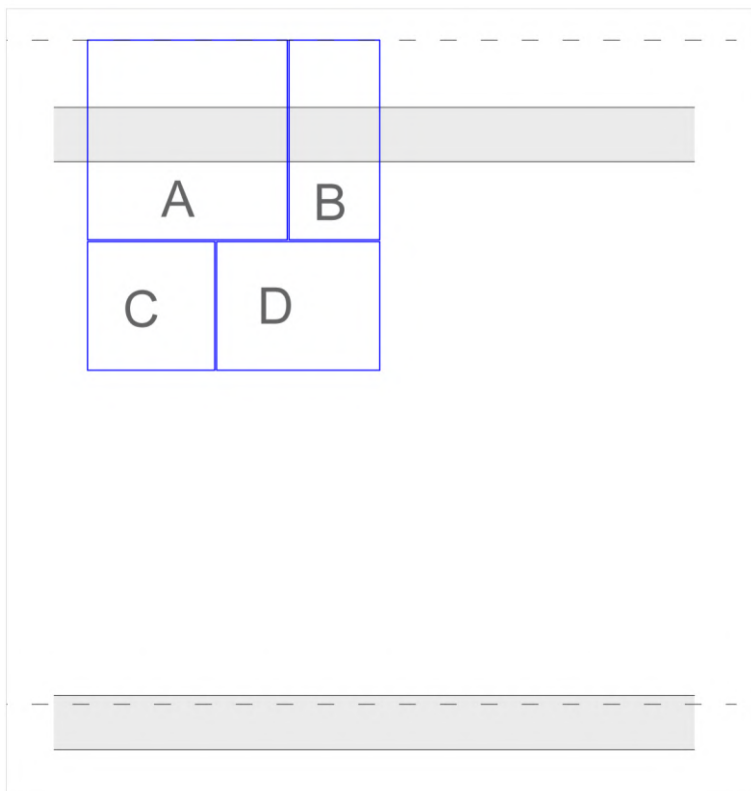
Etapa 1:

Planteamiento de la idea

Etapa 2:

Posicionamiento de los cantos de los forjados y de las líneas de inicio y fin de despiece.

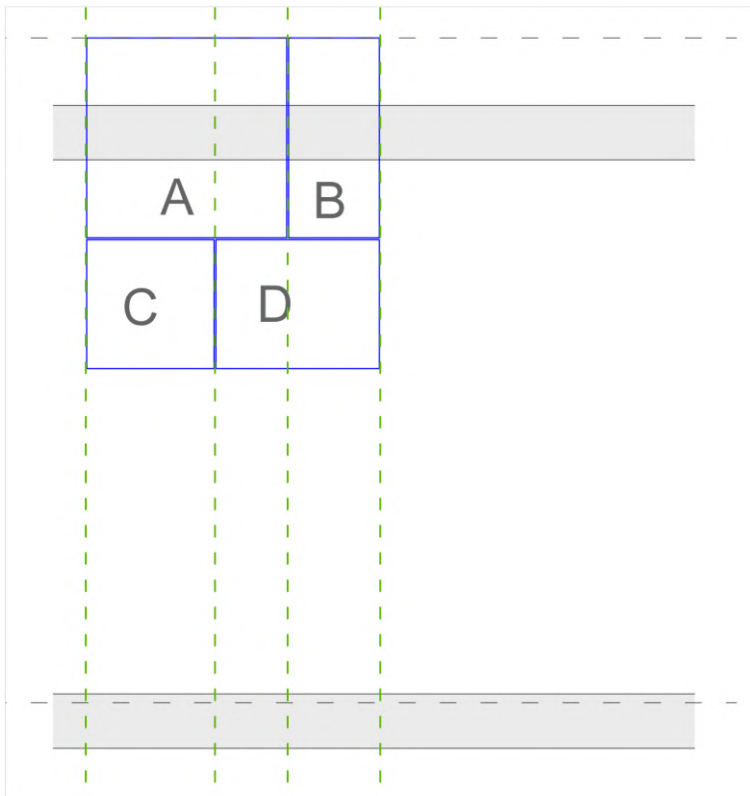
Diseño del despiece, respetando las juntas de dilatación horizontales en la parte superior e inferior, además de las verticales, si las hubiera.



Etapa 3:

Planteamiento de dimensiones del despiece. Identificación de las placas que componen el patrón.

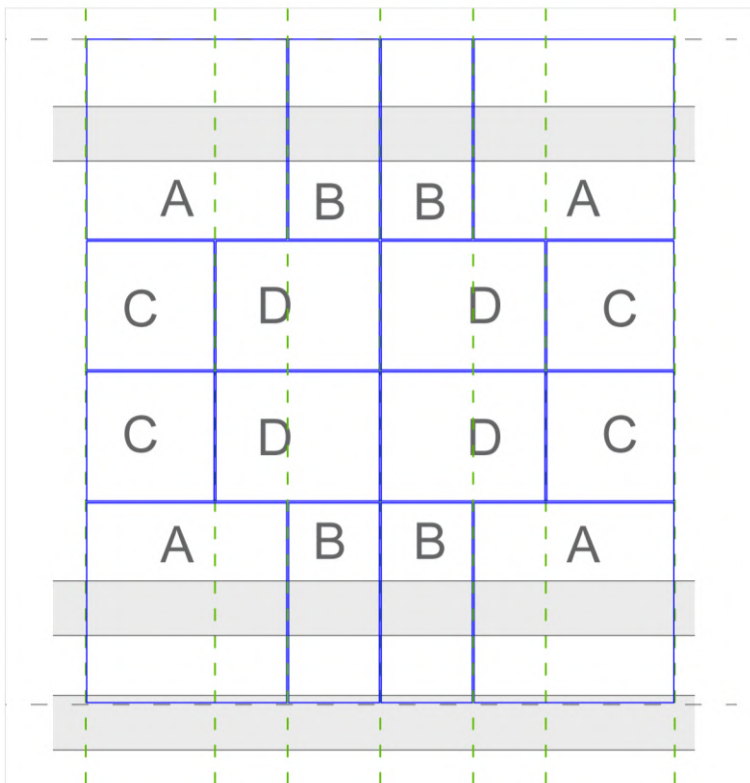




Etapa 3:

Selección del subsistema de anclaje para resolver en patrón.

Identificación de estrategia, es este caso, colocación de montantes alineados con las juntas verticales del patrón.

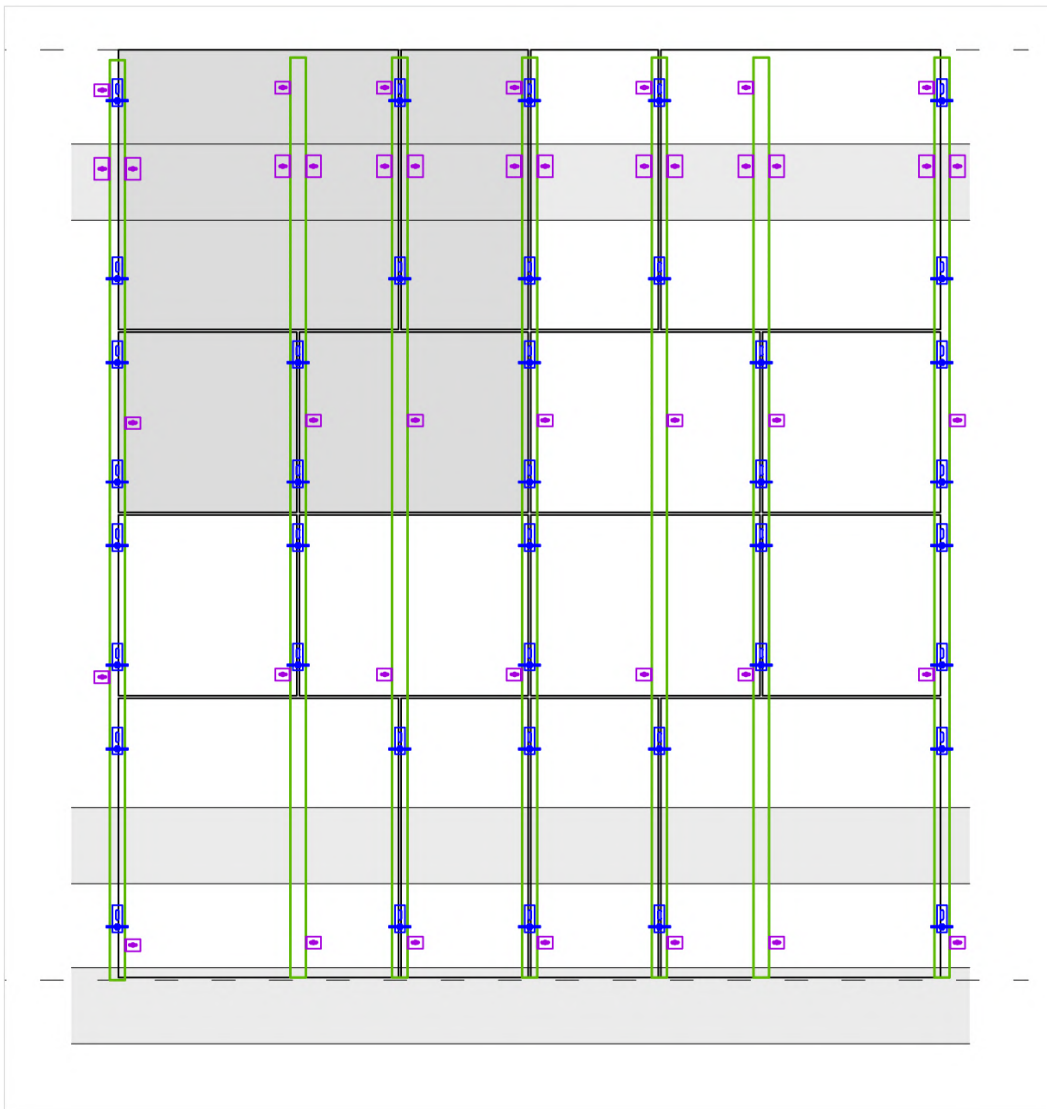


Etapa 4:

Definición del sistema de combinación del patrón, en este caso simetría en las dos direcciones.

Verificación de la estrategia identificada en la etapa anterior.

Líneas de replanteo



Etapa 5:

Posicionamiento de las fijaciones a la estructura y al soporte, en su caso.

Líneas de replanteo.

Comprobación de distancias máximas.

Posicionamiento de las fijaciones a la estructura y al soporte, en su caso, comprobando las distancias máximas.

Posicionamiento de los montantes, definiendo la distancia entre ellos a ejes.

Definición de la estrategia para la fijación de las placas, en este caso, utilización de grapas de pivote ubicadas en las juntas verticales.

Posicionamiento de las placas y verificación de requisitos.

## 5.4.2 FACHADAS A GRAN ESCALA

A diferencia del caso anterior, las fachadas a gran escala se refieren a edificaciones que ocupan gran extensión y volumen. En estos casos es fundamental tener en cuenta la percepción del despiece, dado que varía la imagen que percibimos del despiece cuando se mira desde una distancia considerable o cuando se mira en primer plano. Las estrategias proyectuales recomendadas en esta tipología son:

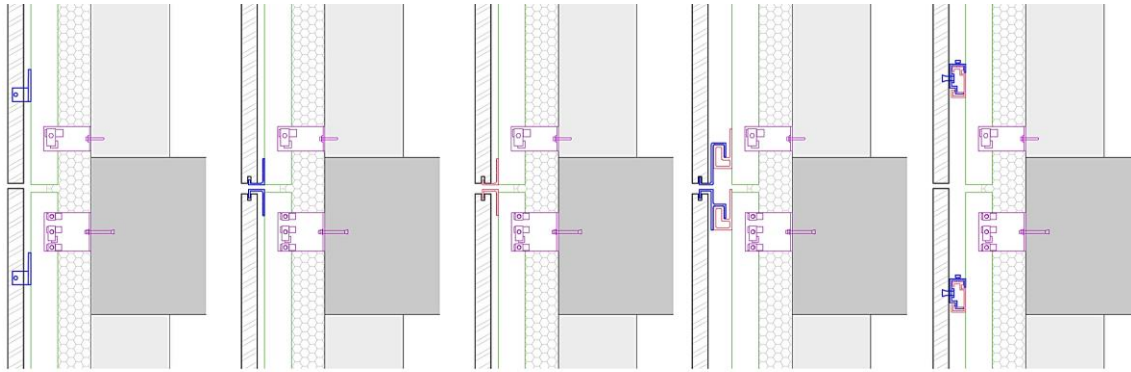
- Concepto – idea general. Las fachadas de grandes dimensiones se proyectan trabajando a dos escalas: vista en primer plano y vista lejana. En estos casos se puede trabajar con las juntas de contorno entre placas, empleando anchuras diferentes en junta vertical y horizontal, utilizando juntas continuas horizontales o verticales a nivel de planta/sección o utilizando un despiece a dos escalas, como los utilizados en la reconstrucción del Arco de la Defensa. Otra solución adecuada es la utilización de despieces compuestos por placas de grandes dimensiones.
- Juntas de dilatación. La gran escala de estas edificaciones hace que haya varias juntas de dilatación, tanto en la estructura como en el soporte, de tal manera que se hace fundamental asegurar la compatibilidad del despiece con las juntas de movimiento. Una mala previsión en este aspecto u obviar las juntas de movimiento provocaría dilataciones y tensiones en direcciones incompatibles en la placa, pudiendo derivar en su fractura o fallo en el sistema de fijación placa – anclaje.
  - Juntas estructurales: todas las juntas estructurales, tanto horizontales como verticales deben ser compatibles con una junta de contorno en el despiece.
  - Juntas de dilatación del soporte. En el caso de utilizar subsistemas de anclajes puntuales directos las juntas de dilatación en el soporte deben ser compatibles con el despiece. Lo más habitual es conservar una junta continua en el despiece coincidente con la junta de dilatación. En caso de utilizar subsistemas mediante subestructura con fijaciones de apoyo deslizantes en el soporte, debe preverse en el despiece una junta vertical compatible con la junta de dilatación.
  - Juntas por longitudes máximas de montantes y/o de travesaños.

La compatibilidad entre juntas no implica necesariamente que tenga que haber juntas continuas coincidentes a lo largo de toda la junta de dilatación, sino que dependerá del sistema de fijación de las placas. Lo que el proyectista debe tener en cuenta es la relación entre el despiece y las juntas de la perfilería. Para asegurar que los movimientos o dilataciones sean compatibles entre ambos debe asegurarse que la placa se sujete con anclajes, montantes o travesaños que se encuentren en sectores independizados por juntas de movimiento.

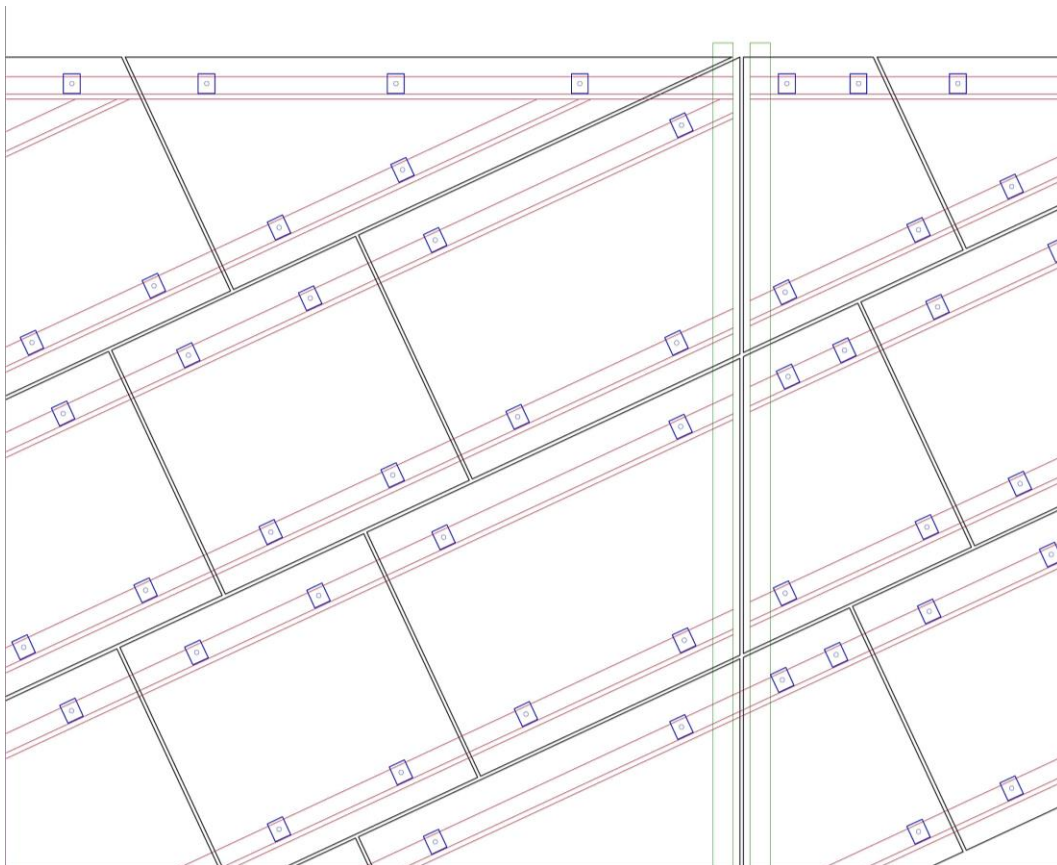
Por este motivo no se recomienda utilizar despieces que dificulten la previsión y resolución de juntas, como sería el caso de despieces inclinados, en los que la incorporación de interrupciones en las placas provoca distorsiones en la percepción del despiece.

En cualquier caso, se requiere analizar esta cuestión con detalles específicos, de tal manera que se verifique que el despiece seleccionado es compatible con la disposición de juntas verticales y horizontales. También habrá que identificar en esta fase las placas con formato especial y su fijación.

- Subsistema de anclaje. La elección del subsistema de anclaje dependerá fundamentalmente del despiece utilizado.
- Representación del despiece en función de las alturas de los montantes, indicando las dimensiones de las placas y de las juntas de contorno.



Ejemplo de juntas de dilatación en subsistemas mediante subestructura auxiliar. En juntas de dilatación horizontales se requiere utilizar grapas de inicio y fin en los casos de grapas ubicadas en juntas horizontales. En el caso de juntas de dilatación verticales, por el contrario, se sustituyen las grapas en juntas verticales por grapas de remate lateral o por un sistema en grapas en juntas horizontales si el fabricante no ofrece dicha opción. El subsistema de anclaje por destalonado de fondo no requiere modificación en la configuración cuando se encuentra con juntas de dilatación. Este sistema permite que la junta de contorno entre placas no esté alineada con la junta entre montantes al posicionarse remetida respecto al canto de la placa.



En el dibujo sobre estas líneas se representa, en despiece en alzado, una previsión de junta de dilatación vertical y horizontal en el caso de placas inclinadas. El dibujo muestra la complejidad añadida en el caso de despieces singulares, por lo que se destaca la importancia de la previsión y diseño de las mismas.

### 5.4.3 FACHADAS EN ALTURA

Las edificaciones en altura se caracterizan por la utilización de varias plantas en altura, generalmente repitiendo la misma distancia forjado a forjado. Si nos referimos concretamente a la construcción de la fachada, la principal dificultad frente a los casos anteriores es asegurar una correcta planeidad del revestimiento, evitando acumulaciones de desviaciones excesivas que superen las admisibles. De cara a la resolución del despiece, la estrategia se va a basar en la definición del subsistema de anclaje en una planta, en base a la distancia forjado a forjado, de tal manera que se pueda repetir en las plantas siguientes. Las estrategias proyectuales recomendadas en esta tipología son:

- Comprobación de la estructura. Los sistemas más habituales son estructuras basadas en núcleos rígidos, estructuras de pórticos, celosías o sistemas de entramado. La unión del subsistema de anclaje a la estructura debe seleccionarse en función del material, ya sea mediante unión mecánica, soldada o atornillada.
- Comprobación del soporte. Los soportes más habituales en esta tipología son de fábrica de ladrillo perforada o soportes secos. También se está haciendo más habitual la utilización de soportes prefabricados multicapa o tipo sándwich.
- Selección del subsistema de anclaje. En las edificaciones en altura no es recomendable utilizar anclajes puntuales, ya que dificultan la puesta en obra y la planeidad. Lo más adecuado es utilizar sistemas basados en subestructura de perfilera, ya que las escuadras permiten la regulación de la excentricidad del sistema y permite corregir los posibles defectos de planeidad que tenga el soporte.

- Compatibilidad del subsistema seleccionado con la estructura y con el soporte.

Si la estructura es de forjados de hormigón, las ménsulas de carga se anclarán al forjado. Si la estructura está basada en entramado con soportes vertical y horizontal se podrían utilizar, además de los habituales, despieces con subestructuras marco o subestructuras de montaje fijadas a estos elementos mediante

Si el soporte lo permite se pueden incluir ménsulas de apoyo con uniones a montantes que permitan el desplazamiento. Si el soporte no lo permite se utilizará un sistema forjado a forjado.

- Definición de la altura planta a planta y diseño del despiece en esta sección.

Posicionamiento de los cantos de los forjados y de las líneas de inicio y fin de despiece.

Diseño del despiece, respetando las juntas de dilatación horizontales en la parte superior e inferior, además de las verticales, si las hubiera.

Comprobar la altura del montante según limitaciones del fabricante.

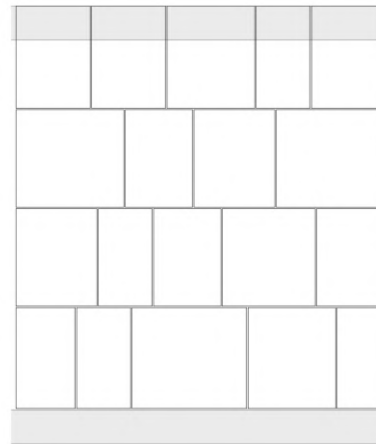
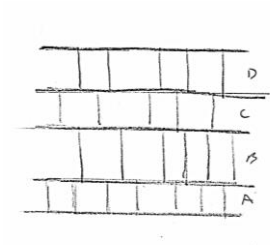
Diseño de la configuración del subsistema de anclaje en función del despiece seleccionado. Posicionamiento de anclajes fijos en el canto del forjado y de puntos móviles en el soporte, si los hubiera.

Representación del despiece en función de las alturas de los montantes, indicando las dimensiones de las placas y de las juntas de contorno.

- Repetición de la solución planta a planta, verificando que no se generan incompatibilidades en la perfilera.

## EJEMPLO

Como ejemplo, se sintetizan las etapas de actuación en un caso de despiece en bandas horizontales resuelto con subestructura de montantes y travesaños y apoyo continuo de las placas.



Etapa 1:

Planteamiento de la idea

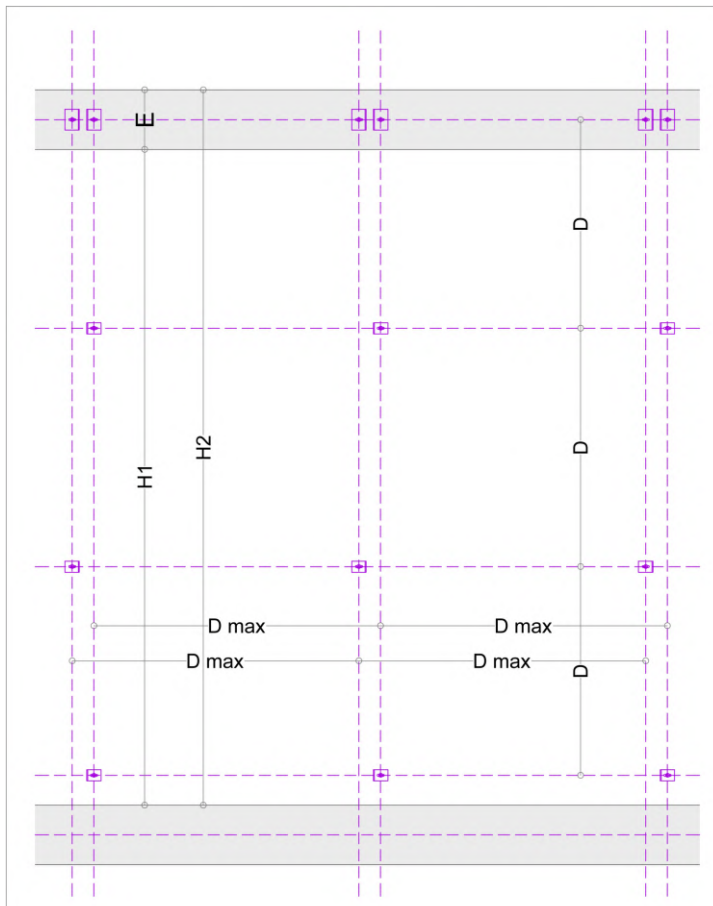
Etapa 2:

Posicionamiento de los cantos de los forjados y de las líneas de inicio y fin de despiece.

Diseño del despiece, respetando las juntas de dilatación horizontales en la parte superior e inferior, además de las verticales, si las hubiera.

Planteamiento de dimensiones del despiece en función de la altura y teniendo en cuenta la dimensión de las juntas de dilatación y de contorno.

Identificación de los formatos de las placas.



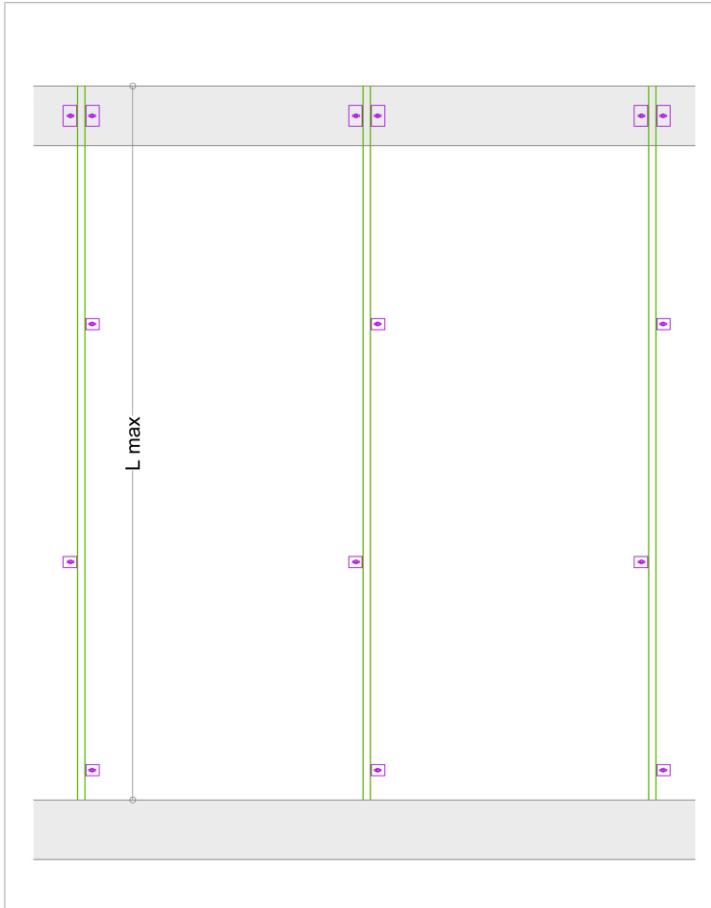
Etapa 3:

Selección del subsistema de anclaje

Posicionamiento de las fijaciones a la estructura y al soporte, en su caso.

Líneas de replanteo

Comprobación de distancias máximas.

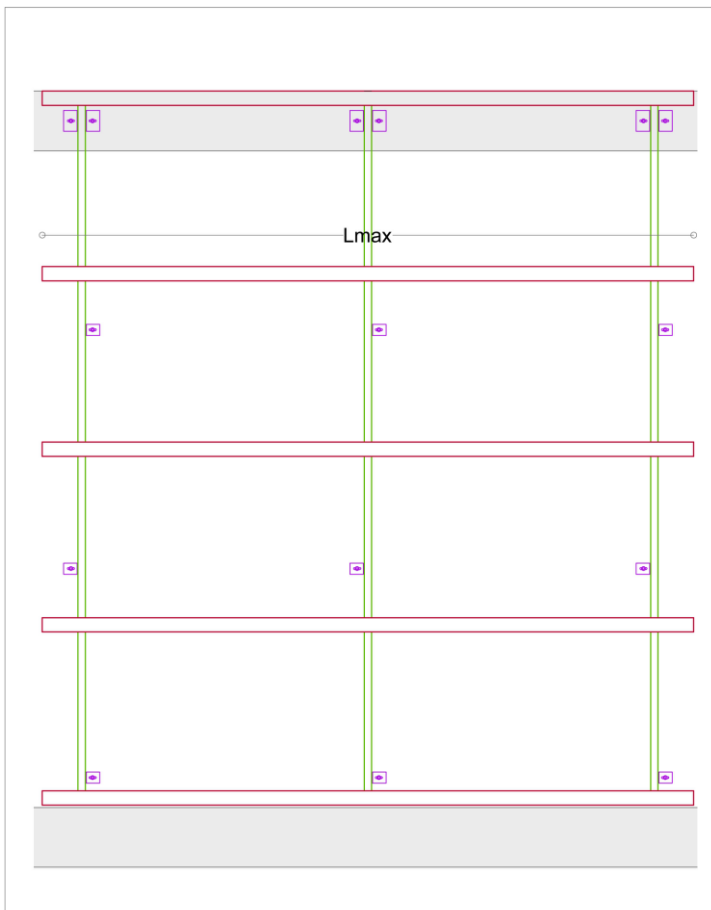


**Etapa 4:**

Posicionamiento de los montantes

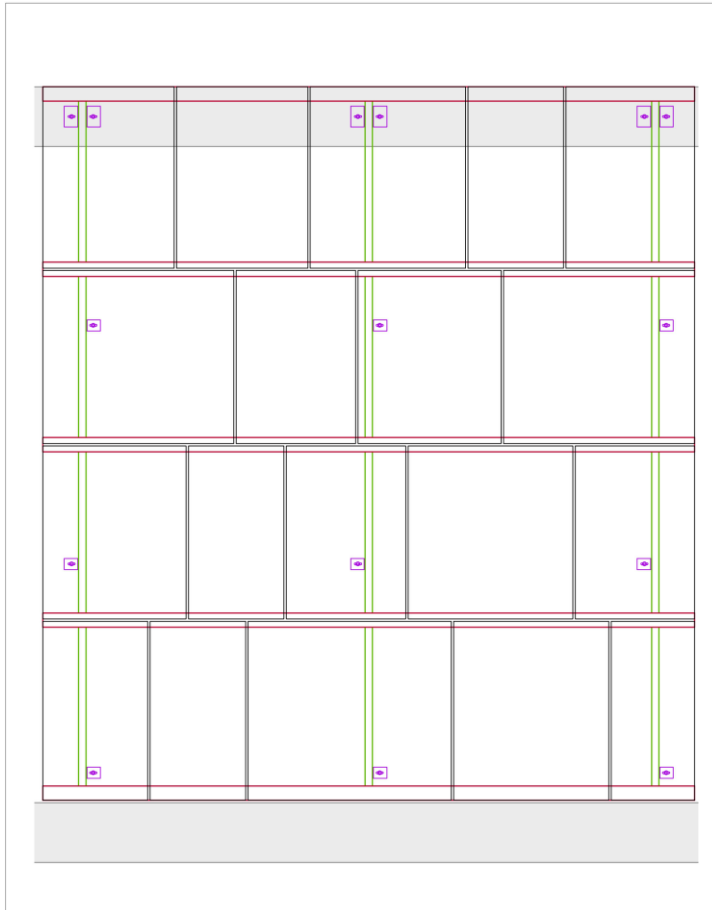
Cálculo de distancias en función de la longitud de los travesaños

Comprobación de longitudes y vuelos máximos de montantes y travesaños.



**Etapa 5:**

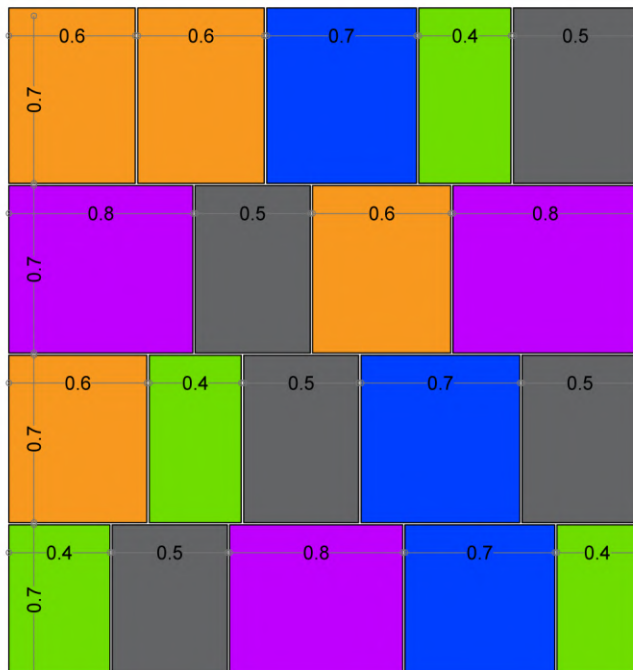
Posicionamiento de los travesaños en función del diseño previsto del despiece.



Etapa 6:

Posicionamiento de las placas y verificación de requisitos.

Una vez finalizado el diseño de una planta se puede repetir en las plantas siguientes.



Etapa 7

Cuando se diseñan despieces compuestos por múltiples formatos se requiere la realización de planos de despiece en los que se identifique de un forma clara las dimensiones y las tipologías de formato.



#### 5.4.4 FACHADAS CON HUECOS

Esta tipología se refiere a fachadas en las que hay una predominancia de huecos repetidos por plantas. En muchos casos va unida a la tipología de fachada en altura explicada en el punto anterior. En una fachada con pocos huecos se establece una configuración de despiece y los huecos se posicionan manteniendo el despiece, de tal manera que se respetan las juntas para alterar el despiece y el subsistema de anclaje lo mínimo posible.

En cambio, las fachadas que se caracterizan por la presencia de numerosos huecos o basados en la alternancia regular de huecos macizos se resuelven partiendo de la configuración del subsistema de anclaje para resolver el hueco. Por este motivo, suelen utilizarse despieces compatibles con la alineación de los huecos, basados en placas cuadradas o rectangulares, ya sea de dimensiones convencionales o de gran formato. Las recomendaciones a tener en cuenta en esta tipología son:

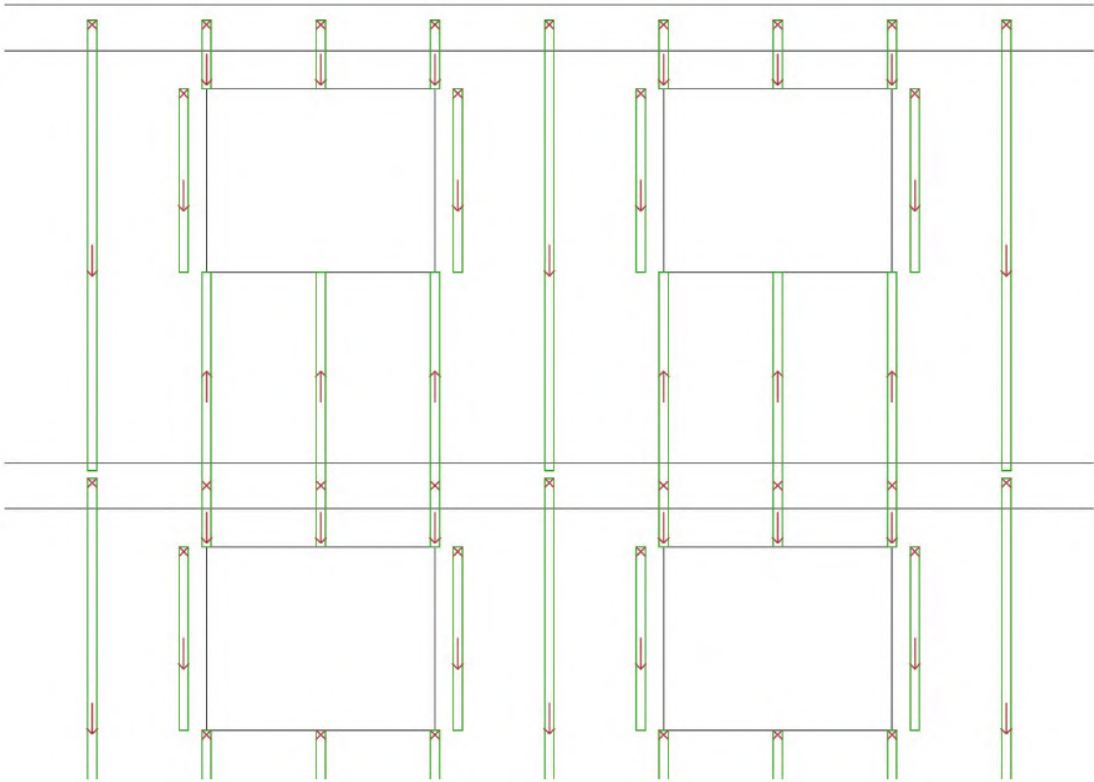
- Comprobación de la estructura y soporte, de acuerdo a lo indicado en el punto anterior. Si la edificación en altura se utilizarán sistemas mediante perfilería.
- Diseño del despiece mediante el análisis del patrón de huecos. En función del posicionamiento de los huecos se contemplan varias estrategias. Para ello se parte de un plano de despiece general acotado en el que se identifica la posición de los forjados, límite del soporte y posición de los huecos de carpinterías.
  - Huecos alineados
  - Huecos alternos
  - Huecos en hiladas alternancia hueco-macizo
  - Huecos rasgados
- Definición del subsistema de anclaje en función del despiece seleccionado, del formato de las placas y de su posición.
- Comprobación del sistema de fijación de las placas que rodean el hueco. Para resolver la posición del subsistema de anclaje es fundamental trabajar en alzado y elaborar los planos de despiece y replanteo necesarios. En la mayoría de los casos consultados el proyectista no incluye esta documentación en la etapa de proyecto. No obstante, es importante analizarlo antes ya que la posición de los huecos de carpintería puede influir en la posición de la subestructura de la fachada y por tanto, del despiece del revestimiento. Las comprobaciones que hay que hacer respecto al sistema es cómo se fijan las placas de revestimiento que rodean el hueco. Hay varios aspectos relevantes que conviene destacar:
  - El tipo de soporte influye en el posicionamiento de los anclajes. En los casos en los que se utiliza un soporte resistente apto para recibir cargas de la fachada se pueden añadir montante o anclajes puntuales si fuera necesario para sujetar las placas ubicadas alrededor del hueco. Cuando se utilice un soporte autoportante, por el contrario, únicamente se podrán incorporar montantes fijados a la estructura, por lo que el replanteo de su posición respecto al perímetro del hueco será muy relevante. También habrá que asegurarse de que el subsistema de anclaje sea compatible con el posicionamiento del sistema de fijación de la carpintería.

- Cuando se utiliza un subsistema mediante perfilería es fundamental asegurar que se mantiene la compatibilidad de dilataciones, de tal manera que todos los perfiles alineados dilaten en una misma dirección de dilatación dando lugar a juntas de dilatación continuas.
- Cuando el hueco coincide con el despiece del revestimiento es más sencillo de resolver, ya que se pueden seguir las indicaciones respecto a la idoneidad de los anclajes para el remate inferior (dintel), remate superior (alféizar) y remate lateral (jambas).
- Cuando se utilizan despieces a juntas encontradas o los huecos no coinciden con las juntas del despiece se requiere alguna adaptación en el sistema de anclaje.
- Cuando la fachada tiene una composición de huecos que se repiten en todas las plantas a posiciones equidistantes es preferible la colocación de los montantes respetando la posición de los huecos en lugar de colocarlos a la distancia máxima permitida entre ellos.
- Una misma placa no puede fijarse a dos montantes diferentes en continuación ni a dos travesaños diferentes en continuación. Si se produjera una junta de dilatación en algún montante o travesaño esta debería coincidir o ser compatible con una junta en el despiece.
- El subsistema mediante travesaños y anclajes en el reverso de la placa facilita la resolución del hueco al liberar el sistema de perfilería de los cantos de las placas.

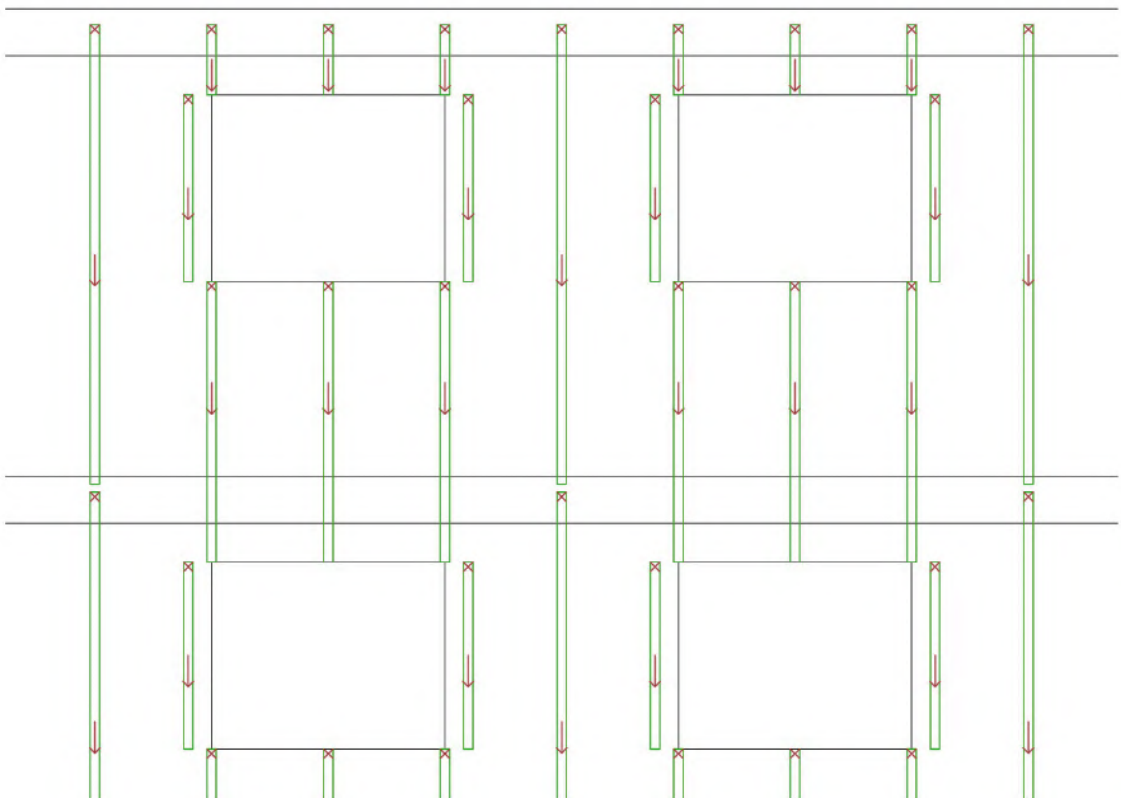
#### **CONFIGURACIÓN DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE**

Como hemos visto, en los subsistemas con perfilería es fundamental entender el comportamiento de los montantes para establecer una configuración de puntos fijos y móviles que asegure las dilataciones en un mismo sentido. Cuando el paño de fachada tiene huecos, se produce una diferencia respecto a los revestimientos ciegos ya que, si el despiece utilizado tiene unas dimensiones inferiores al hueco, vamos a necesitar incorporar puntos intermedios de carga para fijar los montantes.

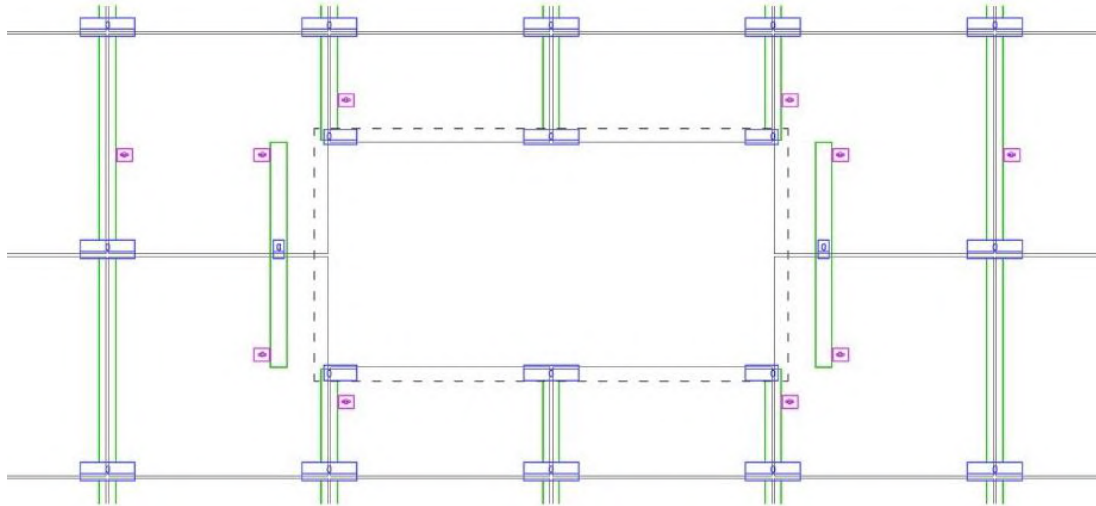
Por otro lado, debemos asegurar que las placas que rodean el hueco se fijan de manera adecuada, de tal manera que no transmitan las cargas a dos montantes ni a dos travesaños separados por una junta de dilatación.



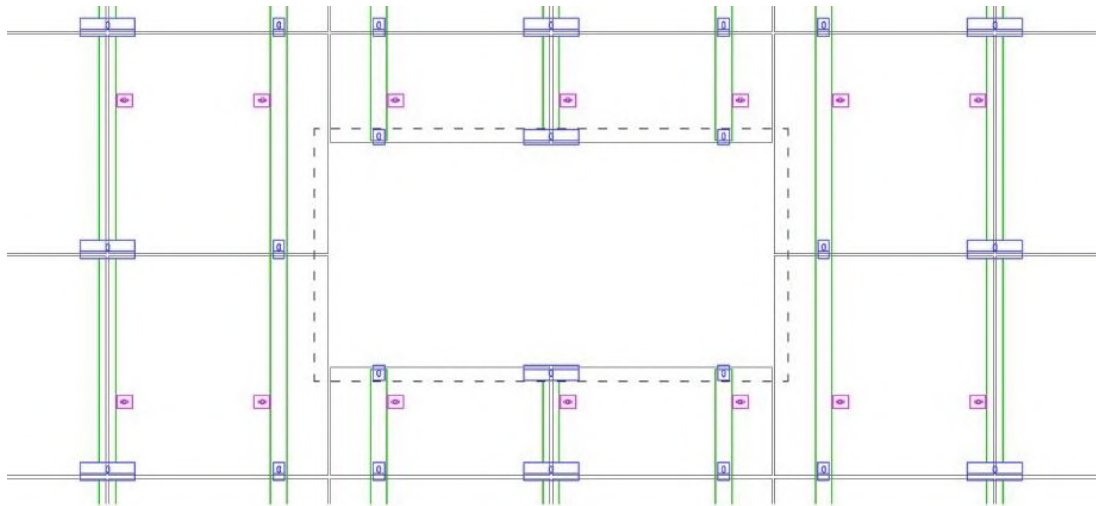
Arriba, ejemplo de subsistema de montantes dilatando en sentidos opuestos. No se recomienda que en una misma placa haya perfiles que dilaten en sentido opuesto, porque aparecerían tensiones indeseadas.



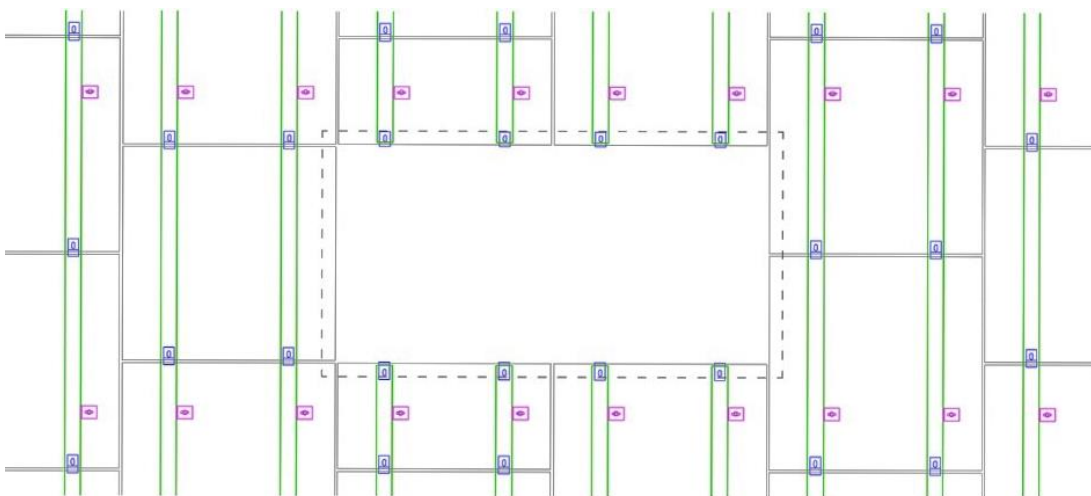
Arriba, ejemplo de subsistemas a base de montantes dilatando en la misma dirección.



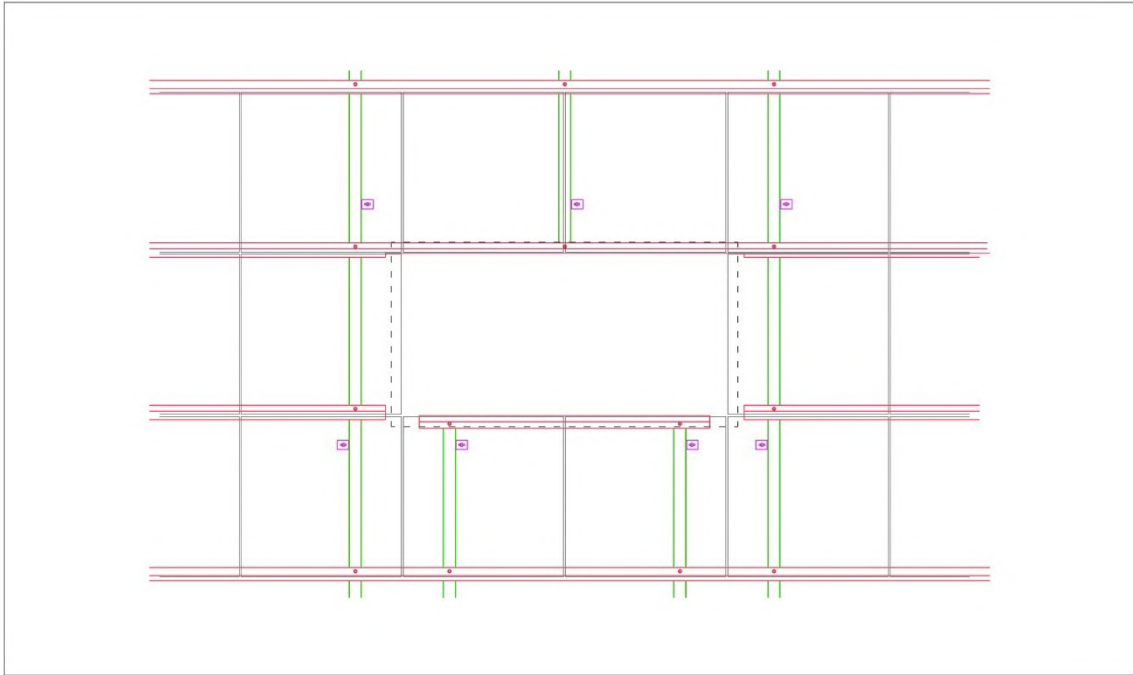
Arriba, ejemplo mal resuelto de la fijación de las placas laterales que rodean el hueco, al estar fijadas a montantes diferentes.



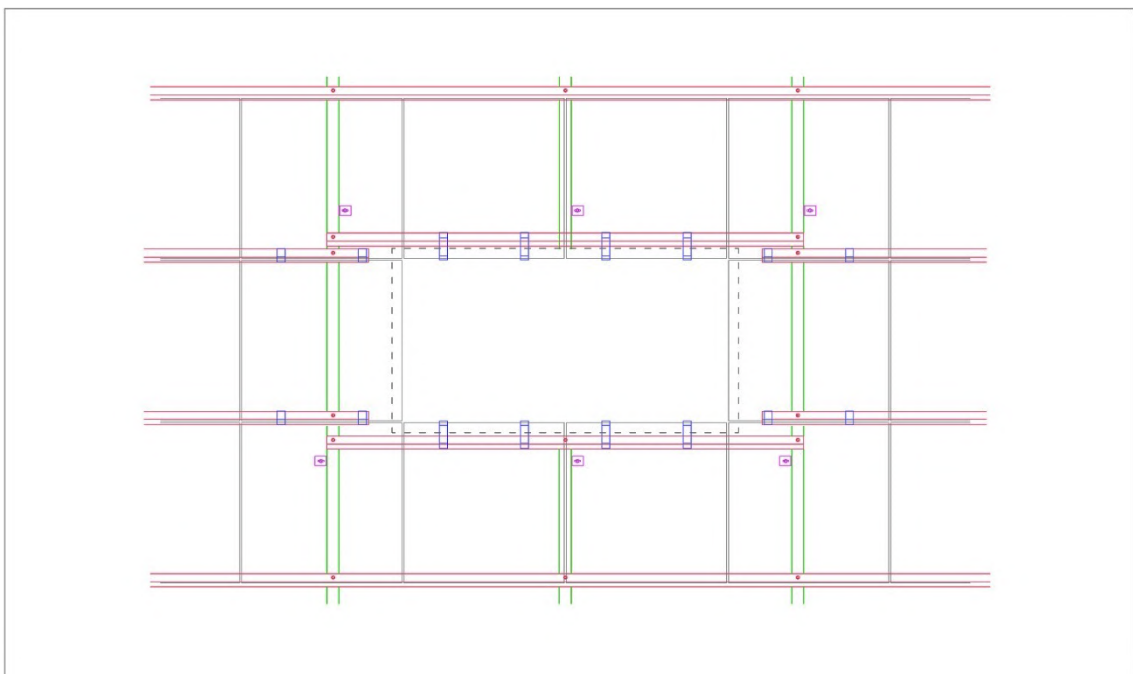
Arriba mismo ejemplo bien resuelto, con la sustitución del montante ubicado en la junta por dos montantes en posiciones simétricas respecto a la posición de la junta para resolver la fijación de las placas mediante grapas en ranuras puntuales.



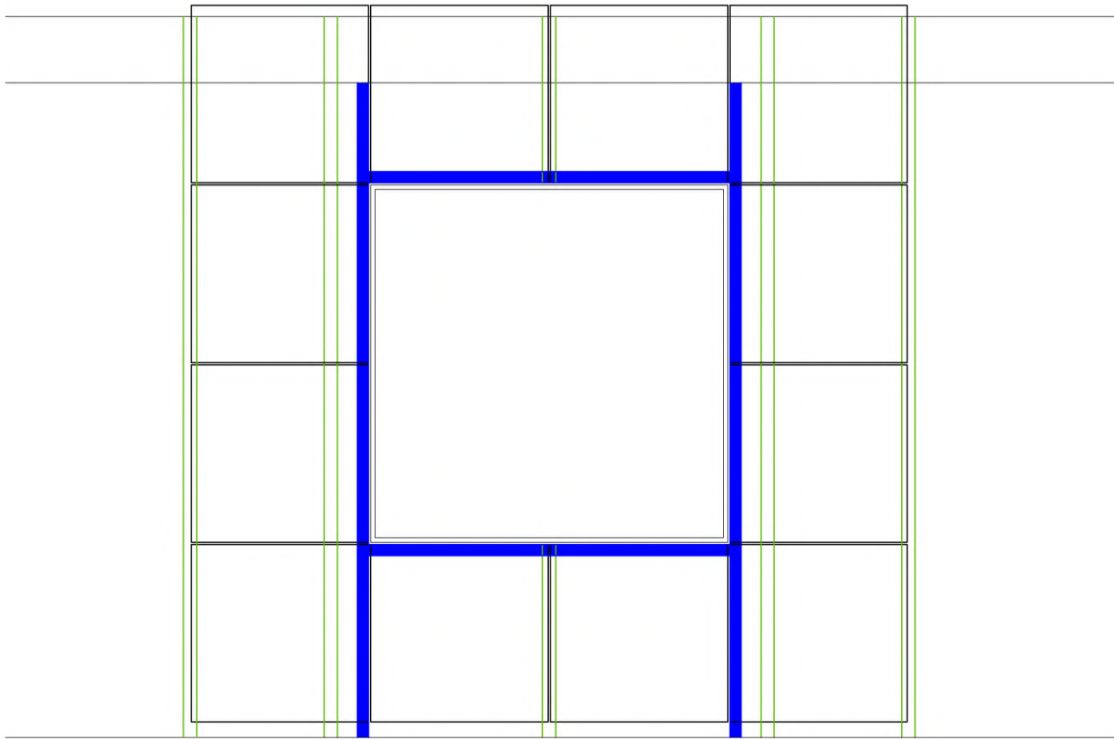
Arriba, ejemplo de resolución de un hueco con un sistema a base de perfiles compatible con la posición del hueco. Para fijar las placas superior e inferior del hueco basta con utilizar grapas de inicio-remate.



Arriba, ejemplo de resolución de un hueco en un sistema a base de travesaños continuos en los que se fijan las placas de piedra con apoyo en juntas continuas en cantos superior e inferior. Para resolver la fijación de las placas superiores se debe suprimir en travesaños la pestaña de retención. Para resolver la fijación de las placas inferiores se requiere la utilización de un travesaño de remate superior. Dado que este perfil no puede posicionarse en continuación el travesaño ubicado en las juntas se instalan dos montantes para fijar este travesaño antivuelco.



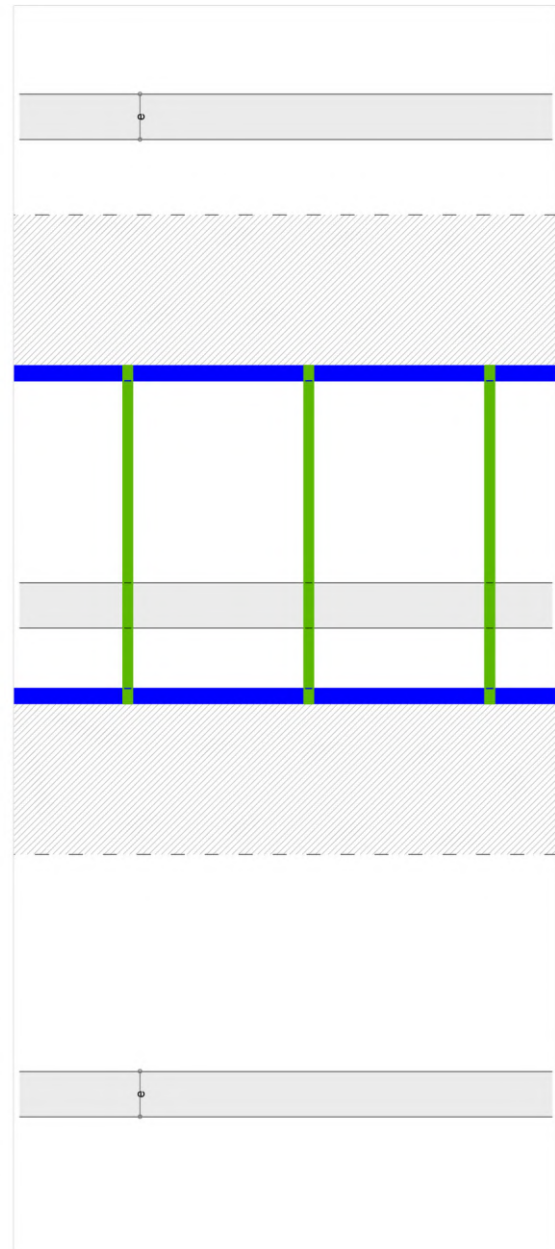
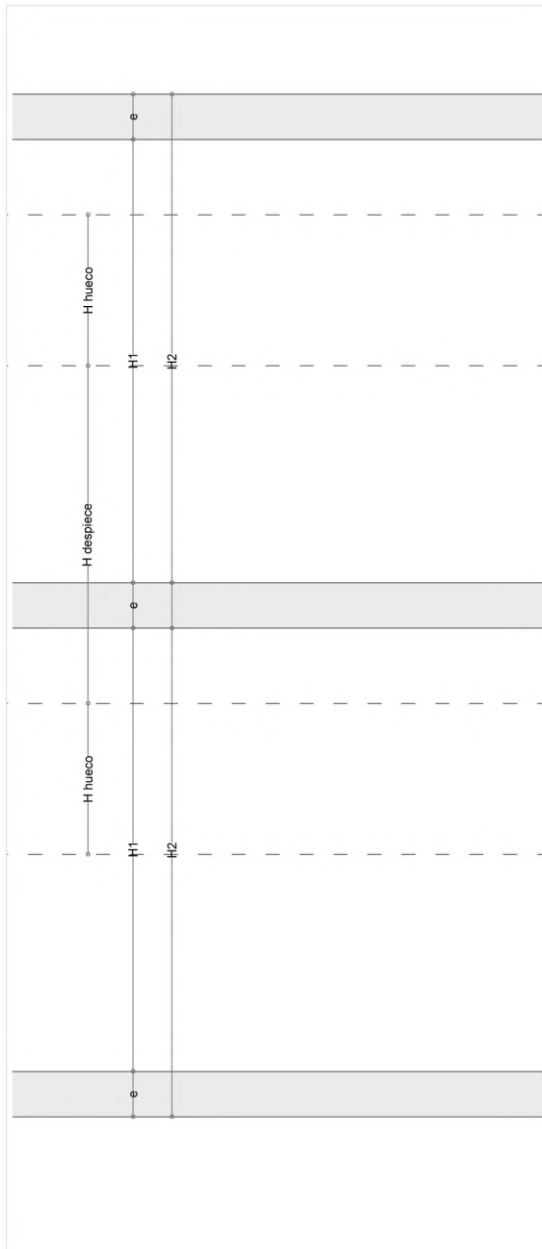
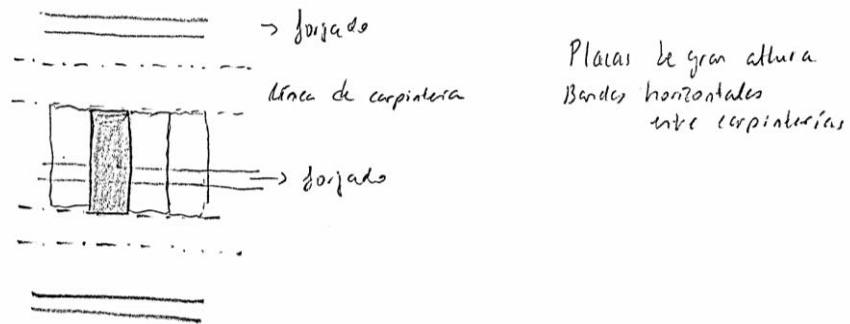
Arriba, mismo ejemplo resuelto con un sistema a base de travesaños y grapas puntuales para la fijación de las placas de piedra, de tal manera que se puede resolver la continuación de los travesaños utilizando un mismo montante, de tal manera que uno se superpone sobre el otro manteniéndose los dos anclajes de cada placa sobre el mismo travesaño. Esta solución permite distanciar los montantes hasta el travesaño siempre que se cumplan los vuelos máximos de los travesaños respecto a su eje.

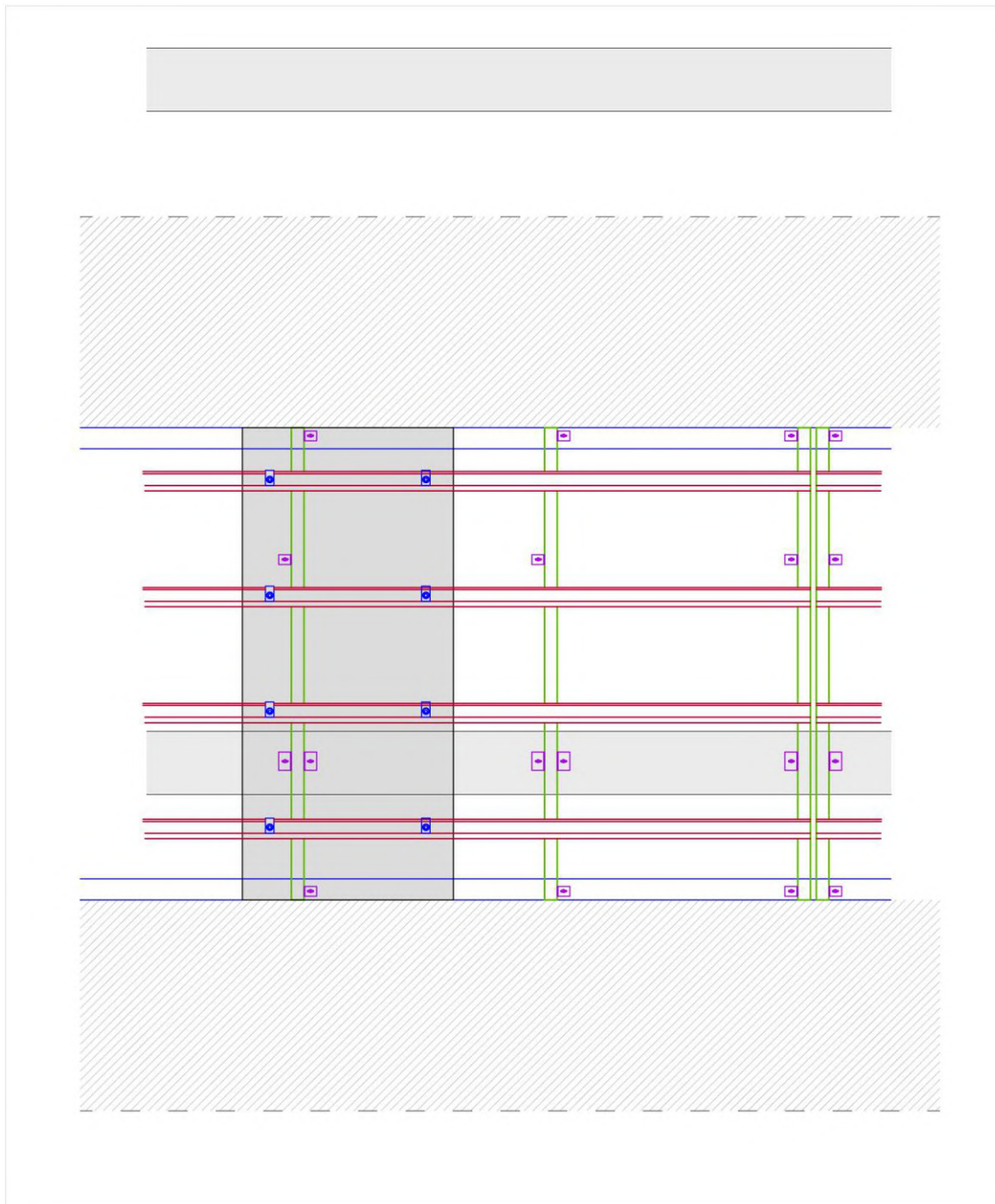


Quando la hoja interior de la fachada es autoportante las carpinterías suelen fijarse a un marco perimetral metálico unido a los forjados. En estos casos los montantes no se fijan al soporte sino al marco perimetral. Para facilitar la fijación de las placas se recomienda estudiar la posición de la subestructura de montantes en función de los huecos en lugar de recurrir a la máxima distancia entre montante permitida por el fabricante.

**EJEMPLOS**

Como ejemplo, se sintetizan las etapas de actuación en un caso de despiece en bandas horizontales que van desde la línea del dintel hasta la línea del vierteaguas, con placas verticales de gran altura, resuelto con subsistema de montantes y travesaños y anclajes en el reverso de la placa.





Etapa 1:

Planteamiento de la idea

Etapa 2:

Posicionamiento de los cantos de los forjados, de las líneas de inicio y fin de despiece y de la posición de la banda de carpintería.

Etapa 3:

Definición del sistema de soporte de la subestructura, en este caso mediante una subestructura resistente que delimita el hueco y que va anclada a los cantos de los forjados.

Etapa 4

Selección del subsistema de anclaje y de las estrategias de configuración, en este caso, utilización de varios travesaños en la misma placa de tal manera que las cargas se reparten a varios anclajes por destalonado. Localización de los montantes en función de la longitud de los travesaños, posición simétrica y comprobación de vuelos máximos.

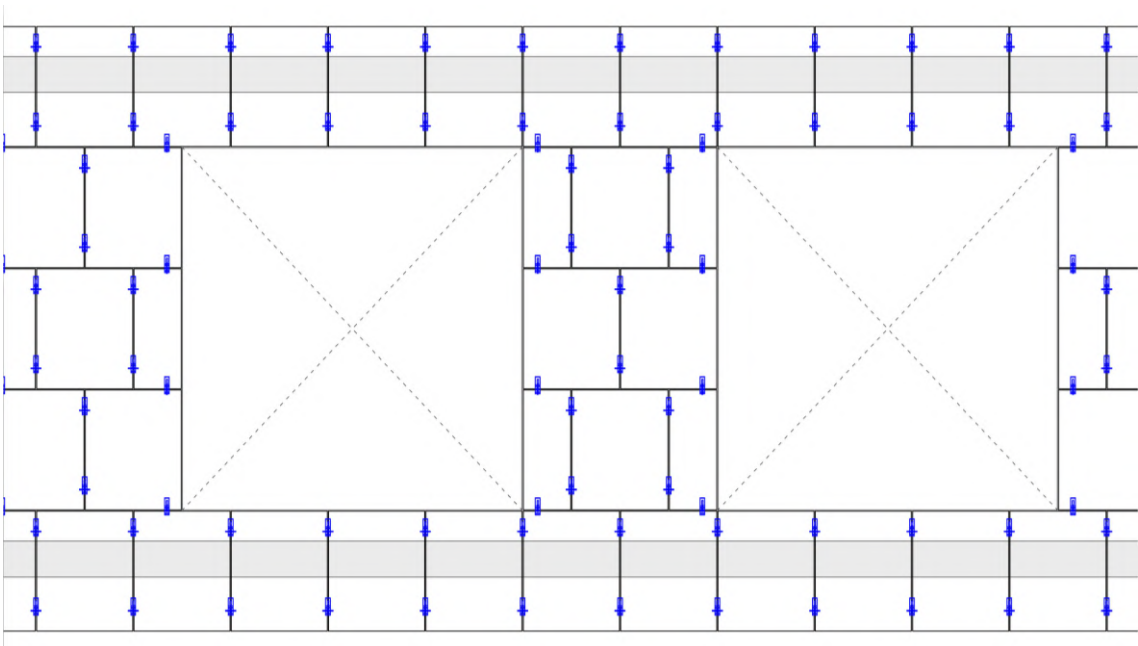
Comprobación de las longitudes máximas de los travesaños, diseño de juntas de dilatación y duplicado de montantes en estos casos.



A continuación, se muestran varios ejemplos de fachadas caracterizadas por el ritmo de los huecos de carpintería, proponiendo una solución para la configuración del despiece.



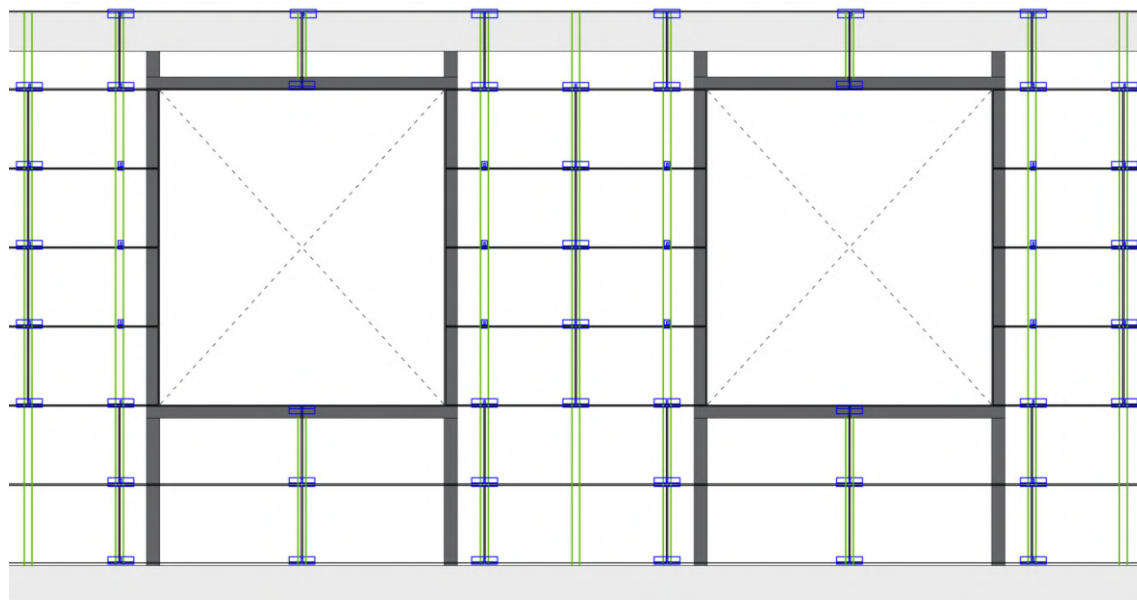
Figura 5.48. Apart-Hotel Citadines en Barcelona. Esteban Bonell - Josep María Gil (1993).  
<http://www.sistemamasa.com/es/proyectos/detalle/12/apart-hotel-citadines-sistema-masa> (Consulta el 19.01.2022)



Propuesta de configuración. Despiece resuelto mediante subsistema de anclajes puntuales directos, ubicados en las juntas verticales, anclados al soporte. Para fijar las placas en los laterales del hueco se sustituyen por anclajes en las juntas horizontales. Se deben comprobar las distancias al soporte y los vuelos máximos. Alzado



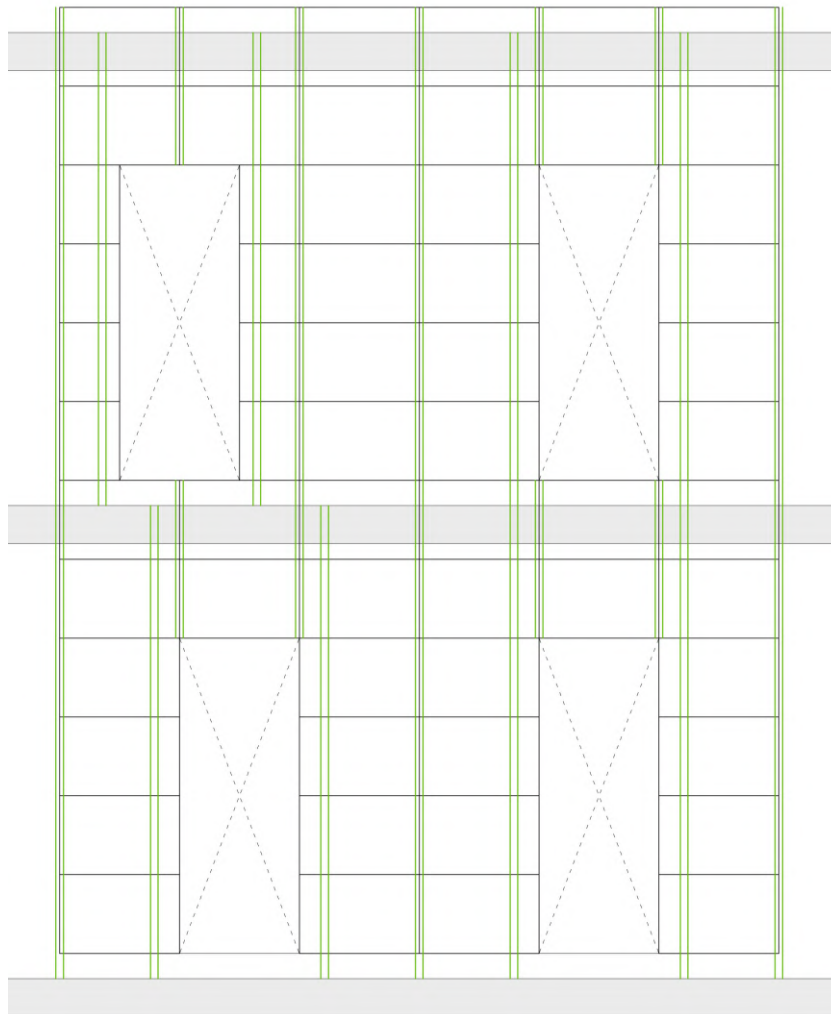
Figura 5.49. Edificio Diagonal en Barcelona. Rafael Moneo (1986-1993) Apart-Hotel Citadines en Barcelona. Croquis, N° 64, 1994, pp. 102-119



Propuesta de configuración. Despiece resuelto mediante subsistema de montantes, alineados con las juntas verticales del despiece y grapas en juntas discontinuas en las juntas horizontales. Para fijar las placas en los laterales del hueco se sustituyen por grapas de ranura puntual. Las placas en la parte superior e inferior del hueco se fijan mediante grapas de inicio o fin. Alzado



Figura 5.50. Residencial Célere Embajadores Illen Madrid (2018). <https://www.strow.es/en/projects/residencial-celere/>. (Consulta el 19.01.2022)



Propuesta de configuración. Despiece resuelto mediante subsistema de montantes, alineados con las juntas verticales del despiece y grapas en juntas discontinuas en las juntas horizontales. Para fijar las placas en los laterales del hueco se incorpora un montante extra a cada uno de los lados. Alzado.

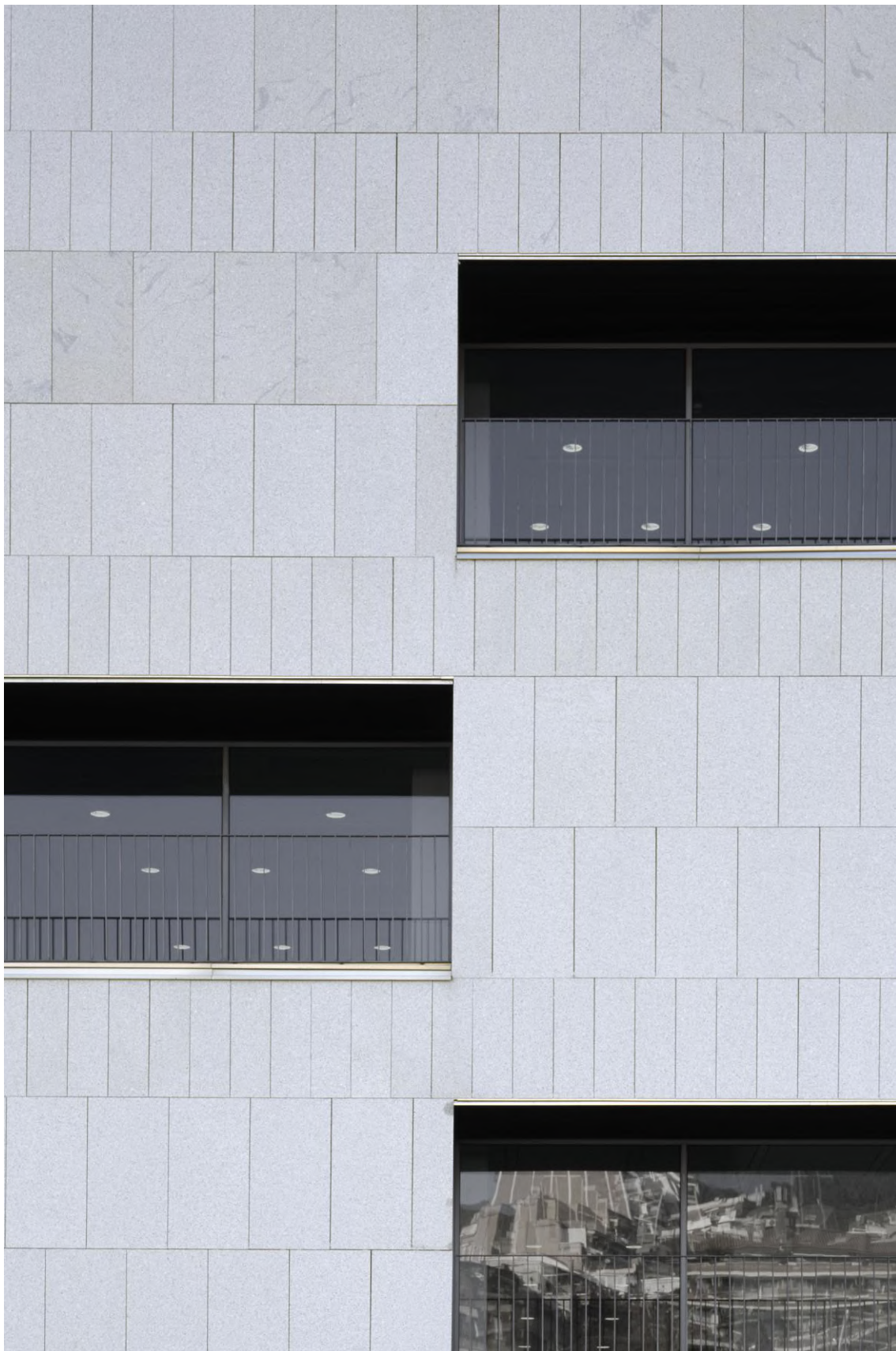
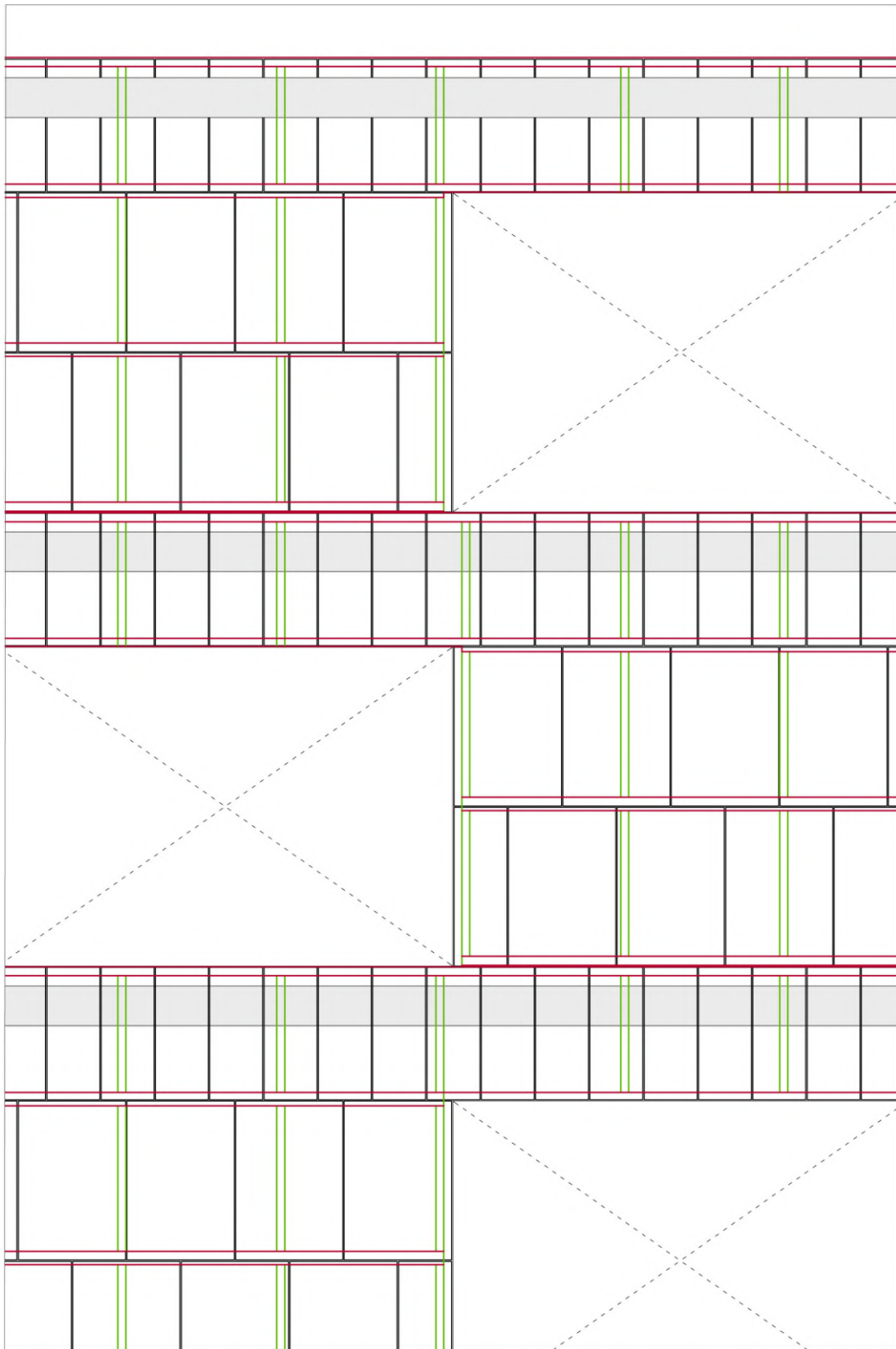


Figura 5.51. Hospital Sant Pau en Barcelona Esteve Bonell – Josep Maria Gil (2009).  
<http://www.sistemamasa.com/es/proyectos/detalle/49/hospital-sant-pau-sistema-masa>. (Consulta el 19.01.2022)



Propuesta de configuración. Despiece resuelto mediante subsistema de montantes y travesaños, alineado con las juntas horizontales. Las placas se fijan con apoyo continuo. Las placas en los laterales de los huecos no requieren modificación. Para fijar las placas superiores e inferiores se utilizan travesaños de inicio o fin. Se debe comprobar la longitud máxima de los travesaños. En cada junta entre travesaños se deben incluir dos montantes para formar la junta. Alzado.

Otra solución que se introduce en ocasiones es la colocación de una fachada trasventilada, separada de la carpintería exterior, a modo de parasol. En el Edificio Colegio de Abogados de Gerona (Víctor Rahola, 2005) las placas de piedra se apoyan en travesaños unidos a montantes que cuelgan de los forjados. Para dar mayor rigidez al montante, dado que no tiene apoyos intermedios, se incorporan unas ménsulas de gran dimensión, perpendiculares a la fachada.



Figuras 5.52, 5.53 y 5.54. Edificio Colegio de Abogados de Gerona (Víctor Rahola, 2005).  
<http://www.sistemamasa.com/es/proyectos/detalle/48/edificio-colegio-de-abogados-de-gerona-sistema-masa>  
(Consulta el 19.01.2022)

Otra solución singular se puede ver en el Centro de Interpretación de Arte Rupestre en Campo Lameiro, donde se diseña una subestructura a medida en varios de los huecos de instalaciones de la fachada, de tal manera que se mantiene el despiece con la misma configuración y en la misma posición que en el resto del plaño, al mismo tiempo que se permite la ventilación por la parte inferior de cada hilada. Esta solución comparte características con la explicada en el caso de configuración de despieces mediante subestructura de montaje tridimensional.



Figura 5.55 Instalación de elementos de ventilación. Fotografía cedida por el estudio de arquitectura.

### 5.4.5 FACHADAS INCLINADAS

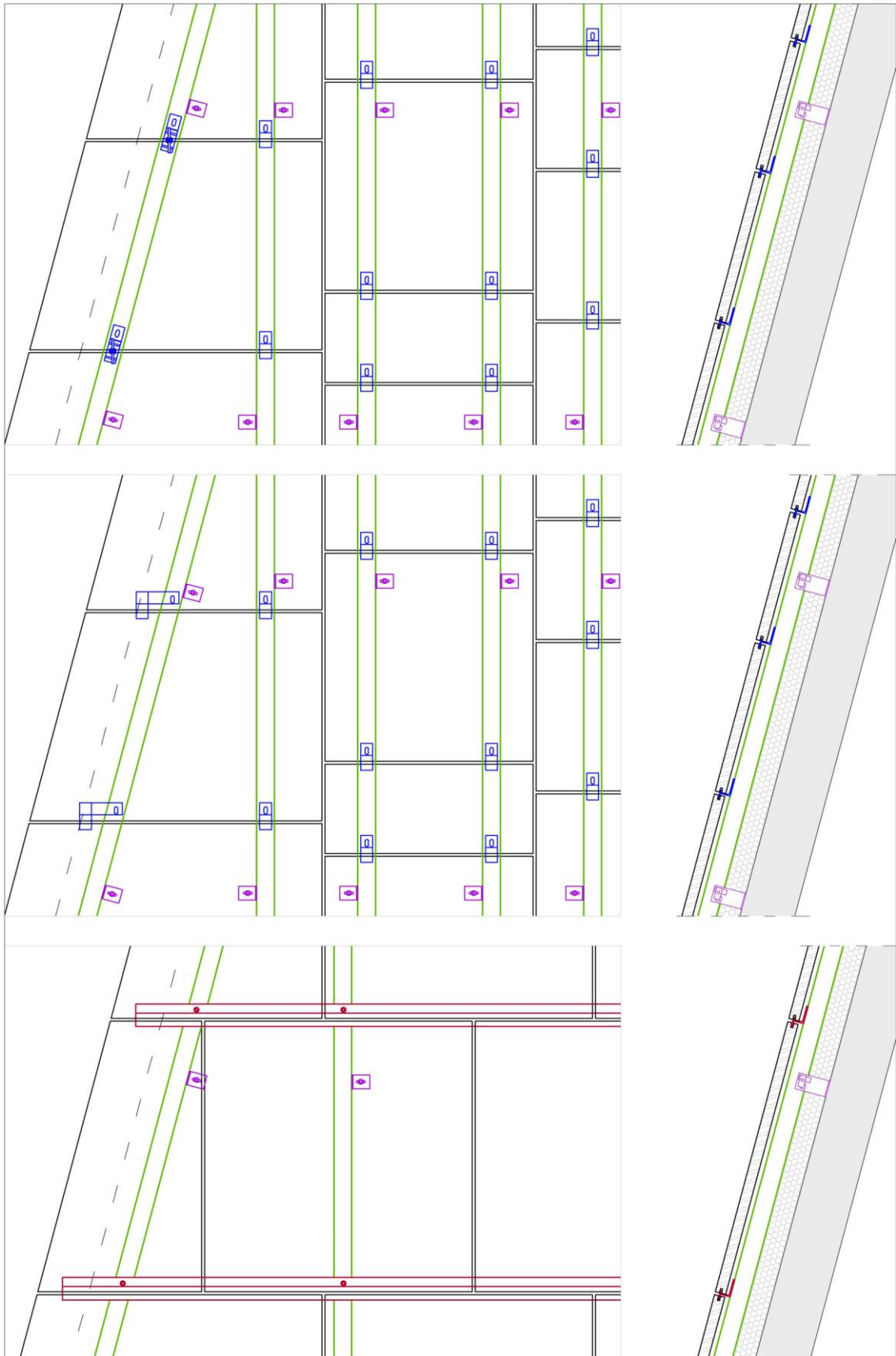
Esta tipología se caracteriza por la utilización de soportes de inclinados. Para que se sea considerada fachada, se admite una inclinación respecto a la vertical de hasta un máximo de  $\pm 15^\circ$  (UNE-EN 13830). En estos casos el peso propio de las placas de piedra y la fuerza del viento actúan en distintas direcciones, de tal manera que ambos esfuerzos se combinan en su actuación perpendicular sobre el revestimiento, debiendo obtener las componentes de las fuerzas por trigonometría para comprobar el cálculo del anclaje. Las estrategias proyectuales recomendadas en esta tipología son:

- Diseño y configuración del despiece. Esta tipología admite despieces convencionales y simples en un plano e incluso despieces volumétricos con piezas planas. Aunque no es habitual, también podrían utilizarse despieces solapados, debiendo en controlar la dirección del solape y la inclinación para evitar puntos que favorezcan la entrada de la gota de agua. Los despieces de gran formato no se recomiendan por las componentes inclinadas de las fuerzas debidas al elevado peso propio de las placas.
- Definición del paño a revestir. Cuando hay varios planos inclinados, el soporte se convierte en un poliedro. Se debe identificar cada uno de sus planos para resolver el despiece.
- Configuración del subsistema de anclaje. En esta tipología se utiliza subsistemas mediante perfilería de anclaje ya que facilitan el replanteo, la definición de puntos críticos y la puesta en obra. La selección del subtipo se hará siguiendo los criterios indicados en el capítulo sobre análisis de despieces.
- Compatibilidad del anclaje. Análisis para resolver la adecuación del subsistema de anclaje seleccionado para fijar las placas en las esquinas en las que se encuentra con un plano inclinado. Este es el punto más crítico para fijar las placas ya que, al trabajar con planos inclinados, las placas de borde no son rectangulares por lo que se debe aplicar alguna modificación en las grapas.

Cuando se utiliza un subsistema de montantes y grapas, se propone la utilización de un montante de borde paralelo a la arista del plano, de tal manera que las grapas se posicionan equidistantes a este. Las grapas se deben modificar de tal manera que el pivote o la grapa que sujeta la placa proporcionen un apoyo paralelo en su base y el mecanizado sea perpendicular al canto. Si se utilizan subsistemas de montantes y la inclinación del soporte es pequeña se podría resolver controlando los vuelos máximos permitidos.

No se recomiendan las grapas de pivote en juntas verticales ni los anclajes vistos ya que la carga del peso propio se reparte en dos direcciones de tal manera que puede producir descompensaciones de cargas en la grapa que hacen que el apoyo no sea estable.





Propuestas de configuración del subsistema de anclaje en el encuentro con un plano inclinado. Soluciones con perfilaría. Alzado y sección.

#### 5.4.6 FACHADAS EN VARIOS PLANOS

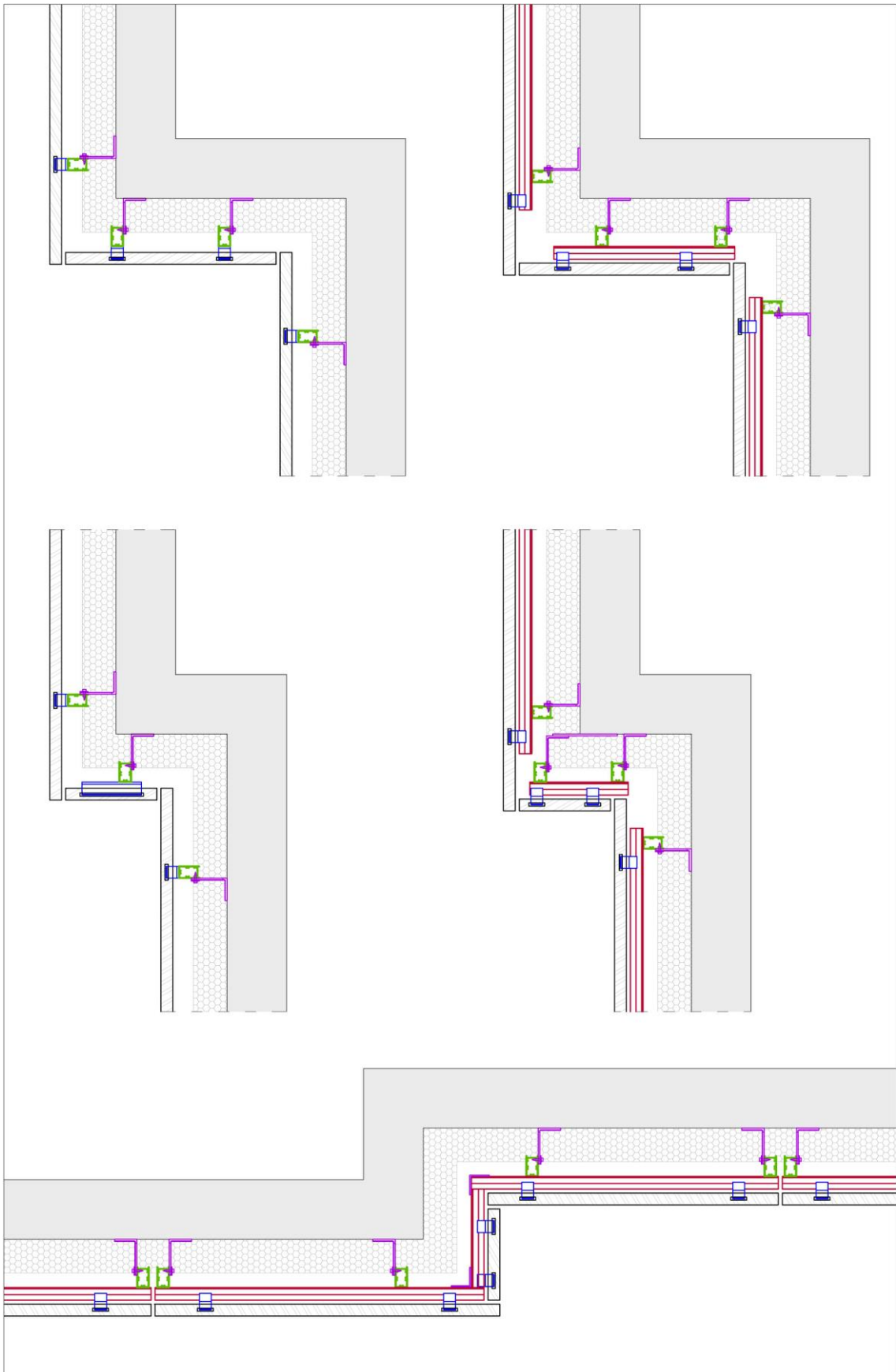
En esta tipología se encuentran las fachadas con vuelos, entrantes, salientes o con varias capas con excentricidades distintas respecto al soporte. Esta tipología suele ir acompañada de alguna de las vistas en los casos anteriores. En estos casos se propone un proceso de configuración basados en dos etapas principales.

- La primera etapa integra la definición de la idea de despiece y propuesta de configuración del subsistema de anclajes siguiendo el método indicado en función de la tipología de la fachada.
- La segunda etapa consiste en la comprobación del subsistema de anclaje en los cambios de plano de tal manera que se verifique si es válido. Si el subsistema no es válido se plantean dos opciones: si el despiece del resto de la fachada se puede resolver con varios subsistemas de anclaje se verifican todos ellos para determinar cuál es el más adecuado para el cambio de plano; si esto no es posible, se puede resolver el cambio de plano con un sistema distinto al utilizado en el resto de la fachada, por ejemplo, utilizando uno o dos montantes que permitan fijar las placas.

Cuando mayor longitud tenga el plano a resolver más sencillo será incorporar el subsistema de anclaje. En los esquemas superiores se muestran ejemplos en los que hay soporte suficiente para permitir posicionar la perfilera, de tal manera que se resuelven como esquinas estándar. En los esquemas inferiores, en cambio, el soporte insuficiente requiere la utilización de un único montante y grapas en vuelo en las juntas horizontales que sean capaces de fijar las placas de una forma estable.

Cuando se utilice una solución con travesaños se plantean dos posibilidades. Se puede fijar cada travesaño a dos montantes, en cuyo caso uno de los montantes se une al soporte mediante escuadras de ancho especial o pletinas en vuelo. Otra opción sería unir los travesaños de tal manera que se comporten como una unidad y no se requieren apoyos intermedios. Esta solución debe ser estudiada por la oficina técnica del suministrador de anclajes para verificar los apoyos estables y las dilataciones.

Si se utiliza esta opción se recomienda prever juntas de dilatación de travesaños próximas de tal manera que no se acumulen movimientos en direcciones opuestas. La incorporación de una junta de dilatación vertical en los travesaños implica previsión de una junta compatible en el despiece.



Propuestas de configuración del subsistema de anclaje cuando se producen cambios de plano. Soluciones con perfilaría. Planta

### 5.4.7 REHABILITACIÓN

El sistema de fachada trasventilada de piedra natural es una solución muy adecuada para los casos de rehabilitación de edificios, por las mejoras significativas en la eficiencia energética del edificio, aumento del confort, flexibilidad en el diseño y mejora estética. En comparación con los sistemas de obra nueva, los casos de rehabilitación de fachadas tienen varios condicionantes diferenciales.

Comprobación de elementos existentes en la cara exterior, como instalaciones o similares.

Se debe tener la precaución de diseñar la fachada con una cámara de aire suficiente que permita que estas instalaciones puedan discurrir por el interior de ella. Así mismo hay instalaciones que deben ser registrables por temas de reparaciones, con lo cual eso supone otro condicionante en el diseño del sistema de fijación. Si algún elemento tiene que ser registrable, debe identificarse y tenerse en cuenta de cara a la selección del subsistema de anclaje.

- Verificación del estado de la estructura. Cuando los cantos de los forjados no están a la vista, como sucede en muchas edificaciones con cerramientos de ladrillo cara vista, se recomienda retirar los elementos que cubren el forjado y realizar verificaciones y catas para determinar la resistencia del mismo y, por tanto, los requisitos de las fijaciones a utilizar y la longitud del empotramiento requerida.
- Verificación del soporte. Cuando se aplica el sistema en rehabilitaciones de fachadas se debe tener en cuenta que el soporte con el que vamos a trabajar no suele tener las condiciones de resistencia y planeidad adecuadas para la fijación de la subestructura. En algunos casos se decide sustituir el soporte existente por otro más ligero con espesores inferiores. En cualquier caso, siempre que el soporte no cumpla los requisitos mínimos de resistencia se debe utilizar un sistema forjado a forjado, mediante subestructura de perfilería anclada a los forjados, sin anclajes intermedios de apoyo.
- Verificación del incremento de espesor de la fachada. Otro aspecto a tener en cuenta es la verificación de la normativa urbanística, ya que podemos encontrarnos con limitaciones en cuanto a espesor, al no poder invadir la vía pública. Los Planes Estatales de apoyo a la rehabilitación están teniendo en cuenta esta cuestión y en algunos casos se están aceptando estos incrementos de espesores que supone este sistema, dadas las ventajas que implica.

Las estrategias proyectuales recomendadas en esta tipología son:

- Comprobar resistencia de la estructura
- Comprobar el soporte y decidir si se elimina y sustituye o se mantiene.
- Definir el despiece. El despiece se diseña para cada paño equivalente a la altura de una planta, como sucedía con el caso de fachadas en altura.
- Seleccionar el subsistema de anclaje. Salvo casos excepcionales se utilizará un subsistema de perfilería forjado a forjado, de tal manera que se libera al soporte de cargas.
- Diseñar la configuración del subsistema de anclaje.

## 5.5 RESOLUCIÓN DE PUNTOS SINGULARES

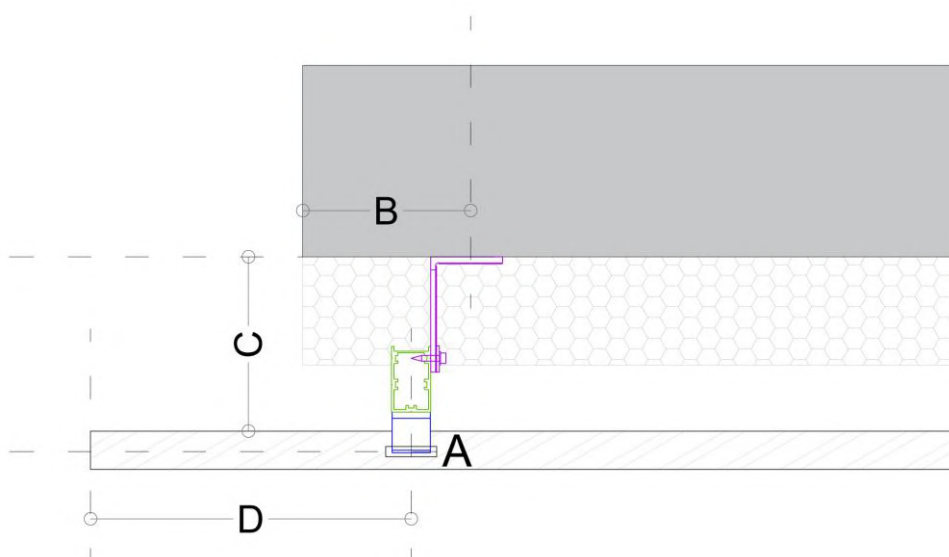
Cuando un despiece puede resolverse con varios subsistemas de anclaje la adecuación del sistema y la facilidad para resolver estos encuentros singulares es una cuestión a tener en cuenta para decantarse por uno u otro. En la definición y resolución de fachadas trasventiladas de piedra natural se consideran puntos singulares los siguientes encuentros:

- Remate superior
- Remate inferior
- Esquina / Remate lateral
- Encuentro con hueco de carpintería

No se incluye en la lista el encuentro con otros elementos (instalaciones, voladizo,...) ya que la resolución de este tipo de encuentros suele requerir estudio detallado en función de las condiciones concretas de la edificación.

Para resolver los puntos singulares serán determinantes los siguientes aspectos:

- A: Posición del anclaje o grapa respecto a la placa de piedra: canto horizontal, canto vertical o reverso de la placa.
- B: Distancia entre la placa (eje de la fijación) y el plano del soporte.
- C: Distancia mínima entre el borde del soporte y la fijación.
- D: Distancia del anclaje o la grapa al borde de la placa y verificación de la misma en función de las dimensiones totales de la placa.



Nota: En los detalles constructivos incluidos en los apartados siguientes el objetivo es mostrar la resolución de los elementos del sistema de fachada estudiado, por lo que las partes referidas a otros elementos y sistemas, que no son objeto de la tesis, se representan de una forma esquemática.

### 5.5.1 REMATE SUPERIOR

Se considera remate superior el cierre de coronación en la parte superior de la fachada, que puede darse en el encuentro del punto más alto de la fachada con otro elemento constructivo o paramento, como la cubierta, o en el remate de coronación del antepecho o parapeto de protección. La función principal que debe asumir la resolución de este encuentro es evitar la entrada de agua. En este sentido se debe asegurar que no se moje la cara superior del soporte y que el agua no entre libremente por la cámara humedeciendo el aislamiento y pudiendo alcanzar la hoja interior de la fachada.

El CTE (DB HS1, apartado 2.3.3.7) propone rematar los antepechos con albardillas para evacuar el agua de lluvia que llegue a su parte superior y evitar que alcance la parte de la fachada inmediatamente inferior al mismo. Las albardillas deben tener una inclinación de al menos 10°, disponer de goterones en la cara inferior de los salientes hacia los que discurre el agua, separados de los paramentos correspondientes del antepecho al menos 2 centímetros. También deben ser impermeables o disponerse sobre una barrera impermeable que tenga una pendiente hacia el exterior de 10° como mínimo. Las juntas entre albardillas deben realizarse de tal manera que sean impermeables con un sellado adecuado. Cuando se utilizan piezas de piedra deben disponerse juntas de dilatación entre pieza y pieza.

En el caso de fachadas trasventiladas de piedra este remate de coronación puede resolverse con elementos metálicos o de piedra natural. Los fabricantes suelen proponer albardillas metálicas, ya que ofrecen la ventaja de ser impermeables y su instalación es sencilla.

Las más habituales son albardillas compuestas por un perfil de aluminio plegado de espesores habituales entre 1 y 2 milímetros y unos elementos conectores para fijarlo al soporte. Estos conectores quedan ocultos al exterior, de tal manera que los taladros y perforaciones para la unión al soporte no quedan expuestos a la vista ni a la entrada de agua. Es importante seleccionar un modelo en el que las uniones entre piezas no requieran perforaciones en la cara superior de la albardilla, evitando así el riesgo de entrada de agua si dicha unión no queda convenientemente sellada. En función del fabricante y modelo se ofrecen distintas secciones y terminaciones del goterón. En general el plegado de la pieza junto con su espesor son los encargados de aportar la rigidez necesaria al conjunto. Los fabricantes suelen ofrecer piezas de distintos anchos y frente que se suministran con sus correspondientes sujeciones y uniones de juntas. También suelen disponer de piezas especiales para esquinas. Todas las uniones deben tener un diseño o elemento que impida la entrada de agua.

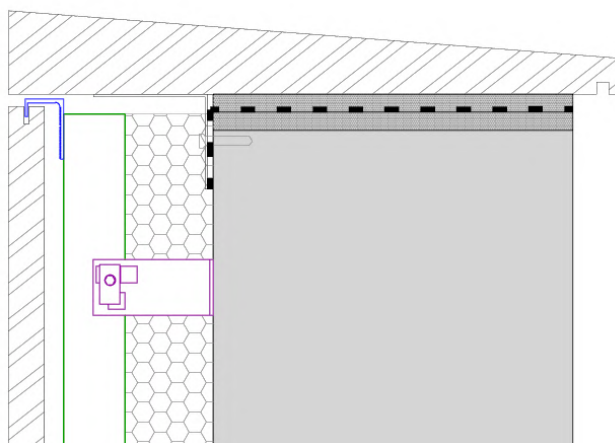
Cuando se utilizan piezas de piedra natural hay más posibilidades para el proyectista y al mismo tiempo se dificulta su resolución. Los fabricantes no suelen incluir en sus catálogos detalles constructivos ni indicaciones para su resolución con estos elementos, por lo que se requiere el trabajo del proyectista para seleccionar una solución que asegure su idoneidad y compatibilidad con la fachada.

En muchas edificaciones se ha utilizado una solución basada en placas de piedra natural adheridas al soporte con juntas selladas entre ellas. Se han detectado varios problemas generalizados en los casos en los que se utiliza esta solución. En primer lugar, la nula o insuficiente pendiente de las albardillas, que provoca la acumulación de agua y de suciedad. En segundo lugar, si la inclinación de la albardilla se dirige hacia el exterior esta suciedad acumulada se irá arrastrando hacia las placas del revestimiento de la fachada, y terminará provocando manchas en las mismas. En tercer lugar, en muchos casos se ha evitado la colocación del goterón para lograr una sección más depurada, de tal manera que el agua termina escurriendo y humedeciendo el paramento interior.

En caso de utilizar albardillas de piedra, la opción más simple consiste en utilizar piezas prefabricadas con una sección transversal que incluya la pendiente necesaria y el goterón. Aún con las indicaciones del CTE es poco habitual ver albardillas de piedra que alcancen una inclinación de 10°. Para la terminación superior del parapeto se recomienda, por tanto, incorporar una capa de mortero hidrófugo y una membrana impermeable. En caso de que utilice una pieza de albardilla plana deberá ser el acabado del parapeto el que asegure que el soporte tenga la inclinación necesaria.

Esta solución se puede utilizar en el caso de parapetos con bastante ancho y cámaras de poco espesor. No obstante, con el progresivo aumento del espesor requerido para los aislamientos y del espesor total de la cámara esta solución no es siempre viable, ya que se genera un vuelo excesivo para la pieza del vierteaguas que en ocasiones no es compensado por el espesor del soporte sobre el que se apoya. En estos casos se puede utilizar una pieza en L anclada al soporte para proporcionar una superficie mayor de apoyo.

Otro aspecto fundamental para resolver el remate superior en relación al subsistema de anclaje es asegurar que el parapeto cumpla las condiciones y resistencia necesarias en los soportes para permitir la fijación de los anclajes y de las ménsulas.



## APTITUD E IDONEIDAD DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

La idoneidad del subsistema de anclaje se determina mediante la comprobación de los anclajes o grapas de retención, ubicados en la parte superior de las placas y, en su caso, aplicación de adaptaciones o modificaciones para su posicionamiento.

Cuando se utiliza un despiece a base de placas con juntas continuas en ambos sentidos la solución es sencilla. En el caso de anclajes ubicados en las juntas verticales no se requiere ninguna modificación respecto a su posición habitual. Si estos se colocan en las juntas horizontales, los anclajes ubicados en el canto superior de las placas requieren una solución diferente, que depende del subsistema utilizado. En el caso de anclajes puntuales regulables de bulón o pivote los fabricantes ofrecen dos opciones. Se puede reemplazar la posición de esta última fila de anclajes y disponerlos en las juntas verticales o utilizar un modelo de anclaje de bulón denominado de inicio o remate superior.

Si los anclajes utilizados son a base de elementos en forma de uña que por su configuración no se pueden disponer en juntas verticales, tanto en el caso de anclajes puntuales regulables como de grapas sobre montantes, se debe utilizar una grapa de inicio-remate. Estas grapas tienen forma de L para asegurar la función necesaria de retención de las placas. En el caso de utilizar travesaños continuos sobre los que apoyan las placas de piedra, se utilizará igualmente un travesaño de remate con sección en forma de L.

En el caso de utilizar sistemas de anclaje por destalonado de fondo, donde el canto superior de las placas queda liberado de anclajes no se requiere ninguna adaptación del sistema.

Cuando se utilizan despieces con juntas horizontales contrapeadas aparece un nuevo elemento para resolver, consistente en la dimensión de las placas de la última hilada. Dependiendo de las dimensiones del despiece habrá que decidir entre aumentar la altura de la penúltima placa hasta alcanzar la línea superior de la fachada o mantener la penúltima placa con su dimensión habitual y añadir una nueva placa con la dimensión necesaria.

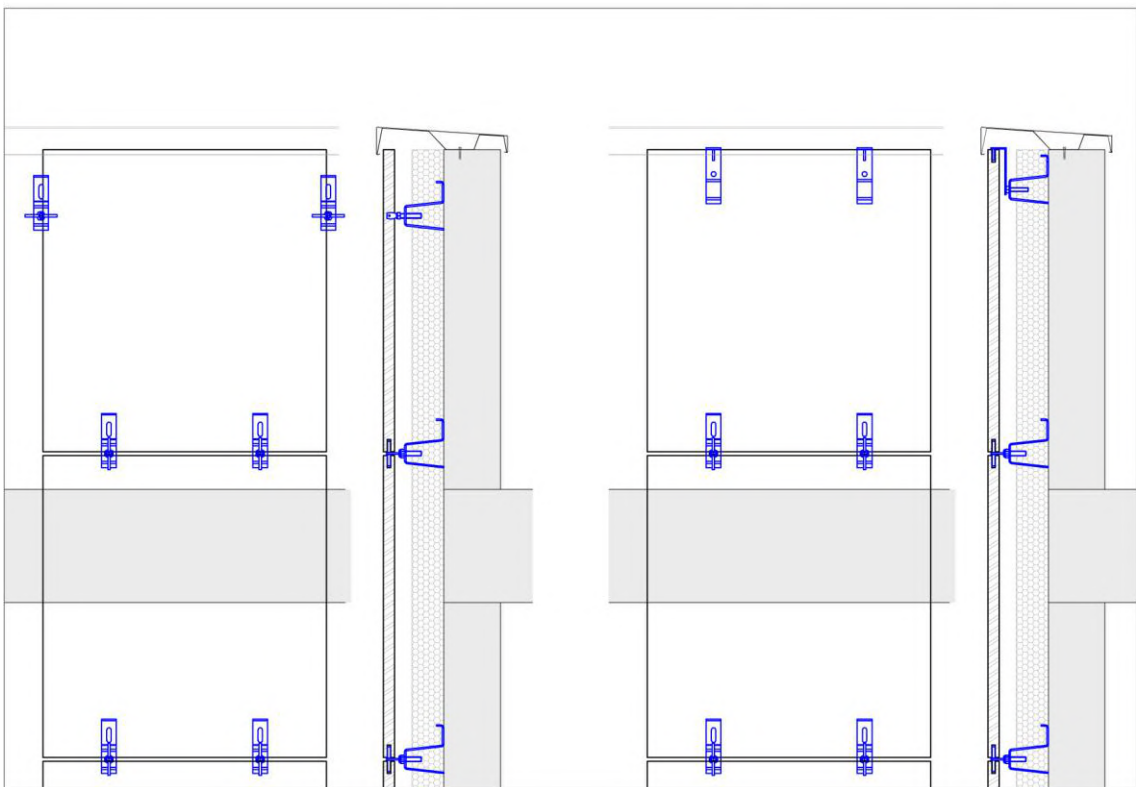
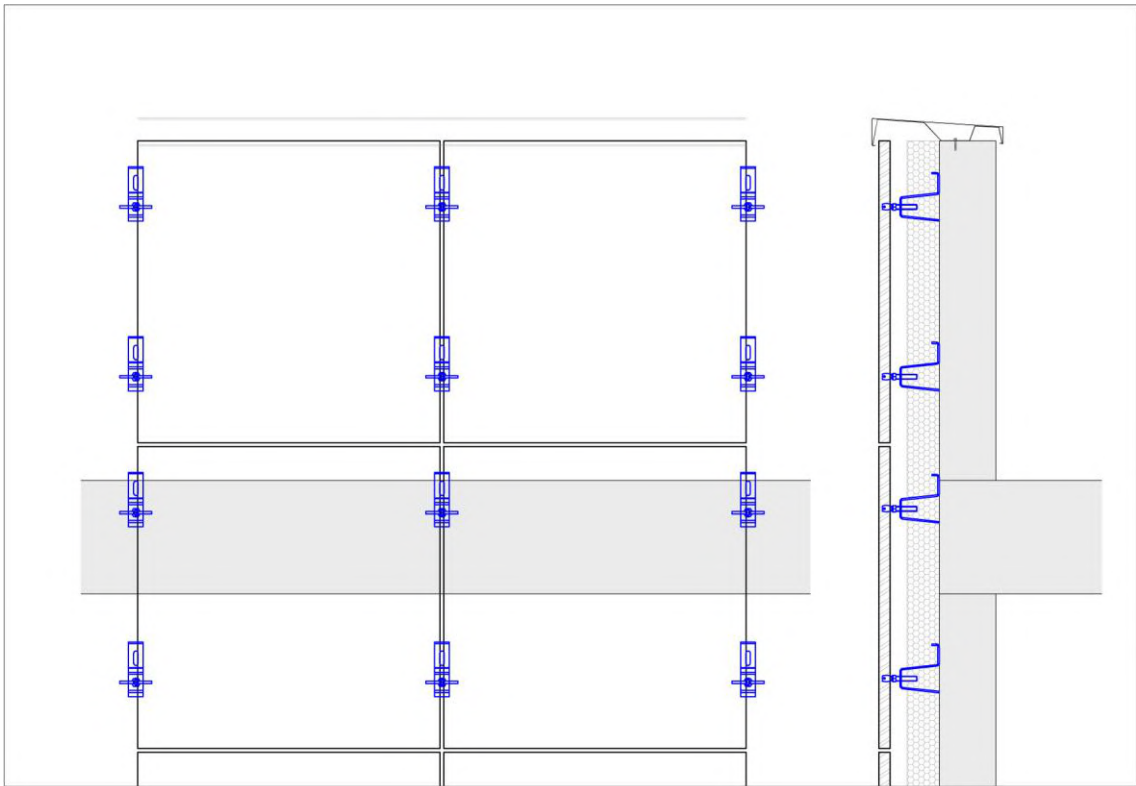
Las soluciones a base de anclajes en las juntas horizontales se adaptan mejor a estas situaciones, ya que no añaden dificultades extra. En el caso de anclajes en juntas verticales, en cambio, se produce una multiplicidad, ya que la posición de la perforación para los bulones no queda a la misma altura en las placas contiguas. Algunos fabricantes ofrecen anclajes con un único bulón para resolver esta situación.

Cuando se utilizan despieces solapados el remate de las placas superiores se resuelve mediante la utilización de grapas de remate superior o mediante uniones de pivote ubicados en juntas verticales, en función del tipo de solape. En los casos en los que se diseñe una grapa o anclaje de continuidad modificado para permitir el solape deseado, se requiere igualmente el diseño de los correspondientes anclajes o grapas de remate superior. Estos elementos se encargan de evitar el vuelco de la última hilada de placas.

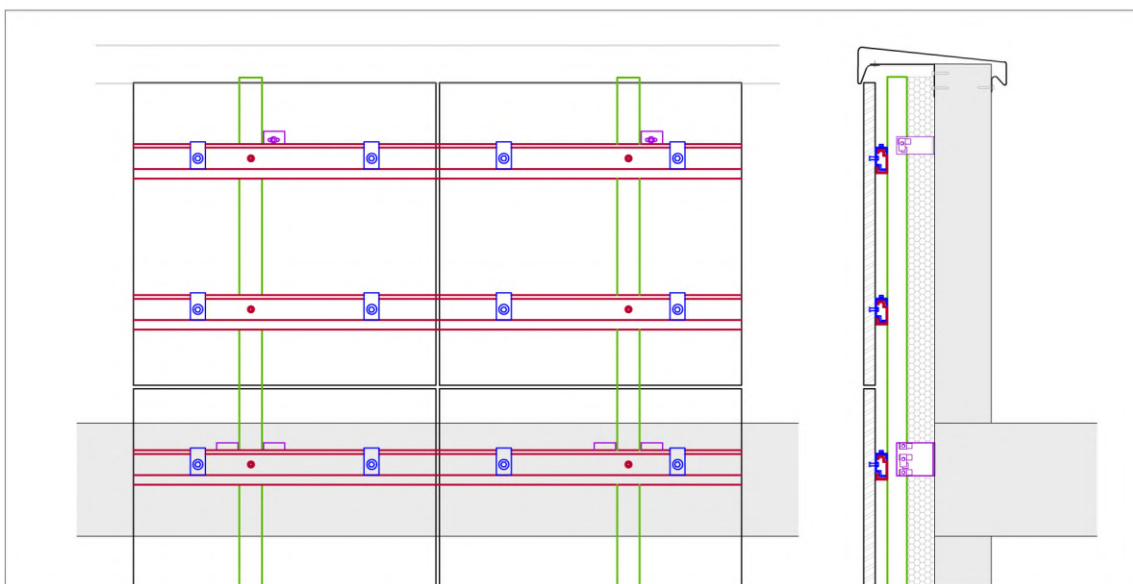
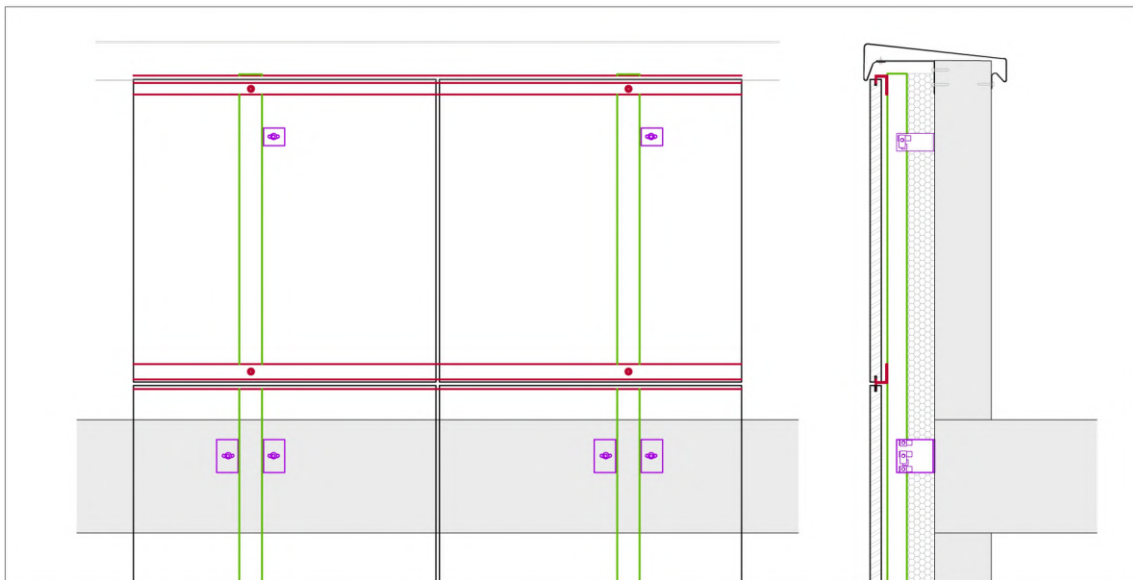
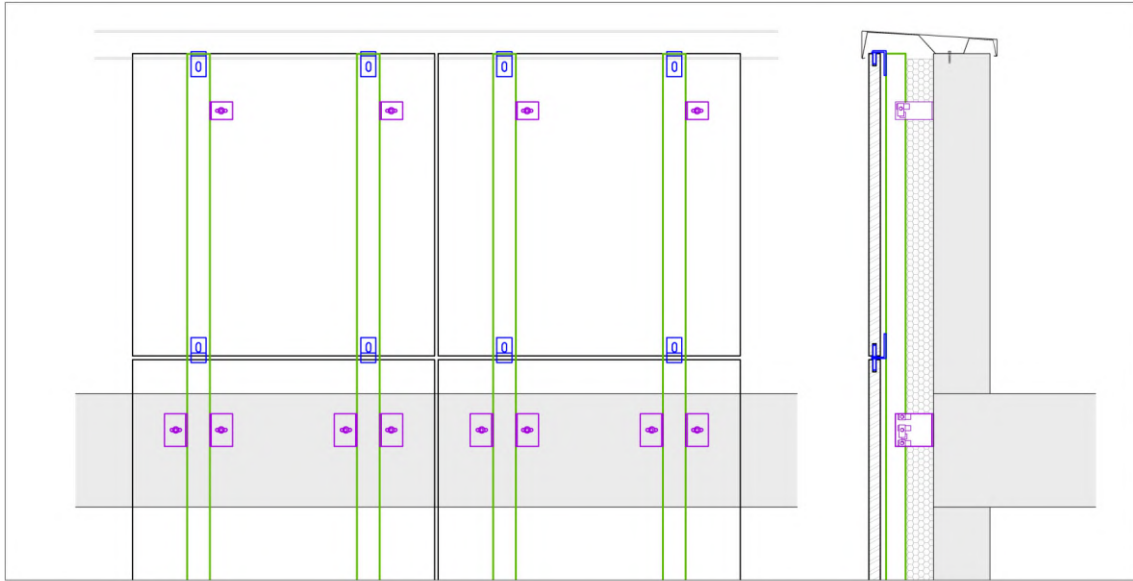
En ocasiones se buscan soluciones más versátiles y tecnológicas de manera que se integren mejor con el diseño arquitectónico de la fachada, buscando un efecto de continuidad entre fachada y cubierta, tanto en cubiertas inclinadas como en cubiertas planas. En estos casos se utiliza un remate de albardilla ventilada o se resuelve con un sistema de suelo/cubierta ventilada compatible con el sistema de fachada empleado. De cara a la imagen al exterior lo más habitual es que la pieza de remate de coronación quede por encima de la placa de fachada, de tal manera que su canto queda visto al exterior. Podría utilizarse el detalle inverso si no se quiere ver este canto visto, aunque con esta solución la entrada de agua a la cámara es mayor y por tanto aporta más problemas



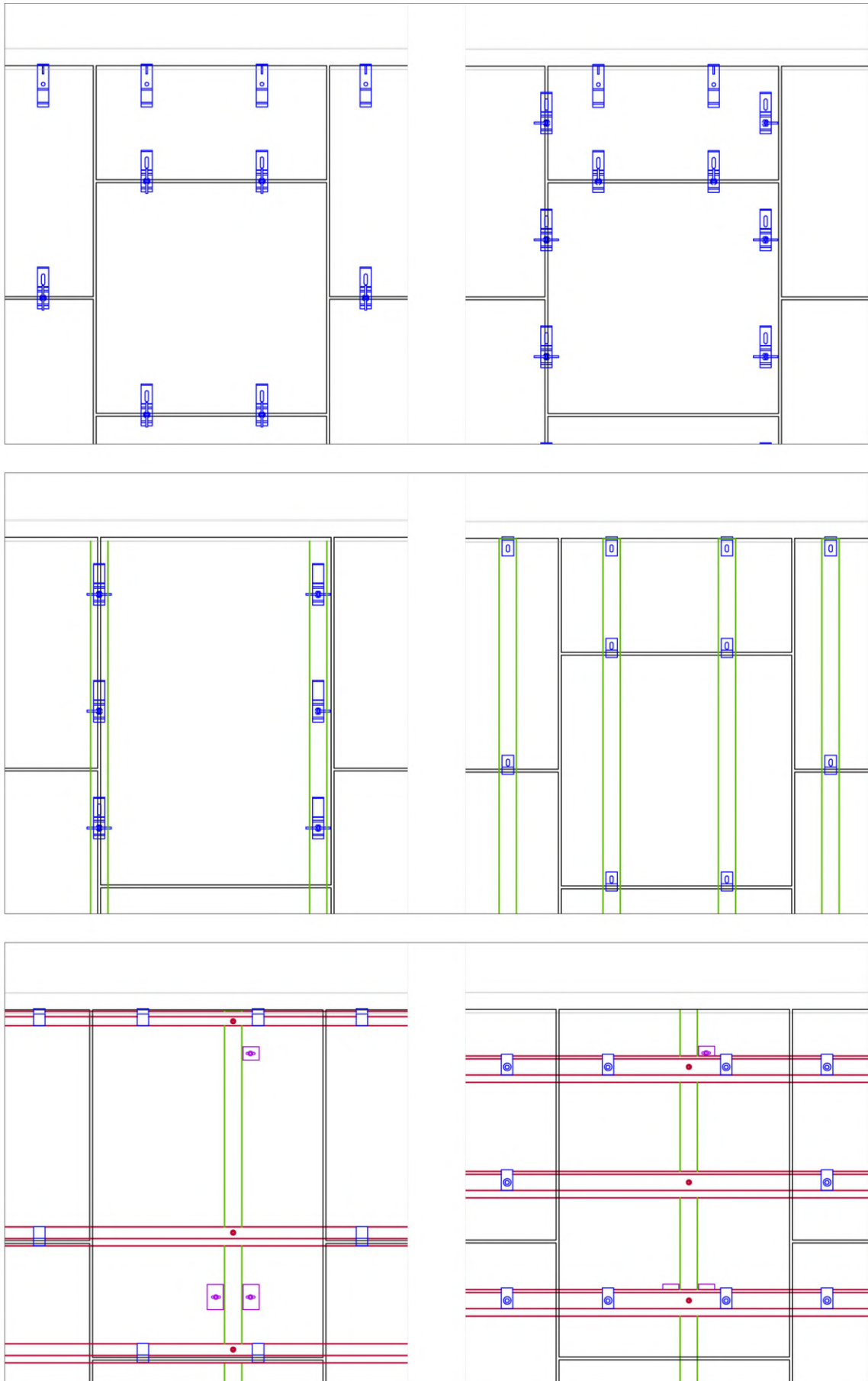
PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL REMATE SUPERIOR



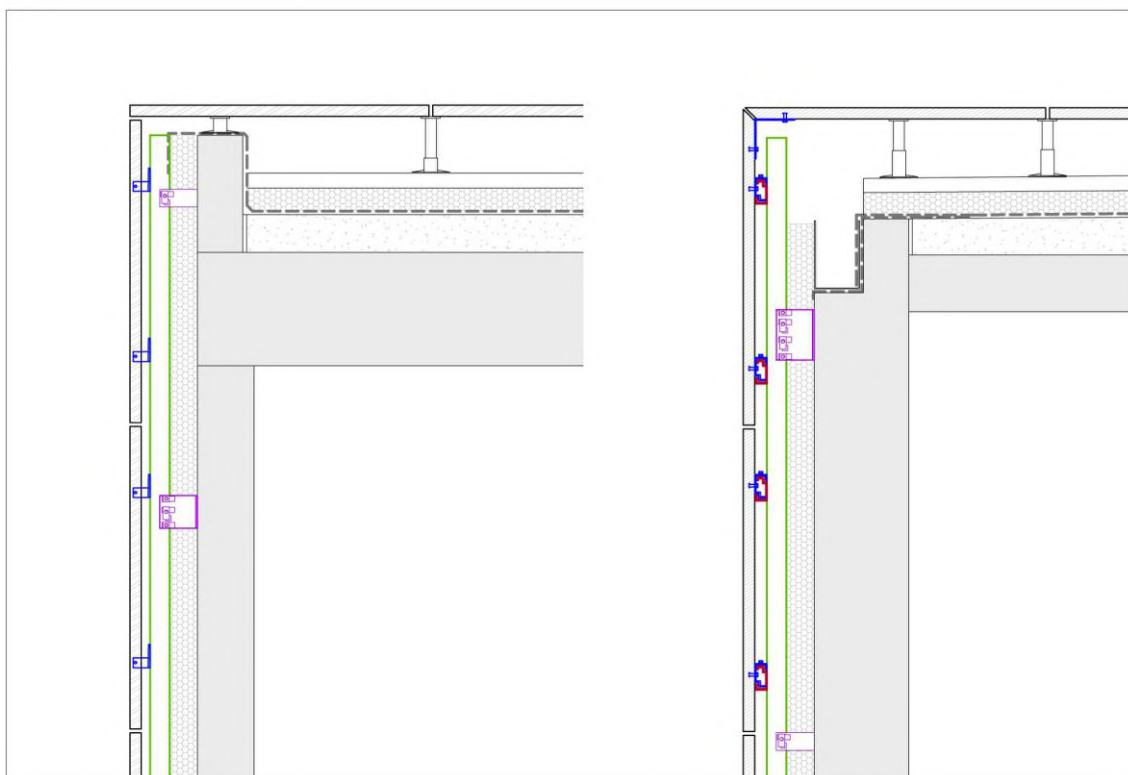
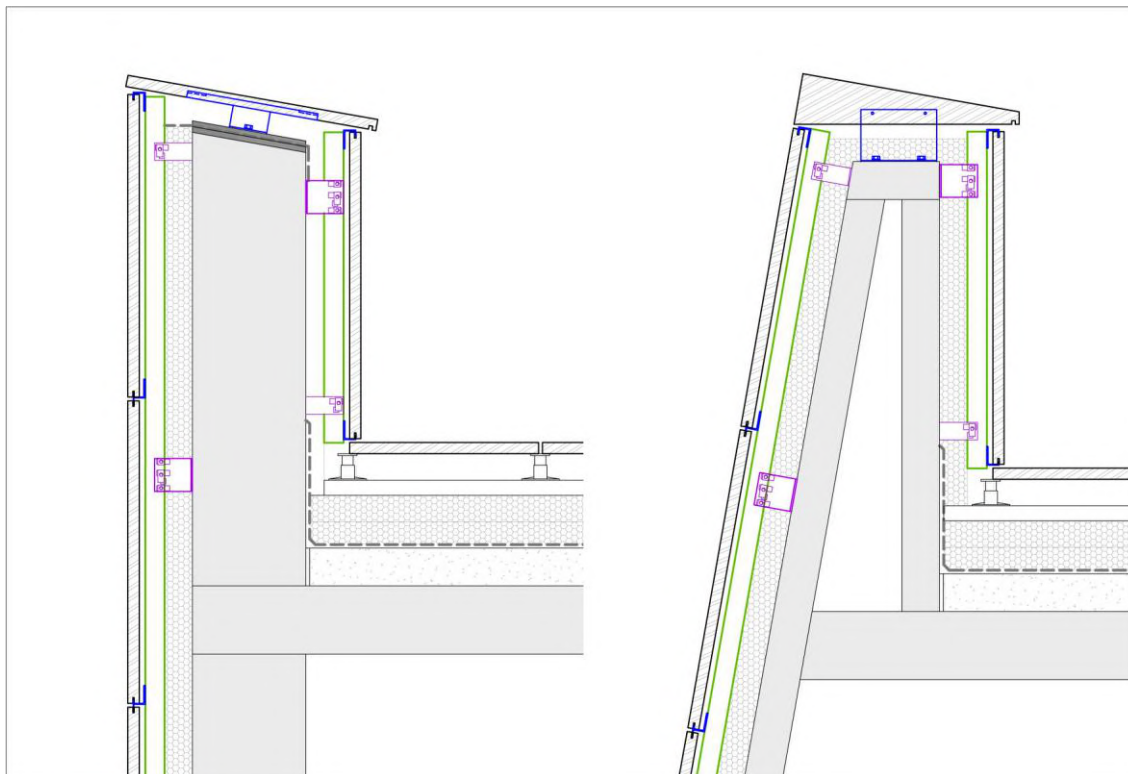
Soluciones en alzado y sección



Soluciones en alzado y sección



Soluciones en alzado



Soluciones en sección. El sistema admite la posibilidad de adaptación a cubiertas resueltas con placas de piedra. La solución de la cubierta no es objeto de la tesis, pero se destaca su interés de cara a desarrollos futuros.

## 5.5.2 REMATE INFERIOR

A la hora de hablar de remate inferior podemos distinguir dos tipos. Por un lado, el encuentro con el suelo y, por otro lado, el encuentro inferior visto, que se da en casos de remates inferiores en voladizos, soportales o similares. El primer caso es el más sencillo de resolver y el que permite menos opciones de diseño para el proyectista, ya que en la mayoría de los casos este remate no se ve desde el exterior.

En la mayoría de los casos se resuelve con un perfil metálico plegado con inclinación hacia el exterior y goterón encargado de asumir varias funciones: recoger y evacuar el agua que haya podido entrar en la cámara, evitar la entrada de desperdicio y animales y no impedir la entrada de aire. Dependiendo del tipo seleccionado y fabricante el perfil puede ir anclado al muro soporte o a la subestructura de la fachada. El perfil puede ocultar el espesor de la cámara o alcanzar además el espesor de las placas de piedra.

En caso de que exista un muro y la fachada arranque sobre el mismo, cuando el impermeabilizante se resuelve por el exterior, el CTE establece que debe prolongarse más de 15 centímetros por encima del nivel del suelo exterior (DB HS1 art. 2.1.3.1). En caso de que la fachada arranque desde la cimentación debe disponerse una barrera impermeable que cubra todo el espesor de la fachada a más de 15 centímetros por encima del nivel del suelo exterior para evitar el ascenso de agua por capilaridad o adoptar otra solución que permita el mismo efecto (DB HS1 art. 2.1.3.2).

Cuando se perfora la lámina impermeabilizante con las fijaciones del perfil o de los anclajes o ménsulas se debe asegurar que esta unión quede sellada para evitar filtraciones indeseadas.

## APTITUD E IDONEIDAD DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

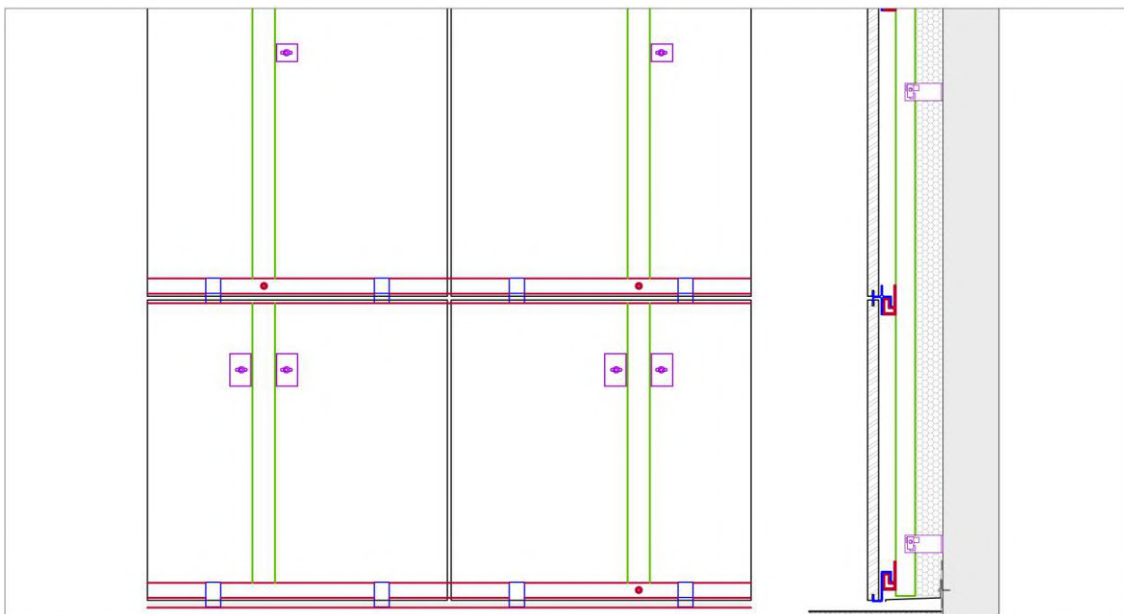
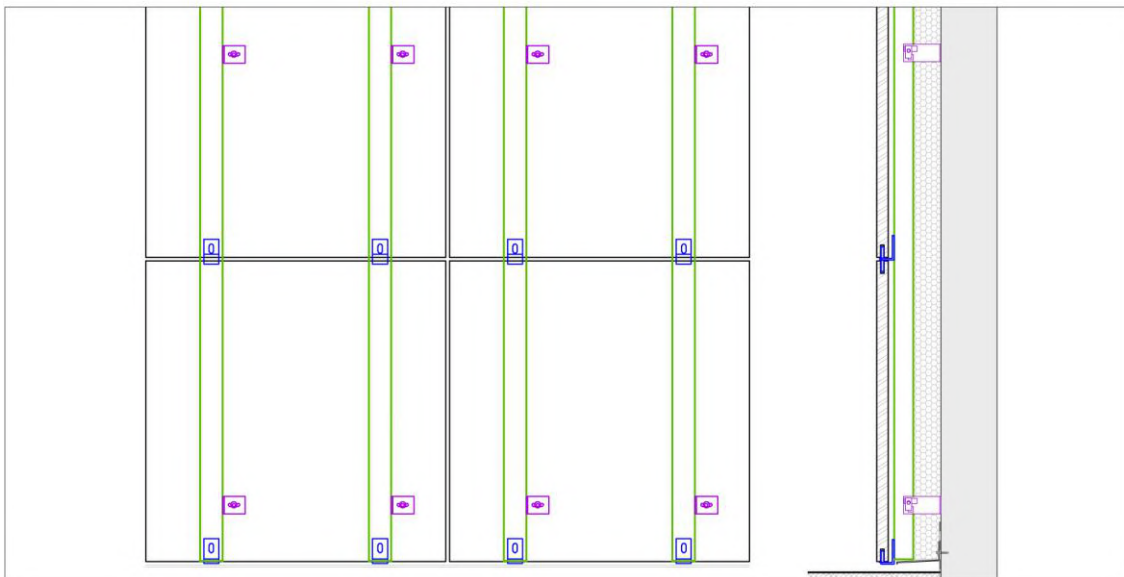
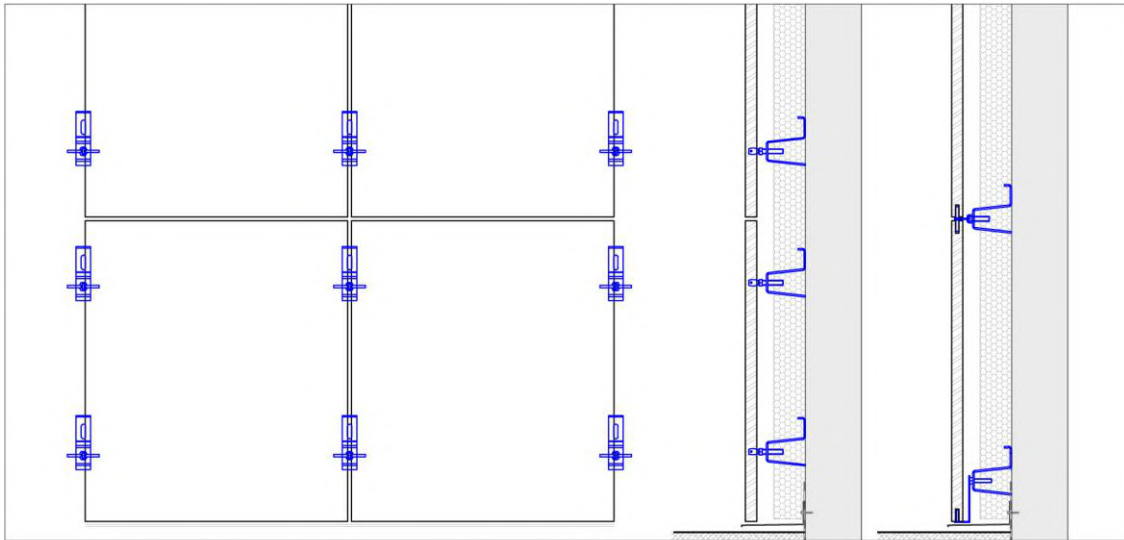
La idoneidad del subsistema de anclaje se determina mediante la comprobación de los anclajes o grapas de carga, ubicados en la parte inferior de las placas y, en su caso, aplicación de adaptaciones o modificaciones para su posicionamiento.

El subsistema de anclaje se resuelve siguiendo las mismas indicaciones que en caso anterior, con la diferencia de que en este caso la fila de anclajes que requiere comprobación en la primera fila que se instala y tiene la función de carga. Los anclajes ubicados en las juntas verticales no requieren modificaciones. En el caso de anclajes puntuales de bulón en juntas verticales se puede optar por ubicar esta primera fila en las juntas verticales o un anclaje de cuelgue o de inicio. En el caso de subsistemas donde las placas se sujetan con uñas, grapas o travesaños en juntas horizontales se pueden utilizar grapas de descuelgue o de inicio. En el caso de utilizar sistemas de anclaje por destalonado de fondo el canto inferior de las placas queda liberado de anclajes, por lo que no se requiere ninguna adaptación del sistema.

Cuando se utilizan despieces solapados el remate de las placas inferiores se resuelve utilizando anclajes o grapas de inicio o descuelgue, o mediante uniones de pivote ubicados en juntas verticales, en función del tipo de solape. En los casos en los que se diseñe una grapa o anclaje de continuidad modificado para permitir el solape deseado, se requiere igualmente el diseño de los correspondientes anclajes o grapas de inicio. Estos elementos se encargan de soportar el peso de la primera hilada de placas.

En el caso de despieces de grandes dimensiones el remate inferior suele resolverse sin necesidad de modificación en el subsistema de anclaje, manteniendo el anclaje de carga en el canto horizontal inferior de la placa, la grapa de carga en la misma posición o el anclaje por destalonado en el reverso.

PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO CON EL SUELO



Soluciones en alzado y sección

Los remates inferiores que se producen por encima del encuentro con el suelo tienen más posibilidades formales. Los fabricantes no suelen incluir este remate dentro del catálogo de detalles constructivos estándar para la resolución de puntos singulares. Debe asegurarse que cumple las mismas funciones que el caso anterior además de aportar aspectos estéticos.

A diferencia del caso anterior, este remate va a quedar a la vista desde el exterior, por lo que se busca ocultar la cámara de aire y, en algunos casos, ocultar también el canto de las placas de piedra. La solución más sencilla consiste en utilizar un remate metálico, ya sea utilizando el propio dintel de cuelgue o mediante perfil metálico. En función del efecto que se quiera conseguir se puede ocultar el espesor completo de la fachada o dejar el canto de las placas de piedra visto. Debe garantizarse que la solución utilizada cumpla las mismas funciones que en los casos anteriores respecto a la evaluación del agua y la entrada de suciedad y animales. La utilización de una solución u otra crea efectos antagónicos y generalmente entra en juego la estrategia del proyectista para enfatizar efectos de pesadez o ligereza de la fachada.

Una solución más compleja, pero con grandes alicientes estéticos, consiste en resolver el techo con placas de piedra colgadas que retornan en continuidad con la fachada creando un efecto de hueco recortado en una masa pétreo.

Otra solución que se puede ver en estos despieces es el retorno de la fachada o de la cubierta dando lugar a falsos techos inclinados.

## APTITUD E IDONEIDAD DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

La idoneidad del subsistema de anclaje se determina mediante la comprobación de los anclajes o grapas de carga, ubicados en la parte inferior de las placas y, en su caso, aplicación de adaptaciones o modificaciones para su posicionamiento.

Respecto a la disposición de los anclajes se aplican las mismas indicaciones que en el remate inferior de encuentro con el suelo. Además, se debe prestar atención al soporte que cuelga bajo el forjado en caso de que sobre este deban fijarse anclajes o ménsulas. En caso de que este paramento de cuelgue no tenga la resistencia mínima requerida se puede resolver mediante pletinas de cuelgue ancladas al forjado, de tal manera que los anclajes se fijen a ellas mediante sistema de atornillado. Si se va a optar por esta opción se debe tener prevista con antelación, ya que las pletinas de cuelgue se instalan previamente al aislamiento. La posición de las pletinas se señala durante el replanteo y deben estar alineadas con la posición de los anclajes del subsistema de fachada.

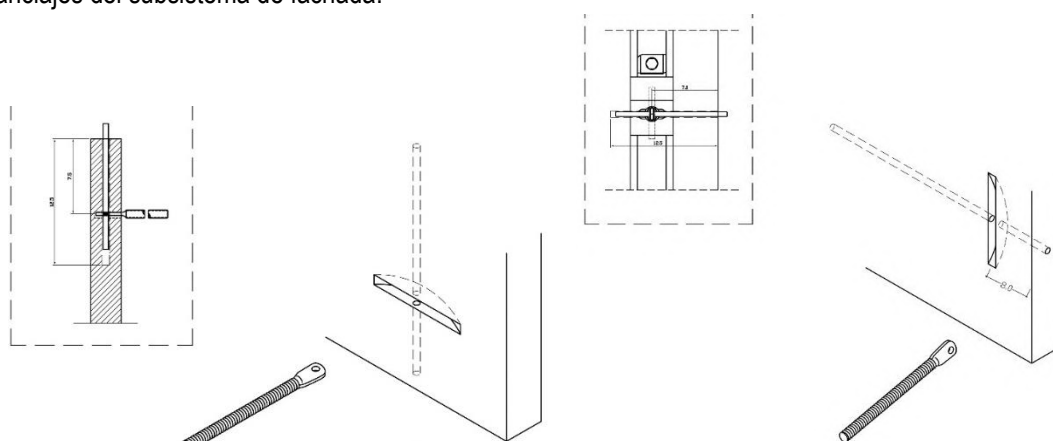


Figura 5. 56. Soluciones propuestas por la empresa Masa para resolver determinados encuentros inferiores con anclajes puntuales. Cedida,

En algunos casos en los que no se requiera paramento de cuelgue o no sea viable la instalación de este tipo de pletinas, por motivos constructivos o presupuestarios, se puede utilizar una grapa denominada habitualmente de trasdós, consistente en una grapa con forma de uña inclinada que se introduce en una ranura puntual con la misma inclinación en el reverso de la placa. Esta pieza suele ofrecerse para los subsistemas a base de montantes, pero no todos los fabricantes disponen de esta pieza en su catálogo de productos.

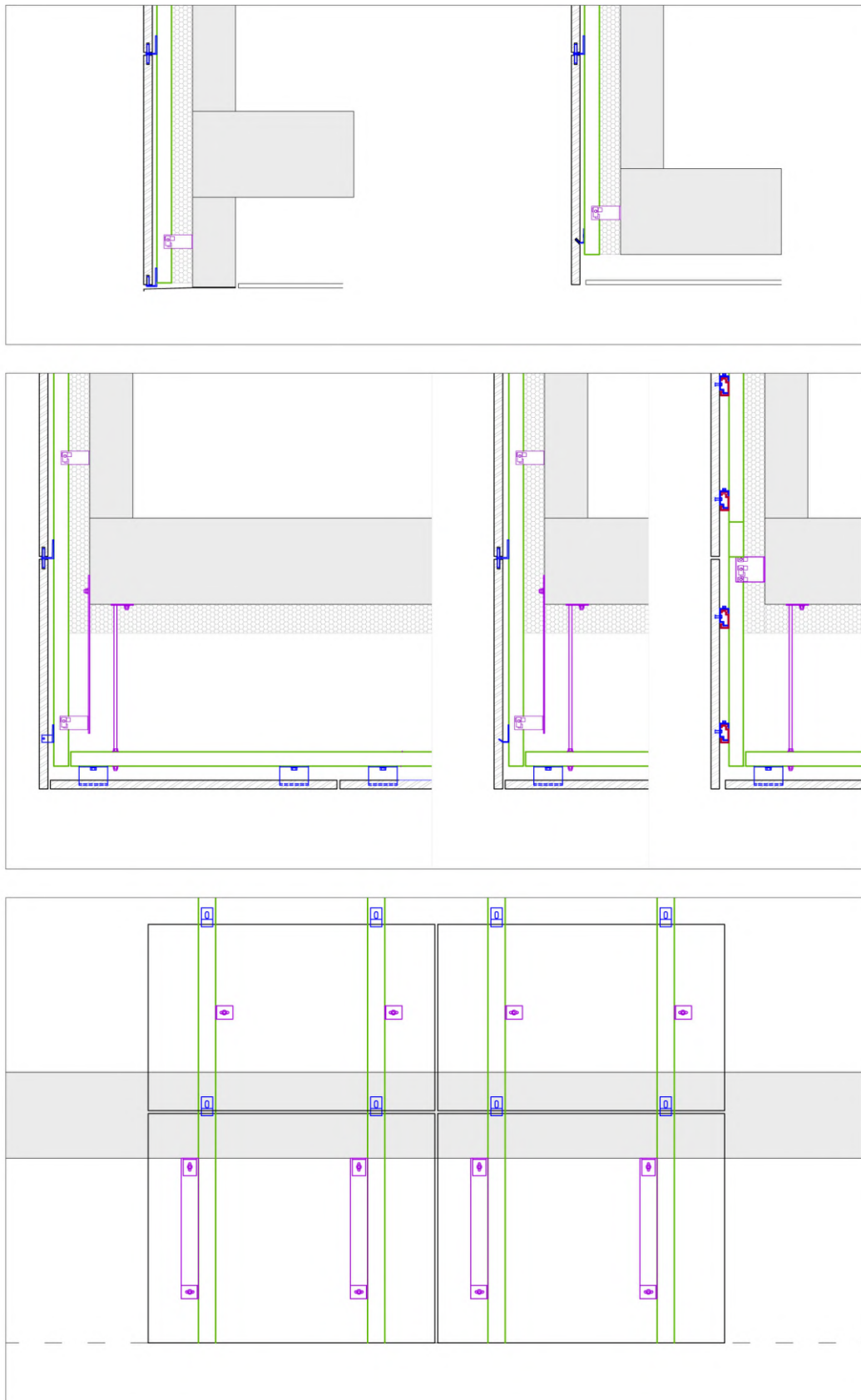
Algunos fabricantes proponen utilizar un anclaje puntual amortorado o regulable e introducirlo en una ranura en el reverso de la placa. Para asegurar la posición del anclaje se introduce un bulón o pivote por una perforación realizada a través del canto inferior de la placa. La misma solución se puede aplicar de manera análoga en el canto vertical. No obstante, no se recomienda utilizar anclajes amorterados, sino respetar el mismo tipo de anclajes que se estén utilizando en el resto de la fachada. Esta opción presenta una dificultad añadida en la puesta en obra, ya que estos anclajes se encargan de soportar el peso de las placas y en caso de que no se ejecute adecuadamente pueden aparecer graves alteraciones en la fijación de estas placas.

En este caso el fabricante recomienda mantener una distancia mínima de entre 7,5 y 8 centímetros entre el eje del pivote y el borde de la placa. Es fundamental respetar las distancias mínimas a bordes ya que de otra manera el cono de tensiones podría producir la fractura de la placa.

En el caso de encuentros con falsos techos, en ocasiones se buscan soluciones más estéticas y complejas, consistentes en resolver el techo con placas de piedra colgadas que retornan en continuidad con la fachada creando un efecto de hueco recortado en una masa pétreo. Se debe instalar una subestructura de falso techo anclada al forjado apta para soportar el peso de las placas de piedra. Cuando se utiliza esta solución se puede dar el caso de que bajo el forjado no cuelgue soporte y, por tanto, la subestructura de la fachada ventilada se quede sin apoyo en dicha zona. Para resolver la fijación de los montantes en ese caso se cuelgan unas pletinas del forjado a las que se anclan las ménsulas o los anclajes puntuales regulable, en su caso. Aunque se podría resolver con ambos sistemas es poco habitual en estos casos utilizar anclajes puntuales.



PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO CON FALSO TECHO



Soluciones en sección y alzado. El sistema admite la posibilidad de adaptación a falsos techos resueltos con placas de piedra. La solución del falso techo no es objeto de la tesis, pero se destaca su interés de cara a desarrollos futuros.



Figura 5.57 (arriba). Edificio para la cinemateca francesa en Paris (Frank Gehry, 1996). Fotografía de la autora.  
Figura 5.58 (abajo). Instalación de falso techo de piedra en el Centro de interpretación de Arte Rupestre,  
Pontevedra. (RVR arquitectos. 2009). Fotografía cedida por el estudio de arquitectura.

### 5.5.3 ESQUINA / REMATE LATERAL

En este punto singular se dan dos casos diferentes: el remate lateral, cuando la fachada termina en su plano al encontrarse con un elemento de remate o con otro material; y el remate de esquina, cuando la fachada retorna hacia otra dirección manteniendo el mismo sistema constructivo, pudiendo ser esta esquina interior o exterior.

En ambos casos la solución del cambio de plano puede resolverse mediante el giro de las placas de piedra o mediante la incorporación de un elemento metálico que coincide con el vértice y resuelve la esquina.

#### APTITUD E IDONEIDAD DEL SUBSISTEMA DE ANCLAJE

En el primer caso, se debe comprobar si el subsistema de anclaje utilizado se adapta al cierre lateral y resolver la pieza de cierre de la cámara o bien el encuentro con el nuevo material que continúa la fachada. Al contrario de lo que sucedía con los remates superiores e inferiores son los sistemas de anclajes en juntas verticales los que requieren una variación en su configuración. Del mismo modo que se ha comentado anteriormente, en el caso de anclajes de bulón se puede sustituir la línea de anclajes que cierra el lateral por anclajes ubicados en las juntas horizontales.

Cuando el sistema es a base de montantes alineados con las juntas verticales, se debe modificar la colocación de este montante y posicionar grapas de uña en las juntas horizontales. En el caso de subsistemas mediante montantes y travesaños se debe asegurar comprobar la posición de la fila de ménsulas de tal manera que se respeten los vuelos máximos de los travesaños.

Cuando el despiece utilizado tiene juntas verticales contrapeadas se debe resolver que hacer con la pieza de borde que queda. Las opciones, como en los casos anteriores, consisten en decidir la dimensión de la placa más apropiada y que mejor se adapte al subsistema de anclaje.

A la hora de resolver una esquina de piedra natural hay muchas posibilidades formales, generalmente dependiendo de si se busca una aparente continuidad de la fachada, un aspecto de trabazón tradicional o una terminación recta en la que se muestre el canto de las placas.

La terminación del canto de la placa puede resolverse igualmente de varias formas dependiendo de si se busca un remate con canto oculto o con canto visto. La solución con canto oculto admite las soluciones de inglete o de remate mediante un perfil metálico. Cuando se deja visto el canto de la placa puede resolver con canto continuo o contrapeado. Otra posibilidad, aunque poco utilizada en las fachadas trasventiladas de piedra, es la unión de los cantos de las placas de tal manera que se genera una esquina cóncava y los dos cantos de las placas contiguas quedan vistos.

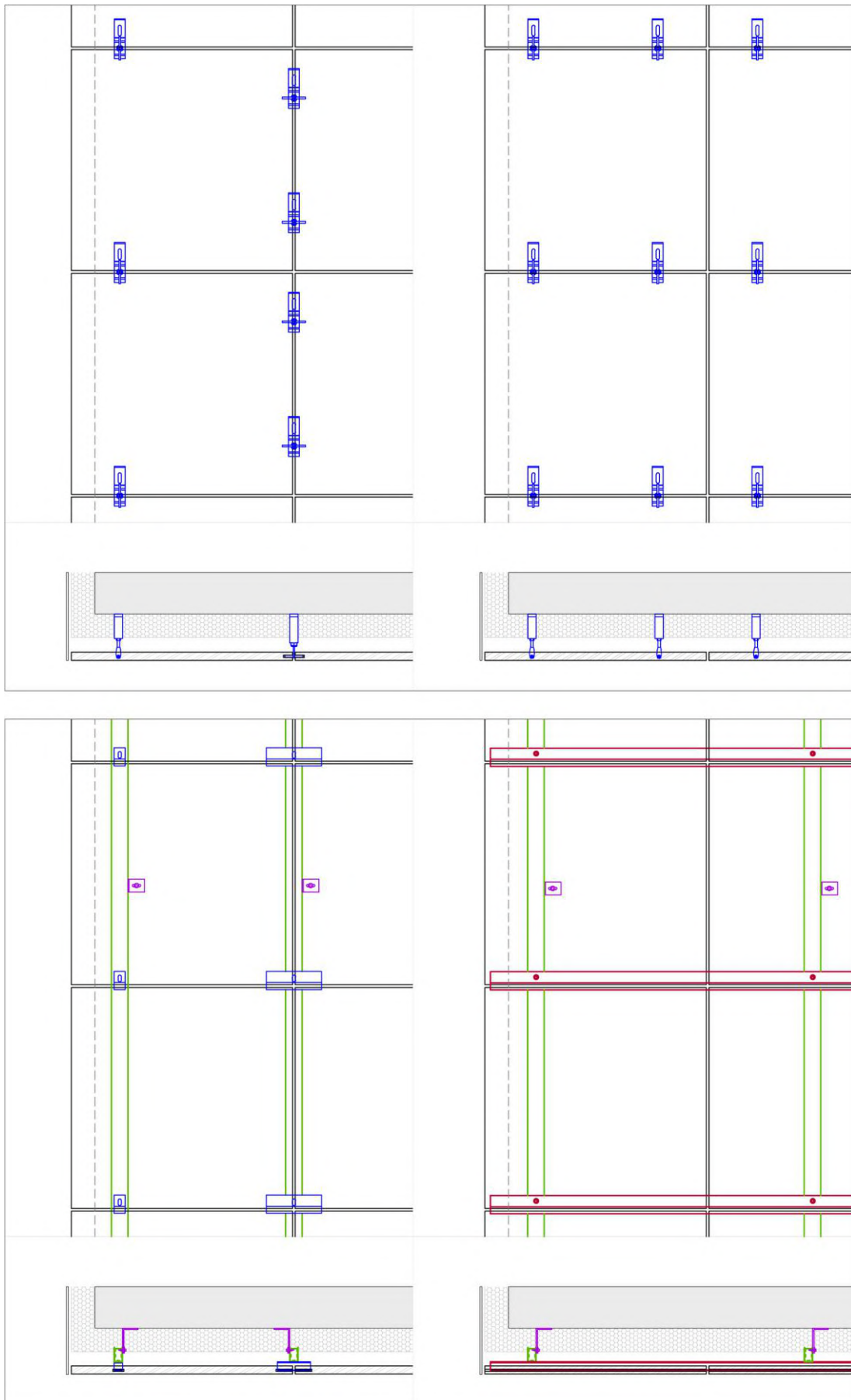
En caso de utilizar un perfil metálico visto este se puede fijar bien al soporte bien al subsistema de anclaje, con uniones que permitan la libre dilatación del perfil. Además, se debe asegurar la junta mínima entre el perfil y las placas de piedra.

En el caso de subsistemas mediante travesaños sobre los que apoyan las placas algunos fabricantes recomiendan alargar los travesaños hasta la esquina y unir los dos montantes en esquina mediante un perfil en L fijado a ambos travesaños con uniones que permitan la libre dilatación. Esto es especialmente recomendable en el caso de esquinas a inglete ya que la esquina queda más desprotegida.

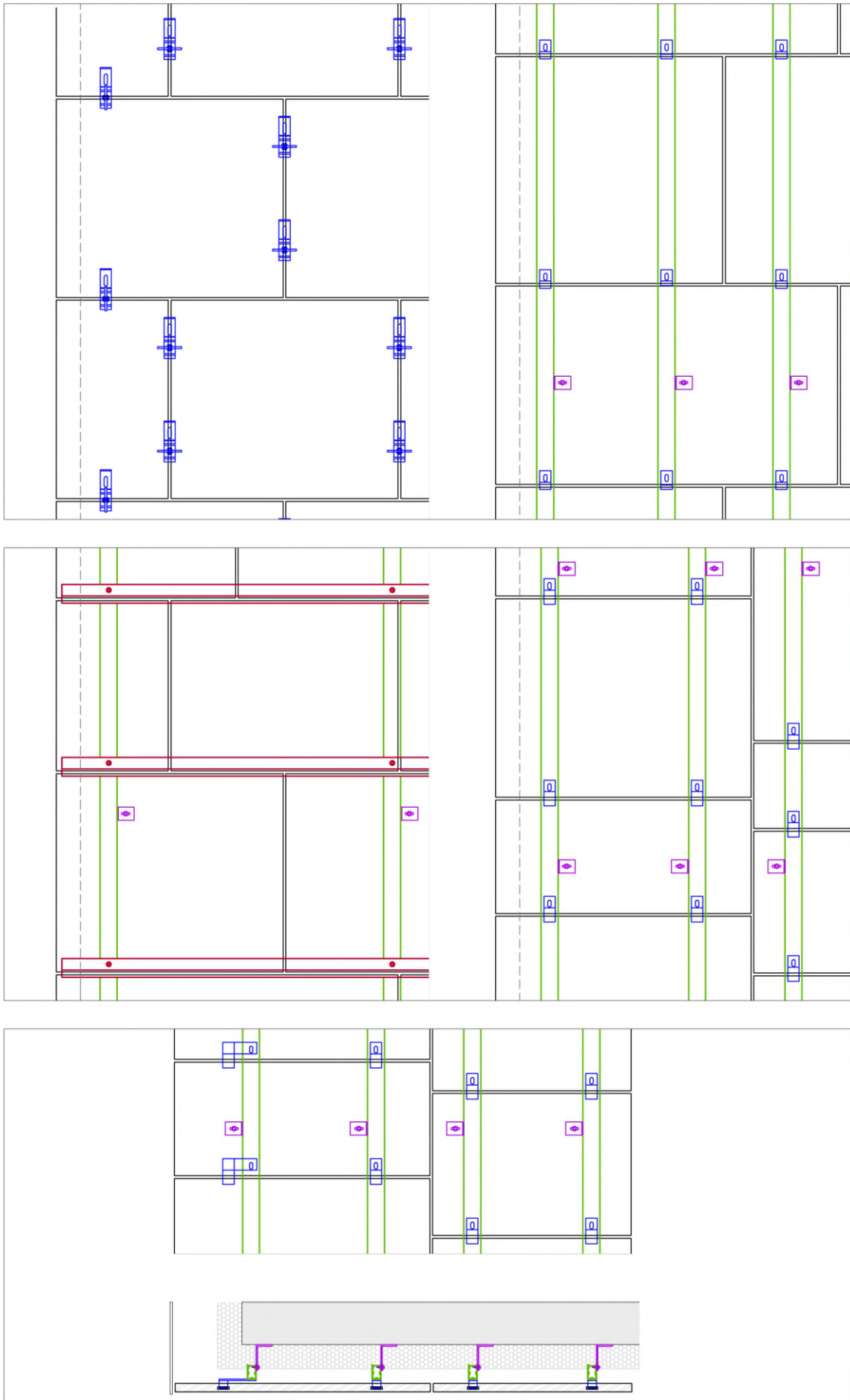
En los despieces de grandes dimensiones los remates laterales son los puntos que más adaptaciones respecto al subsistema de anclaje van a requerir, en caso de utilizar alguna solución de anclaje alineadas con las juntas verticales. En esos casos habrá que desplazar el anclaje o el montante hacia el interior para liberar el canto exterior. Al igual que en el resto de encuentros, las soluciones con anclajes a la piedra en el reverso de la placa no requiere modificaciones, siempre y cuando la posición del anclaje sea compatible con la posición del soporte. El canto de las placas puede resolverse mediante corte biselado o dejando el canto visto. Esta última opción suele ser habitual en aquellos casos es los que se quiere hacer alusión al espesor de las placas.

Otra solución es la resolución de la esquina con una sola pieza, de tal manera que se parte de un bloque de mayor espesor que se vacía para formar la esquina. Esta solución se ha utilizado con esquinas rectas, curvas o con esquinas de secciones cóncavas/convexas aplicadas en puntos singulares. Esta opción, poco utilizada en la actualidad, presenta varios problemas. Por un lado, el evidente desperdicio de material y el aumento de coste en su producción. Por otro lado, no es recomendable que una misma placa de piedra sufra tensiones y dilataciones/contracciones en varias direcciones, ya que se producirían tensiones indeseadas en la placa que podrían producir fisuras e incluso la fractura de la pieza por el punto más débil de la pieza, generalmente la propia esquina. Cuanto mayor sean las alas de la pieza y menor espesor tenga la pieza, más probable es su deterioro. El uso de esta solución, por tanto, quedaría limitado a soluciones puntuales controladas.

PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO LATERAL

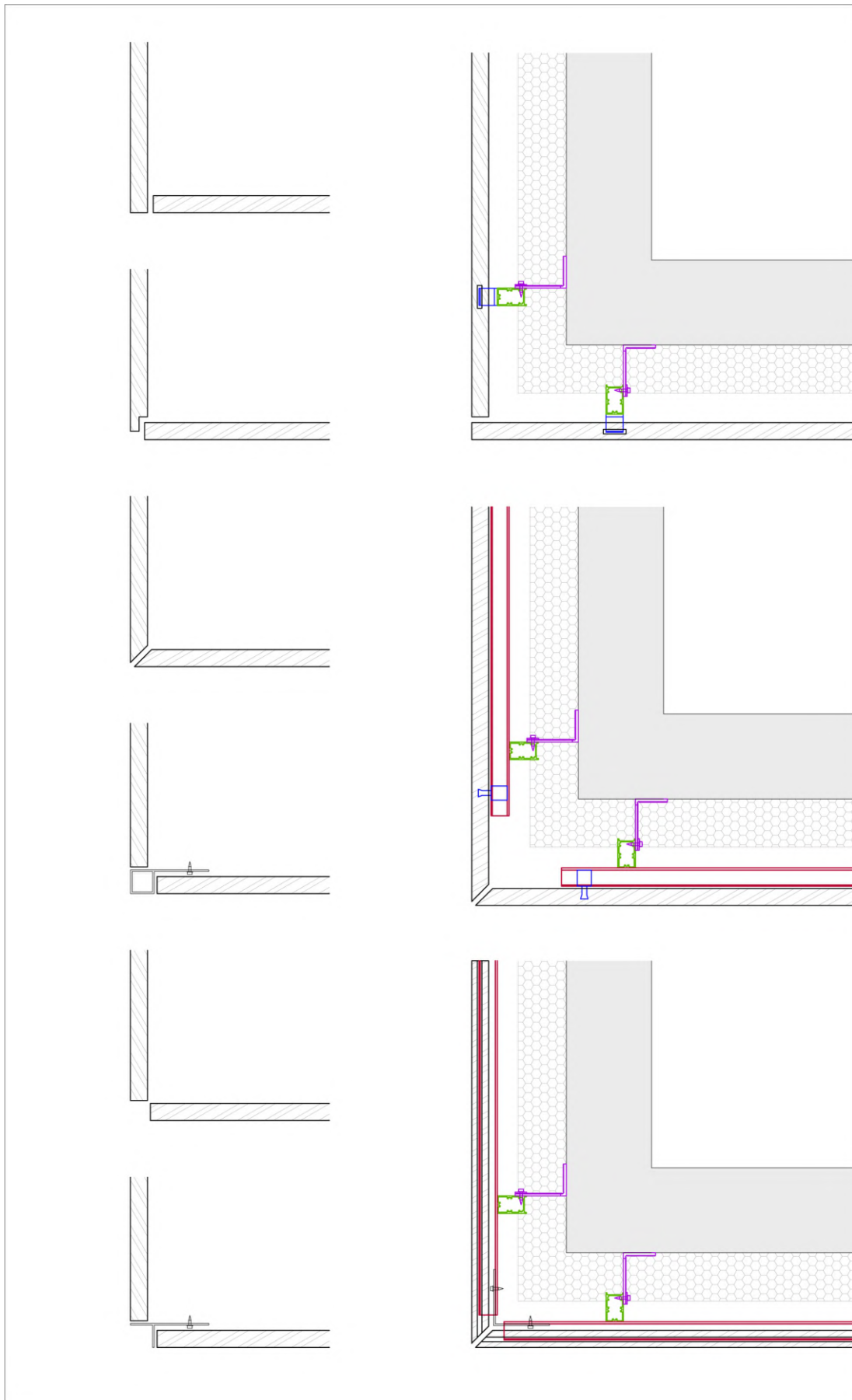


Soluciones en alzado y planta



Soluciones en alzado y planta

PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO CON LA ESQUINA



Soluciones en planta

En la tipología de despieces solapados el encuentro en esquina requiere analizar el tipo de solape para diseñar el canto de las placas en esquina, de tal manera que haya una continuidad adecuada entre fachadas y no quede la cámara expuesta a la entrada de agua. La principal dificultad de la resolución en esquina en esta tipología es asegurar el soporte o apoyo para la fijación de los anclajes puntuales o de las ménsulas de los montantes. Al utilizar soluciones solapadas es habitual que se amplíe la cámara de aire, de tal manera que el revestimiento se separa del soporte. Esto, unido al hecho de que en esta tipología las placas no suelen alcanzar dimensiones muy elevadas, implica que el anclaje ubicado en su posición adecuada quede fuera del soporte y se encuentre, por tanto, sin apoyo. En estos casos hay que asegurar este apoyo mediante la introducción de pletinas ancladas al soporte o elemento vertical estructural para la fijación de los anclajes puntuales o añadiendo a la subestructura un elemento vertical que permita el apoyo simultáneo de las placas en ambas fachadas.

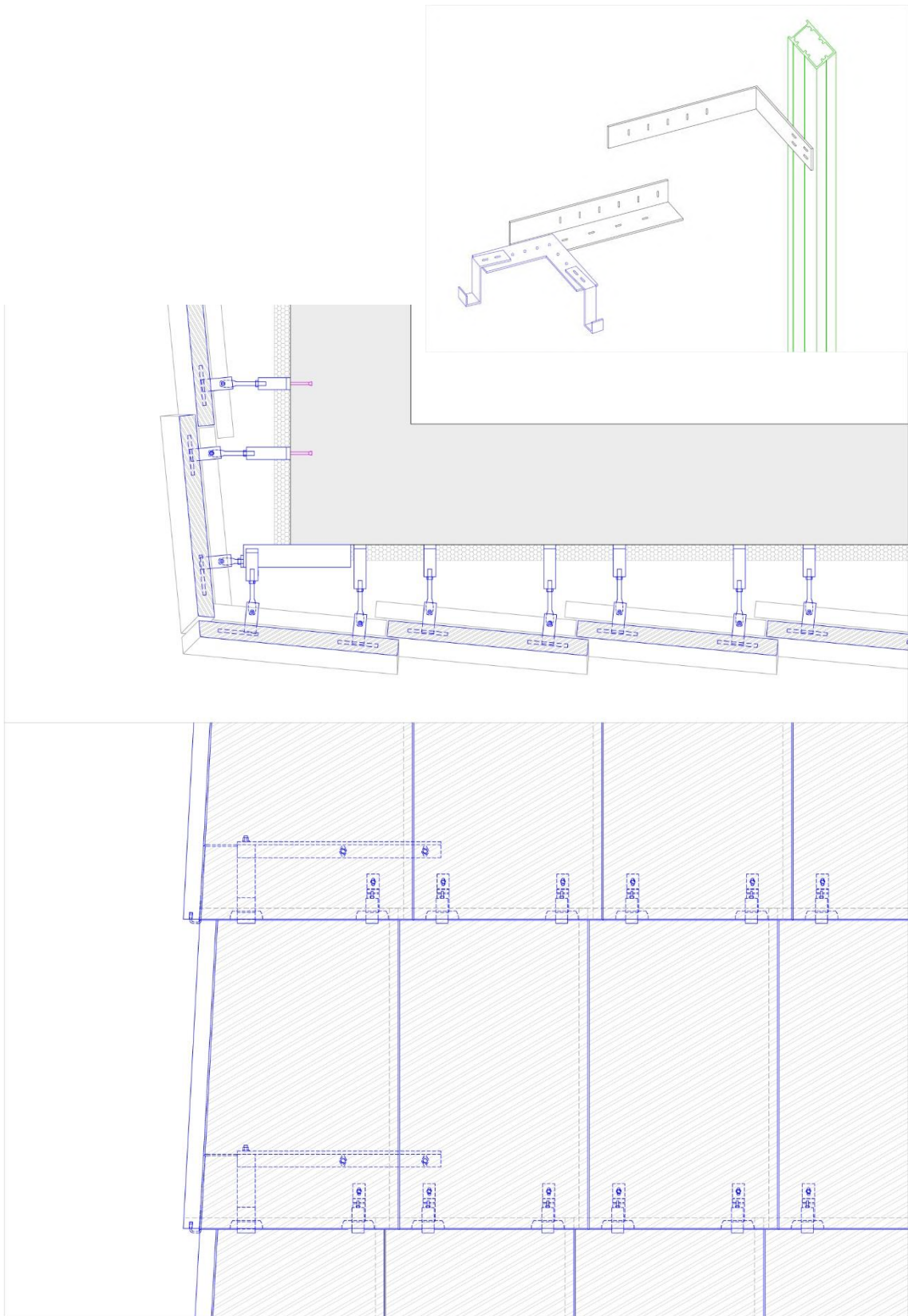
En el ejemplo del Centro de interpretación de Arte Rupestre, en el que se utiliza un despiece con solape en las dos direcciones, se dan estas dificultades a la hora de resolver la esquina. Por un lado, para asegurar la continuidad de la esquina se ha diseñado el mecanizado del canto de las placas, de tal manera que se cortan con el bisel o achaflanado necesario. Si hay esquinas en las que la unión entre placas de produce de manera diferente se debe estudiar de manera independiente. Por otro lado, la última línea de placas tiene unas dimensiones inferiores al resto de placas que, unido a la propia separación de las mismas para formar la cámara de aire, dificulta su fijación. Como se ve en las fotografías, no se puede mantener el mismo tipo de anclaje al quedar las placas fuera de la línea de soporte.

Dependiendo de las dimensiones de estas placas se puede diseñar la pletina y el anclaje de varias formas, pudiendo ser un anclaje independiente para la placa de cada fachada o diseñar una pieza en L a la que fijan los anclajes de ambas placas que confirman la esquina cuando tienen una base reducida, de manera que trabajan solidariamente.



Figuras 5.59 y 5.60. Resolución de las esquinas en el Centro de interpretación de Arte Rupestre, Pontevedra. (RVR arquitectos. 2009). Fotografía cedida por el estudio de arquitectura.





Propuesta de resolución de la esquina en el caso de despieces con solape en dos direcciones. Planta, alzado y vista tridimensional.

### 5.5.4 RESOLUCIÓN DEL HUECO

La resolución del encuentro con los huecos de carpinterías es compleja y admite numerosas y variadas posibilidades formales. El hueco requiere la resolución de 3 puntos singulares: encuentro con dintel, con jambas y con alféizar. La casuística que se puede dar es amplia. En cuanto al material, estos encuentros pueden resolverse con elementos de piedra natural o mediante perfiles metálicos. Es más habitual utilizar el mismo material para la definición de todo el canto del hueco, aunque en ocasiones se utiliza un material diferente para una o varias de las partes.

En cuanto a la ubicación de la carpintería, podemos distinguir 4 posiciones: a haces interiores, centrada en continuidad con la hoja interior, a haces exteriores o volada. A los efectos del encuentro y resolución del subsistema de fachada ventilada los dos últimos casos se resuelven del mismo modo.

Los fabricantes suelen proponer las soluciones con piezas metálicas porque generan menos problemas de ejecución. Además, en los últimos años las soluciones de premarcos y remates metálicos se han tecnificado para que la unión de la carpintería sea más fácil de ejecutar y tiene más posibilidades formales de cara a elegir la ubicación de la carpintería. Cuando toda la envolvente del hueco se resuelve con piedra, por el contrario, se añade la posibilidad de diseñar las uniones alféizar-jamba y jamba-dintel.

En el CTE se recogen las condiciones que deben cumplir estos encuentros. El encuentro de la cámara de aire con los dinteles (DB HS1 art. 2.3.3.5) debe resolverse con un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada o condensada en la misma, resuelto mediante un elemento continuo impermeable, dispuesto a lo largo del fondo de la cámara y con inclinación hacia el exterior, de tal forma que se eleve como mínimo 10 centímetros y al menos 3 por encima del punto más alto del sistema de evacuación.

Respecto al encuentro con el alféizar (DB HS1 art. 2.3.3.6), cuando la carpintería se coloque retranqueada respecto al paramento exterior de la fachada, debe rematarse con un vierteaguas para evacuar el agua de lluvia, con una pendiente mínima de 10° y un goterón en la cara inferior del saliente, separado del paramento exterior de la fachada al menos 2 centímetros. En su encuentro con la jamba debe solaparse al menos 2 centímetros. Cuando el grado de impermeabilidad exigido sea igual a 5 debe disponerse precerco y colocarse una barrera impermeable en las jambas prolongada 10 centímetros hacia el interior del muro y la junta entre el cerco y el muro debe sellarse con un cordón introducido en un llagueado.

### SOLUCIONES CON PIEDRA

La configuración del hueco con placas de piedra natural suele utilizarse en el caso de carpinterías ubicadas a haces interiores del muro soporte. En el caso de los dinteles y jambas, en ocasiones se utilizan también con carpinterías enrasadas con la cara exterior del muro o incluso del aislamiento, en cuyo caso los vierteaguas de piedra no suelen utilizarse. Los principales retos hoy en día para la resolución de estos puntos son conseguir una fijación segura para las placas, permitir la disposición de aislamiento para evitar el puente térmico y asegurar la evacuación de agua.

- Dintel. Se resuelve con placas de piedra con la anchura necesaria para cubrir el espacio entre la cara exterior de la carpintería y la cara interior o exterior de las placas de la fachada en función de si se quiere dejar el canto de las placas que forman el dintel visto o no. Si el ancho de las placas es escaso se pueden sujetar con un anclaje en L unido a la placa de la fachada con la que forma el diedro. En este caso las juntas abiertas que retornan tienen que ser compatibles y, por tanto, dichas placas de la fachada y del dintel deben tener el mismo ancho. Si el soporte tiene el espesor suficiente se pueden colgar las placas del dintel con un sistema de anclajes puntuales. En los casos en que la

placa vuela mucho sobre el soporte se pueden utilizar anclajes en forma de T con alas asimétricas que incluyen dos ranuras a los extremos para el cuelgue de las placas.

- Jamba. Se resuelve con placas de piedra con la anchura necesaria para cubrir el espacio entre la cara exterior de la carpintería y las placas del revestimiento. La junta entre ambas puede resolverse con las soluciones indicadas para la esquina, siendo las más habituales a inglete o dejando uno de los cantos vistos. Cuando el aislamiento térmico deba retornar hasta la carpintería para evitar el puente térmico debe utilizarse un sistema de anclaje igual o análogo al de la fijación del resto del revestimiento. La dificultad radica en la fijación de estos anclajes al soporte, que en ocasiones requieren la utilización de pletinas o anclajes de ranura.
- Alféizar. El vierteaguas de piedra suele ser una placa prefabricada que incorpora el goterón y el solape con la jamba. Los fabricantes suelen disponer de modelos en diferentes variedades de piedra natural. El modelo se selecciona según la dimensión del hueco y el ancho total necesario, teniendo en cuenta que entre el goterón y la cara exterior de la fachada debe haber al menos 2 centímetros. La placa del vierteaguas puede tener una sección trapezoidal, de tal manera que incluya la pendiente o ser una pieza plana, en cuyo caso el encargado de proporcionar la inclinación es la terminación del soporte. Un punto crítico en la resolución de vierteaguas de piedra natural es la unión entre vierteaguas y carpintería. Debe asegurarse el sellado de este punto para evitar la entrada de filtraciones, mediante una chapa sellada o los adecuados solapes entre piezas.

Cuando se utilizan vierteaguas de piedra adheridas se deben colocar sobre una capa de mortero hidrófugo y una barrera impermeable para proteger el soporte y en su caso al aislamiento, del mismo modo que lo indicado para el remate superior. Dependiendo del vuelo de la pieza respecto al apoyo sobre el soporte se puede requerir la instalación de un anclaje de apoyo en forma de L fijado al soporte. Otra solución más novedosa para la instalación de vierteaguas de piedra consiste en utilizar un sistema de anclaje, de tal manera que se crea una cámara de aire bajo el vierteaguas en la que se instala el aislamiento. Si se dejan las juntas entre placas abiertas se debe instalar una lámina impermeable para crear una capa hidrófuga que proteja el aislamiento y el soporte y la unión con la carpintería.

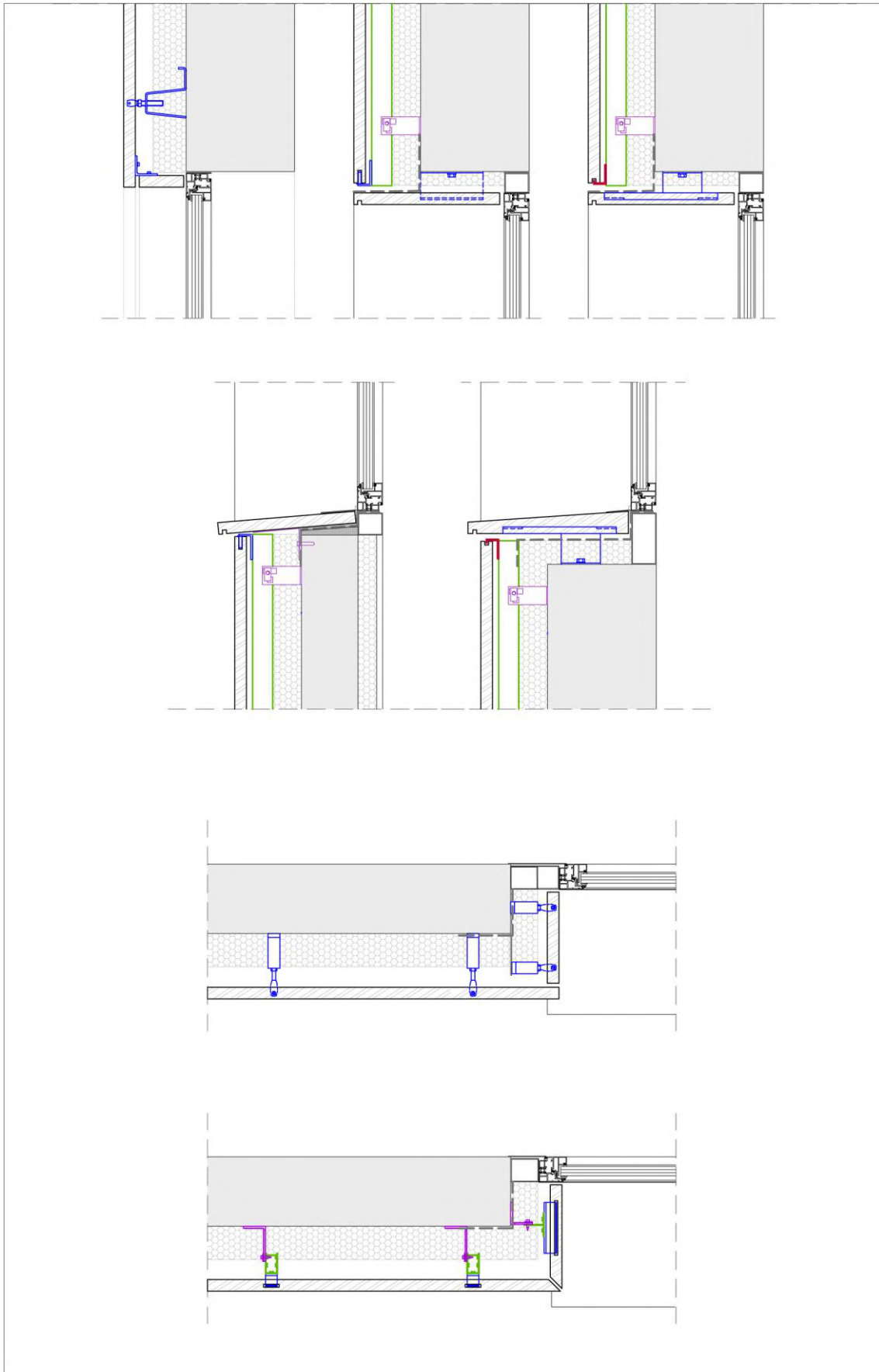
## SOLUCIONES CON PERFILES METÁLICOS

En general, las soluciones con elementos metálicos admiten utilizar la posición de la carpintería respecto al espesor de fachada como recurso formal arquitectónico. La resolución de estos puntos mediante perfiles metálicos admite varias posibilidades, desde perfiles de aluminio plegados, premarcos estructurales unidos a la estructura del edificio que por sí solos conforman y definen el hueco o los llamados recercados monopieza que se fijan al soporte y también conforman el conjunto del hueco.

Cuando se utilizan soportes autoportantes las carpinterías deben fijarse a premarcos o bastidores unidos a la estructura del edificio mediante perfiles metálicos.

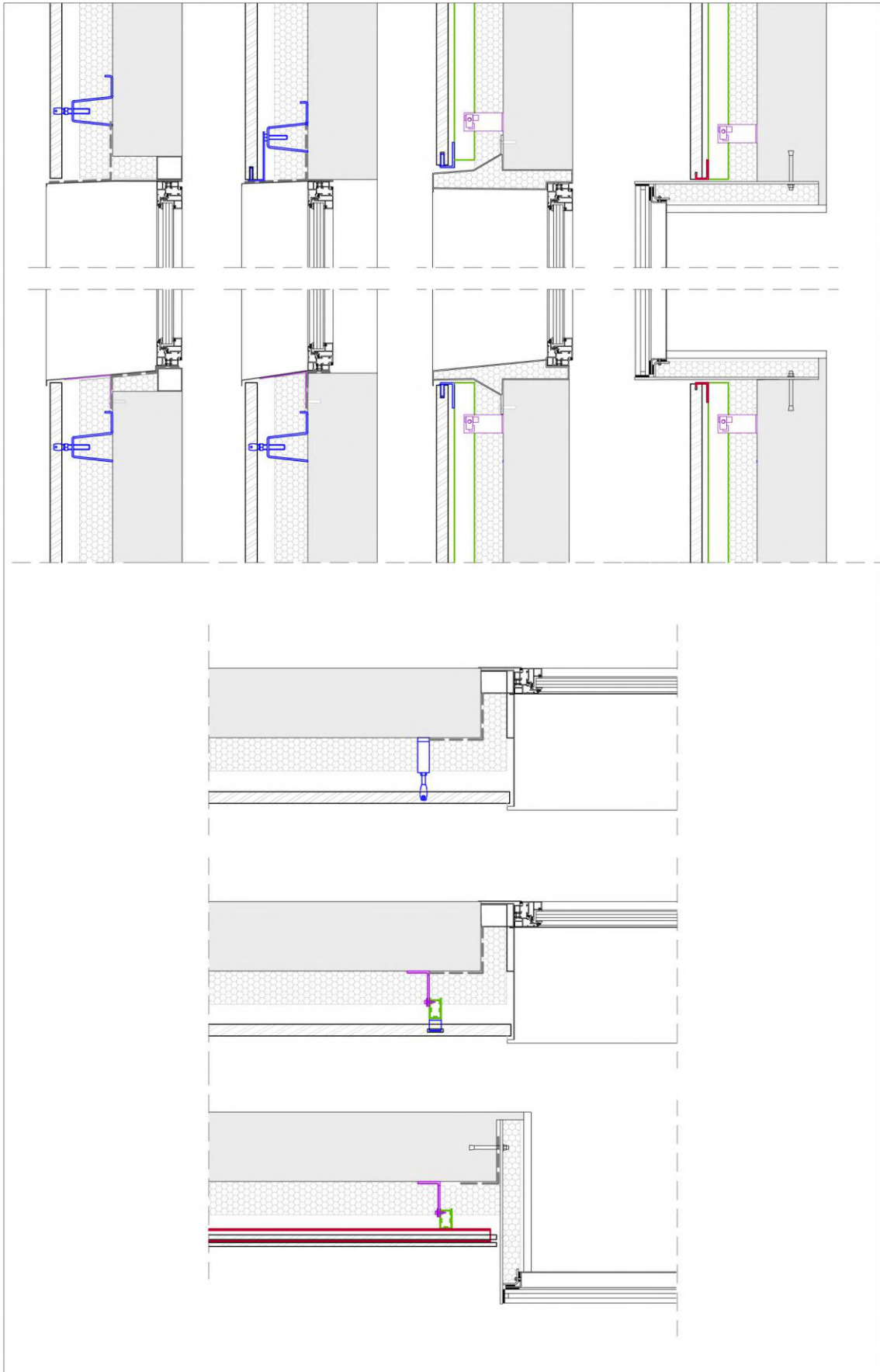
Los recercados monopieza consiste en piezas de resina termoestables reforzadas fabricadas en configuración tipo sándwich, con un núcleo de espuma de poliuretano inyectado, aportando el aislamiento aúna los requisitos que se deben cumplir en cuanto a aislamiento térmico y estanqueidad frente al agua y aire. Se realizan en una única pieza que incluye el premarco, acabado de dintel, jambas y alféizar, además de incluir las pestañas perimetrales necesarias para su fijación al soporte mediante los anclajes necesarios dependiendo del tipo y material del soporte.

PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO CON EL HUECO.  
(SOLUCIONES CON PIEDRA)



Soluciones en sección y planta

PROPUESTAS DE CONFIGURACIÓN PARA RESOLVER EL ENCUENTRO CON EL HUECO.  
(SOLUCIONES CON PERFILES METÁLICOS)



Soluciones en sección y planta

### 5.5.5 RESOLUCIÓN DE PUNTOS SINGULARES EN EL CASO DE DESPIECES VOLUMÉTRICOS

Al igual que sucede con la configuración de la subestructura en esta tipología de despieces, la resolución de los puntos singulares tiene un componente de singularidad o individualidad para cada proyecto ya que los bloques o patrones con los que se trabajan suelen ser distintos en cada proyecto. Por otro lado, este tipo de despieces suelen incluirse en proyectos de grandes dimensiones y elevado coste, que de por sí ya tienen características muy singulares, desde su morfología, estructura o sistemas constructivos empleados. Obviamente esto implica que el número de puntos singulares a resolver va a ser superior en estos proyectos y, en general, más complejos.

Otro aspecto destacable en esta tipología es la necesidad de trabajar en 3 dimensiones para asegurar los remates superior e inferior y los cierres laterales en el caso de encuentros con el hueco y de las esquinas o cambios de plano. Tanto en el caso de utilizar patrones con placas planas como piezas tridimensionales la resolución de los puntos críticos comienza con la decisión de adaptar el patrón de cierre o remate a las condiciones particulares del edificio, o bien resolver estos puntos utilizando piezas planas con las que se pueden ejecutar estos encuentros de una manera más sencilla y estandarizada.

En el ejemplo del nuevo edificio del Parlamento en Malta se combinan ambas estrategias. En el encuentro lateral con los huecos se conserva el despiece de los bloques de piedra de manera intencionada, por ser esta una de las premisas del concepto del despiece. En el caso de piezas dispuestas en una única columna entre carpinterías, los anclajes en L se fijan a anclajes puntuales reforzados fijados a la estructura, sin necesidad de utilizar travesaños. En la resolución de las esquinas las piezas tridimensionales se sustituyen por placas rectangulares, de tal manera que la transición entre un plano y otro se resuelve con cantos rectos. Para resolver el dintel y el vierteaguas del hueco las piezas superior e inferior tienen una sección en L biselado que resuelve el cierre de la cámara de aire.

El encuentro superior e inferior se resuelve mediante piezas en forma de L. Para evitar que se generen tensiones indeseadas en la esquina de estas piezas, la esquina interior se deja achaflanada, de tal manera que adquiere un espesor mayor en este punto y alcanza la resistencia necesaria.

La fijación de las piezas mediante el sistema indicado de anclajes de expansión por destalonado y tuerca cilíndrica facilita la fijación de las placas en los puntos singulares, al no ubicarse el anclaje en el canto sino en el reverso de la placa.

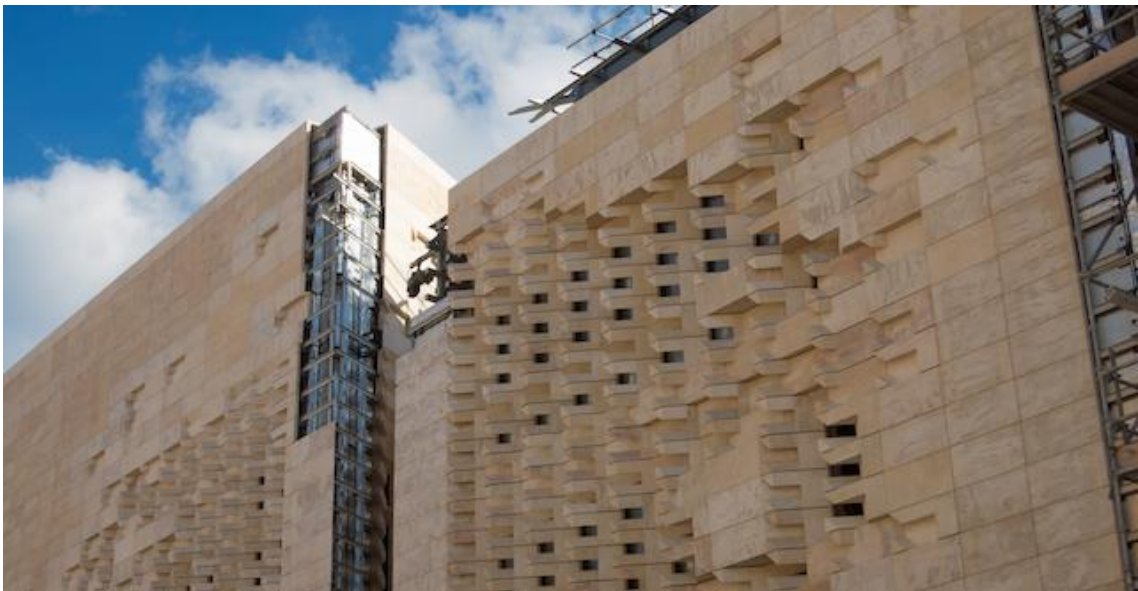


Figura 5.61 (arriba). Remate superior en el edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. Fotografía de Michel Denancé. <https://arquitecturaviva.com/obras/puerta-de-la-valeta/>. (Consulta el 08.09.2020)

Figura 5.62 (centro). Remate de esquina en el edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. <https://www.ilblogdimalta.com/approfondimento-city-gate-gioiello-valletta/>. (Consulta el 08.09.2020)

Figura 5.63 (abajo). Remate inferior en el edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. Recorte de fotografía de Faisal Mohsin. <https://i.pinimg.com/originals/9a/2b/3b/9a2b3be62f9bbf61f67ff9059ed22a0f.jpg>. (Consulta el 08.09.2020)

PROYECTAR UNA FACHADA TRASVENTILADA DE PIEDRA NATURAL

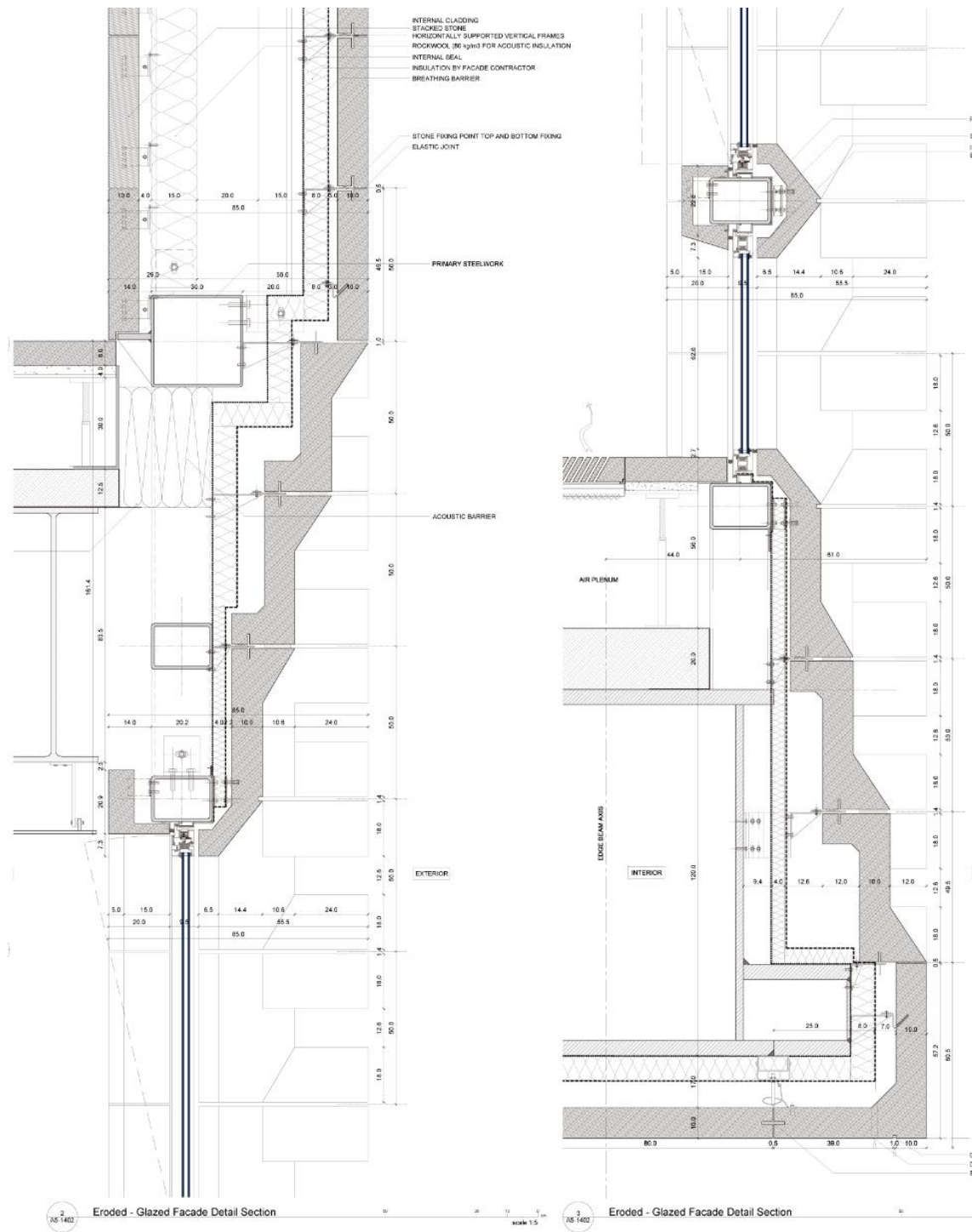


Figura 5.64. Secciones verticales en el edificio para el Nuevo Parlamento en Malta. Encuentro con carpintería y remate inferior. <https://arquitecturaviva.com/obras/puerta-de-la-valeta>. (Consulta el 08.09.2020)



En el proyecto del Museo de Liverpool también se combinan varias estrategias. Para resolver el encuentro superior se modifica el diseño de la subestructura de montaje, de tal manera que el patrón modificado resuelve por sí mismo el cierre superior mediante la incorporación de piezas planas en posición vertical. En el encuentro en esquina se modifica el patrón para resolver el encuentro con un plano vertical y, por otro lado, se introducen piezas para cerrar lateralmente la cámara de aire. Para la fijación de estas piezas de poca base, se debe asegurar la inclusión de elementos estructurales, ya sea montantes o travesaños, para su fijación.

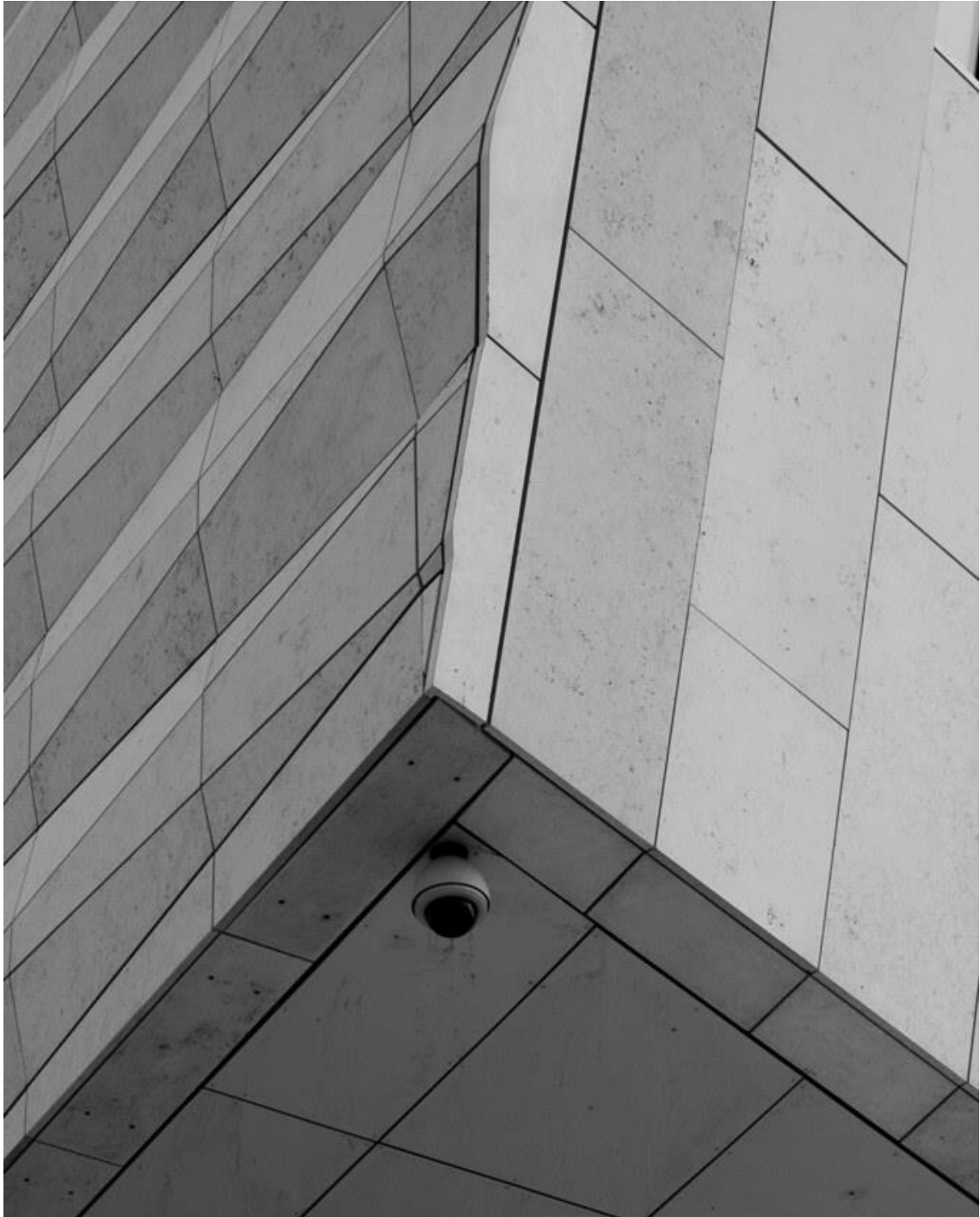


Figura 5.65 Resolución de la esquina en el Museo de Liverpool (3XN arquitectos, 2011). Fotografía de 3XN arquitectos. [https://www.facebook.com/3XNarchitects/photos/?ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/3XNarchitects/photos/?ref=page_internal). (Consulta el 21.11.2019)

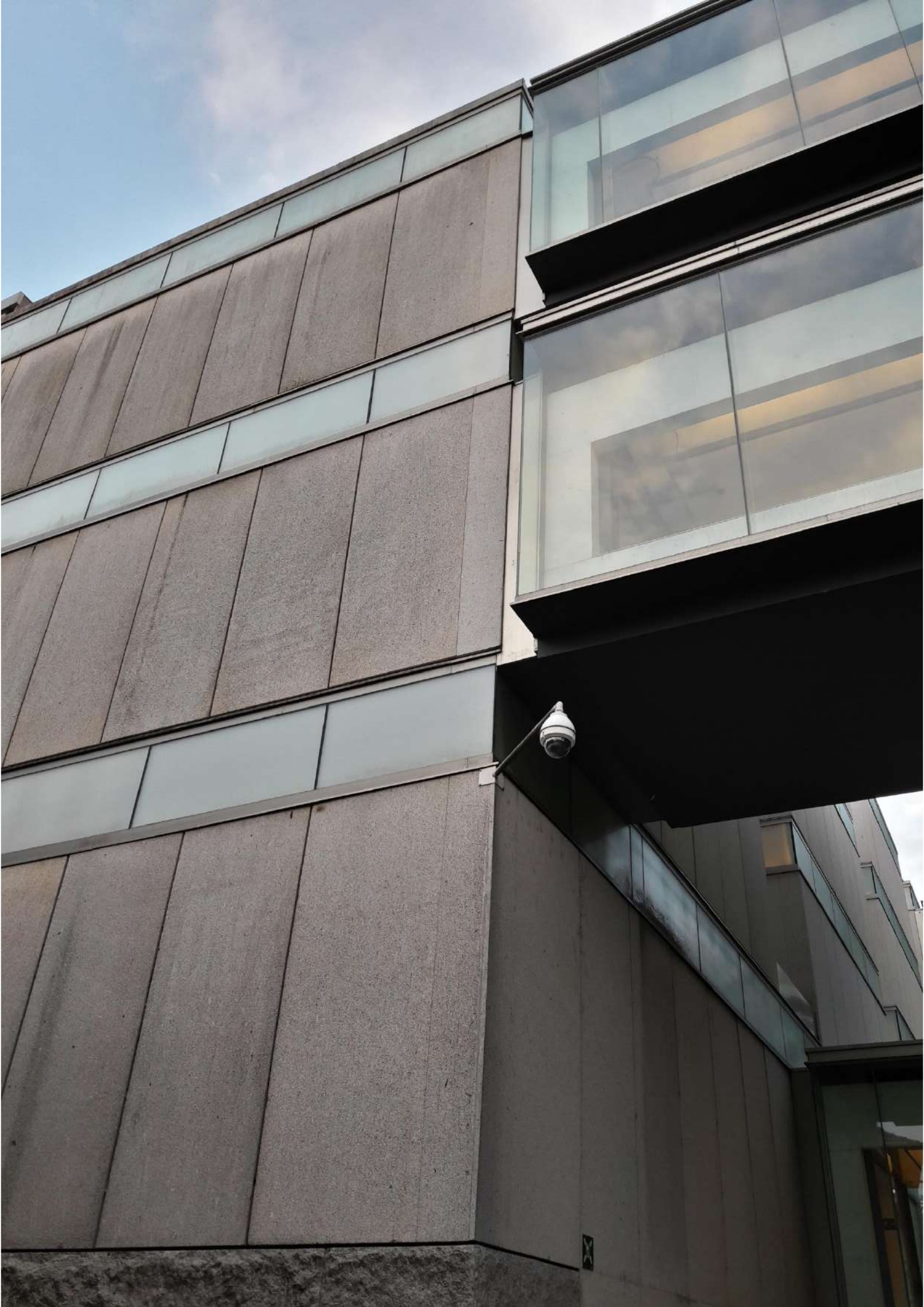
A lo largo de este capítulo se ha demostrado que las soluciones estilísticas y compositivas admitidas por las fachadas trasventiladas de piedra natural son numerosas y variadas. Los subsistemas de anclajes pueden adaptarse para configurar estos despieces siguiendo estrategias simples, complejas o de modificación. Cuanto mayor es el desplazamiento de las juntas entre sí y mayor es el número de juntas discontinuas la solución requiere un análisis previo más profundo. Dependiendo del caso, se podrá resolver con estrategias basadas en el posicionamiento de los anclajes respecto a las juntas, variación de los mismos respecto a su posición habitual, incremento en el número de fijaciones, hasta soluciones que requieren la modificación de la morfología de alguno de los elementos. Cuando se recurre a soluciones complejas o de modificación es preferible la utilización de subsistemas a base de perfilera, de tal manera que se facilita la etapa de planificación y la posterior instalación en obra.

Por otro lado, la tipología edificatoria y los condicionantes del proyecto influyen en la forma en que nos enfrentamos al proceso de diseño y configuración. Aunque hay una serie de aspectos comunes para el satisfactorio desarrollo del proyecto, las características que definan la fachada influyen en las etapas de actuación, los puntos críticos e incluso los despieces idóneos.

Cuando trabajamos con despieces singulares se dificulta la resolución de los puntos singulares. Si se trata de despieces en los que las placas de piedra no son paralelas al soporte, como los casos de despieces solapados o volumétricos, la complejidad es mayor. El subsistema de anclaje se puede adaptar para resolver estos puntos de encuentro. Para proponer una solución adecuada se debe estudiar el posicionamiento de los elementos de anclaje respecto al borde de la placa y respecto al soporte, en función de las características de nuestro proyecto. Además, el material y el sistema admiten que la resolución de los puntos singulares forme parte de la propuesta de proyecto. Por ello, no se recomienda la utilización de detalles tipo ofrecidos por los fabricantes sino analizar la solución en función del diseño.

Los sistemas de anclaje poseen unas características y componentes tales que permiten que un despiece pueda resolverse, en la mayoría de los casos, con varias soluciones. Por tanto, la decisión de utilizar uno u otro sistema debe basarse en el estudio de los tres aspectos analizados: configuración del despiece, análisis de la tipología edificatoria y resolución de los puntos singulares. Estos aspectos demuestran que la forma de trabajar con piedra natural está muy ligada al concepto del proyecto y no puede entenderse como un proceso estándar ni independiente. Por este motivo, se considera relevante la utilización de una metodología aplicada específica.





## **6. Hacia una metodología de proyecto**



## 6.1 EL PROYECTO DE FACHADA

El proyecto de fachada se puede definir como la etapa creativa en la que se genera la idea de proyecto y se elabora el conjunto de documentos técnicos para definir el diseño y las soluciones técnicas del sistema de fachada, además de justificarse las exigencias normativas. El fin de esta etapa es la materialización de la idea generadora de tal manera que se asegure una solución eficiente, funcional y sostenible, además de bella, teniendo en cuenta que el fin último de la edificación es satisfacer las necesidades y transmitir una idea al usuario a nivel individual y la ciudad a nivel general.

Las etapas de planificación previa y de proyecto son de suma importancia para cualquier tipología de fachada. En el caso de la piedra natural, donde la casuística y las posibilidades estilísticas son numerosas, estas etapas son fundamentales para asegurar el comportamiento adecuado de las placas. Cuando se utilizan fachadas trasventiladas de piedra con características o despieces singulares, para los que la información con la que se cuenta es insuficiente, es habitual que la solución técnica no se defina en su totalidad o bien se defina con un subsistema estándar que no se ajusta a su diseño. La consecuencia de ello es que tanto las empresas de fabricación de anclajes como el distribuidor de piedra natural pueden proponer soluciones a medida con el consiguiente incremento de costes, o bien modificaciones sobre el despiece original.

Si el proyectista cuenta con la información, la documentación y, especialmente, las estrategias necesarias, tendrá la capacidad y las herramientas para elaborar un proyecto completo que defina de una forma razonable, consecuente y lógica la solución. A lo largo del capítulo anterior se ha visto cómo una previsión y configuración adecuada del sistema permite plantear innumerables despieces complejos. Es evidente que la idea o el planteamiento primigenio puede sufrir ciertas transformaciones a lo largo del proceso, ya sea por condicionantes intrínsecos o extrínsecos. Sin embargo, se trata de que el proyectista sepa enfrentarse a estas situaciones y hacer propuestas coherentes, permitiendo que el paso a etapas posteriores del proceso sea firme.

En este sentido, la metodología durante la etapa de proyecto se considera fundamental. El propósito de este capítulo es proporcionar unas indicaciones generales sobre los criterios y el contenido a la hora de proyectar una fachada trasventilada de piedra natural y proponer una metodología a seguir.

## 6.2 FASES Y DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO

Si asimilamos las etapas para definición de esta tipología de fachadas a los niveles habituales de proyecto, podemos establecer las siguientes fases consecutivas.

### 6.2.1 ESTUDIO PREVIOS

En esta fase se plantea el concepto de la fachada del despiece. Ya desde este punto se debe pensar en el tipo de piedra que se quiera utilizar para tener en cuenta sus condicionantes desde el principio. En esta fase también se deben tener en cuenta la volumetría y dimensiones para tener una referencia de la escala del edificio.

CONTENIDO ESTUDIOS PREVIOS	
<b>IDEA</b>	
Pensar una idea	Ubicación proyecto
	Entorno/contexto
	Condicionantes histórico-socio-culturales
	Condicionantes estéticos y sensoriales
Selección piedra	Uso previsto
	Variedad piedra
	Procedencia
	Color, textura, acabado
	Formato de placas
	Croquis conceptual de despiece.
<b>DOCUMENTACIÓN</b>	
Condicionantes de la variedad o variedades seleccionadas	Características y especificaciones
	Propiedades
	Condicionantes constructivos
<b>INFORMACIÓN PREVIA</b>	
Antecedentes	Antecedentes y condicionantes de partida, datos del emplazamiento, entorno físico.
	Datos del edificio en caso de rehabilitación
	Tipología edificatoria
	Escala y volumetría
<b>PLANOS</b>	
Planos	Tantos planos como sean necesarios para la definición conceptual. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepción volumétrica</li> <li>- Planos/esquemas de despiece generales</li> </ul>

Tabla 6.1. Elaboración propia



### 6.2.2 ANTEPROYECTO

En esta fase se selecciona el subsistema de anclaje más adecuado para el despiece propuesto. También se estudiará el sistema propuesto haciendo una estimación en base al soporte, coste, viabilidad técnica.

CONTENIDO ANTEPROYECTO		
IDEA		
Pensar una idea	Revisión del concepto	
	Revisión y reelaboración del croquis conceptual	
Selección piedra	Revisión de la selección	
INFORMACIÓN PREVIA		
Revisión	Revisión de la tipología edificatoria	
	Análisis geométrico/compositivo de la/s fachada/s.	
DOCUMENTACIÓN		
Piedra	Revisión de condicionantes de la variedad o variedades seleccionadas	
	Propiedades	
	Condicionantes constructivos	
Subsistema de anclaje	Recopilación de la documentación de subsistemas disponibles.	
	Estudio del comportamiento.	
	Planteamiento de la configuración del subsistema en función de la tipología edificatoria y del despiece.	
	Planteamiento del sistema de fijación anclaje – placa y propuesta de transmisión de cargas y comportamiento de la placa.	
CONDICIONANTES DE LA EDIFICACIÓN		
Análisis del soporte	Comprobación del soporte	
	Tipo de soporte y material	
	Espesor	
	Resistencia	
Revisión del estado actual (En casos de rehabilitación)	Análisis del estado inicial	
	Revisión de estructura y soporte	
	Plan de catas si es necesario	
MEMORIA		
Memoria descriptiva	Descriptiva y justificativa, que contenga la información siguiente:	
	Información previa	Antecedentes y condicionantes de partida. Datos del edificio en caso de rehabilitación, reforma o ampliación. Informes realizados.
	Descripción del proyecto	Descripción general del edificio, programa de necesidades, uso característico del edificio, relación con el entorno. Descripción de la geometría del edificio, volumen. Parámetros a considerar en el sistema envolvente.
PLANOS		
Planos	Contendrá tantos planos como sean necesarios para la definición general del subsistema de fachada y del despiece.	
	Alzados y secciones	Acotados, con indicación de escala y cotas de altura de plantas, gruesos de forjado, alturas totales, para comprobar el cumplimiento de los requisitos urbanísticos y funcionales.  - Alzados, secciones y planos de despiece
	Definición constructiva	- Secciones y detalles constructivos generales.
PRESUPUESTO		
	Estimación preliminar de costes según subsistema y tipo de placas.	

Tabla 6.2. Elaboración propia

### 6.2.3 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

#### PROYECTO BÁSICO

El proyecto básico define las características generales de la obra y sus prestaciones mediante la adopción y justificación de soluciones concretas, definirá las prestaciones que el edificio proyectado ha de proporcionar para cumplir las exigencias básicas. Se puede utilizar esta documentación para solicitar la licencia municipal de obras, pero no permite el inicio de la obra.

CONTENIDO PROYECTO BÁSICO		
MEMORIA		
Memoria descriptiva	Descriptiva y justificativa, que contenga la información siguiente:	
	Agentes	Promotor, proyectista, otros técnicos.
	Información previa	Antecedentes y condicionantes de partida, datos del emplazamiento, entorno físico, normativa urbanística, otras normativas en su caso. Datos del edificio en caso de rehabilitación, reforma o ampliación. Informes realizados.
	Descripción del proyecto	Descripción general del edificio, programa de necesidades, uso característico del edificio y otros usos previstos, relación con el entorno. Cumplimiento del CTE y otras normativas específicas, normas de disciplina urbanística, ordenanzas municipales, edificabilidad, funcionalidad, etc. Descripción de la geometría del edificio, volumen, superficies útiles y construidas, accesos y evacuación. Descripción general de los parámetros que determinan las previsiones técnicas a considerar en el proyecto respecto al sistema estructural (cimentación, estructura portante y estructura horizontal), el sistema de compartimentación, el sistema envolvente, el sistema de acabados, el sistema de acondicionamiento ambiental y el de servicios.
Prestaciones	Por requisitos básicos y en relación con las exigencias básicas del CTE. Se indicarán en particular las acordadas entre promotor y proyectista que superen los umbrales establecidos en el CTE. Se establecerán las limitaciones de uso del edificio en su conjunto y de cada una de sus dependencias e instalaciones.	
Memoria constructiva	Descripción de las soluciones adoptadas	
	Sustentación del edificio	En caso de que proceda
	Otros	- Definición exhaustiva del subsistema de anclaje y estrategias de modificación o adaptación respecto al subsistema estándar para configurar el despiece deseado.
Cumplimiento del CTE	Justificación de las prestaciones del edificio por requisitos básicos y en relación con las exigencias básicas del CTE. La justificación se realizará para las soluciones adoptadas conforme a lo indicado en el CTE. También se justificarán las prestaciones del edificio que mejoren los niveles exigidos en el CTE.	
	Seguridad en caso de incendio	DB SI

PLANOS		
Planos	El proyecto contendrá tantos planos como sean necesarios para la definición en detalle de las obras. En caso de obras de rehabilitación se incluirán planos del edificio antes de la intervención.	
	Plano de situación	Referido al planeamiento vigente, con referencia a puntos localizables y con indicación del norte geográfico
	Plano de emplazamiento	Justificación urbanística, alineaciones, retranqueos, etc.
	Plano de urbanización	Red viaria, acometidas, etc.
	Plantas generales	Acotadas, con indicación de escala y de usos, reflejando los elementos fijos y los de mobiliario cuando sea preciso para la comprobación de la funcionalidad de los espacios.
	Planos de cubiertas	Pendientes, puntos de recogida de aguas, etc.
	Alzados y secciones	Acotados, con indicación de escala y cotas de altura de plantas, gruesos de forjado, alturas totales, para comprobar el cumplimiento de los requisitos urbanísticos y funcionales.  Planos de todos los paños de fachada <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alzados</li> <li>- Secciones</li> <li>- Plano de despiece de cada fachada con posicionamiento del subsistema de anclaje, identificación de formatos distintos y cotas.</li> </ul>
Planos de definición constructiva	Secciones constructivas generales de cada fachada planta a planta y detalles constructivos generales.	
PRESUPUESTO		
	Presupuesto aproximado	Valoración aproximada de la ejecución material de la obra proyectada por capítulos.

Tabla 6.3. Elaboración propia a partir del contenido indicado en el CTE. Parte 1.

Antes de pasar a la siguiente fase se recomienda contactar con la empresa de subsistemas de anclajes para asegurar la viabilidad de la configuración proyectada, especialmente en el caso de despieces singulares complejos.

### PROYECTO DE EJECUCIÓN

El proyecto de ejecución desarrolla el proyecto básico y define la obra en su totalidad. Si se otorgó licencia con el proyecto básico no se pueden rebajar prestaciones declaradas en este. El proyecto de ejecución puede incluir los proyectos parciales o documentos técnicos que lo desarrollen o completen, por lo que es posible incluir toda la documentación relativa a la tecnología utilizada en el sistema de fachada, incluida la elaborada por la empresa de fabricación de anclajes. También es posible incorporar la información recopilada necesaria sobre el producto de piedra natural. Una vez visado y obtenida licencias de obras, su contenido es válido para el inicio de las obras.

CONTENIDO PROYECTO DE EJECUCIÓN		
MEMORIA		
Memoria descriptiva	Descriptiva y justificativa, que contenga la información siguiente:	
	Agentes	Promotor, proyectista, otros técnicos.
	Información previa	Misma que la elaborada en el proyecto básico.
	Descripción del proyecto	Misma que la elaborada en el proyecto básico.

	Prestaciones	Misma que la elaborada en el proyecto básico.
Memoria constructiva	Descripción de las soluciones adoptadas	
	Sustentación del edificio	En caso de que proceda
	Sistema estructural	Se establecerán los datos y las hipótesis de partida, el programa de necesidades, las bases de cálculo y procedimientos o métodos empleados para todo el sistema estructural, así como las características de los materiales que intervienen.
	Sistema envolvente	Definición constructiva de los subsistemas de la envolvente del edificio, con descripción de su comportamiento frente a las acciones a las que está sometido (peso propio, viento, sismo, etc.), frente al fuego, seguridad de uso, evacuación de agua y comportamiento frente a la humedad, aislamiento acústico y sus bases de cálculo.  El Aislamiento térmico de dichos subsistemas, la demanda energética máxima prevista del edificio para condiciones de verano e invierno y su eficiencia energética en función del rendimiento energético de las instalaciones proyectado según el apartado 2.6.2.  Comportamiento del sistema y del reparto de cargas.
	Sistema compartimentación	Sólo si procede
	Sistema de acabados	Se indicarán las características y prescripciones de los acabados de los paramentos a fin de cumplir los requisitos de funcionalidad, seguridad y habitabilidad
	Sistemas de acondicionamiento e instalaciones	Sólo si procede
	Equipamiento	Sólo si procede
Cumplimiento del CTE	Justificación de las prestaciones del edificio por requisitos básicos y en relación con las exigencias básicas del CTE. La justificación se realizará para las soluciones adoptadas conforme a lo indicado en el CTE. También se justificarán las prestaciones del edificio que mejoren los niveles exigidos en el CTE.	
	Seguridad estructural	DB SE Comprobaciones sobre la hoja exterior e interior. Explicación del comportamiento estructural del sistema.
	Seguridad en caso de incendio	DB SI
	Seguridad de utilización y accesibilidad	Sólo si procede
	Salubridad	DB HS
	Protección contra el ruido	DB HR
	Ahorro de energía	DB HE
Cumplimiento de otros reglamentos y disposiciones	Justificación del cumplimiento de otros reglamentos obligatorios no realizada en el punto anterior, y justificación del cumplimiento de los requisitos básicos relativos a la funcionalidad de acuerdo con lo establecido en su normativa específica.	
Anejos a la memoria	El proyecto contendrá tantos anejos como sean necesarios para la definición y justificación de las obras.	
	Información geotécnica	Sólo si procede
	Cálculo de la estructura	Cálculo del subsistema de anclaje
	Protección contra el incendio	

	Instalaciones en el edificio	Sólo si procede
	Eficiencia energética	
	Estudio de impacto ambiental	
	Plan de control de calidad	
	Estudio de seguridad y salud o estudio básico, en su caso	Se elaborará estudio de seguridad y salud cuando el Presupuesto de ejecución sea superior a 75.000.000 pesetas (450.759,07 euros); la duración estimada sea superior a 30 días laborables con empleo simultáneo de 20 o más trabajadores; el volumen de obra estimada sea superior a 500 días de trabajo (Real Decreto 1627/1997).
<b>PLANOS</b>		
Planos	El proyecto contendrá tantos planos como sean necesarios para la definición en detalle de las obras. En caso de obras de rehabilitación se incluirán planos del edificio antes de la intervención.	
	Plano de situación	Referido al planeamiento vigente, con referencia a puntos localizables y con indicación del norte geográfico
	Plano de emplazamiento	Justificación urbanística, alineaciones, retranqueos, etc.
	Plano de urbanización	Red viaria, acometidas, etc.
	Plantas generales	Acotadas, con indicación de escala y de usos, reflejando los elementos fijos y los de mobiliario cuando sea preciso para la comprobación de la funcionalidad de los espacios.
	Planos de cubiertas	Pendientes, puntos de recogida de aguas, etc.
	Alzados y secciones	Acotados, con indicación de escala y cotas de altura de plantas, gruesos de forjado, alturas totales, para comprobar el cumplimiento de los requisitos urbanísticos y funcionales. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alzados</li> <li>- Secciones</li> <li>- Planos de despiece completos, incluyendo posición de los elementos de anclajes, líneas de replanteo, juntas de contorno, juntas de dilatación y cotas. En caso de varios formatos de placas, identificación clara de todas ellas.</li> <li>- Planos de despiece parciales, incluyendo mismos elementos que en el caso anterior.</li> </ul>
	Planos de estructura	Descripción gráfica y dimensional de todo del sistema estructural (cimentación, estructura portante y estructura horizontal). En los relativos a la cimentación se incluirá, además, su relación con el entorno inmediato y el conjunto de la obra.
	Planos de instalaciones	Sólo si procede
	Planos de definición constructiva	Documentación gráfica de detalles constructivos. Definición del sistema: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sección constructiva</li> <li>- Alzado constructivo</li> <li>- Planta constructiva</li> </ul> Detalles constructivos de los puntos singulares básicos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolución de los huecos</li> <li>- Remate superior</li> <li>- Remate inferior</li> <li>- Remate lateral/esquina</li> </ul>

		Identificación y resolución de otros puntos críticos o singulares y resolución
	Memorias gráficas	Indicación de soluciones concretas y elementos singulares
<b>PLIEGO DE CONDICIONES</b>		
	Pliego de cláusulas administrativas	
	Disposiciones generales	
	Disposiciones facultativas	
	Disposiciones económicas	
	Pliego de condiciones técnicas particulares	
	Prescripciones sobre los materiales	Características técnicas mínimas que deben reunir los productos, equipos y sistemas que se incorporen a las obras, así como sus condiciones de suministro, recepción y conservación, almacenamiento y manipulación, las garantías de calidad y el control de recepción que deba realizarse incluyendo el muestreo del producto, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo, y las acciones a adoptar y los criterios de uso, conservación y mantenimiento. Estas especificaciones se pueden hacer por referencia a pliegos generales que sean de aplicación, Documentos Reconocidos u otros que sean válidas a juicio del proyectista.
	Prescripciones en cuanto a la ejecución por unidades de obra	Características técnicas de cada unidad de obra indicando su proceso de ejecución, normas de aplicación, condiciones previas que han de cumplirse antes de su realización, tolerancias admisibles, condiciones de terminación, conservación y mantenimiento, control de ejecución, ensayos y pruebas, garantías de calidad, criterios de aceptación y rechazo, criterios de medición y valoración de unidades, etc. Se precisarán las medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos.
	Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado	Se indicarán las verificaciones y pruebas de servicio que deban realizarse para comprobar las prestaciones finales del edificio.
<b>MEDICIONES</b>		
	Desarrollo por partidas, agrupadas en capítulos, conteniendo todas las descripciones técnicas necesarias para su especificación y valoración.	
<b>PRESUPUESTO</b>		
	Presupuesto aproximado	Valoración aproximada de la ejecución material de la obra proyectada por capítulos.
	Presupuesto detallado	Cuadro de precios agrupado por capítulos. Resumen por capítulos, con expresión del valor final de ejecución y contrata. Incluirá el presupuesto del control de calidad. Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud
<b>PROYECTOS PARCIALES</b>		
La oficina técnica de la empresa de fabricación del subsistema de anclaje se encargará de desarrollar y validar los cálculos de todos los elementos resistentes. Es fundamental comprobar la compatibilidad del subsistema con la estructura y asegurar mediante los cálculos necesario que no se compromete la seguridad. En algunos casos esto implica que se tomen ciertas decisiones que impliquen modificaciones en el subsistema de fachada.		

Tabla 6.4. Elaboración propia a partir del contenido indicado en el CTE. Parte 1.

### 6.3 DEFINICIÓN TÉCNICA Y TECNOLÓGICA

En el siguiente cuadro se resumen los aspectos necesarios para la ejecución del proyecto y recomendaciones para su definición.

ASPECTOS DESTACABLES DEFINICIÓN DEL PROYECTO					
DESPIECE	Idea	Revisiones condicionantes			
		Estrategias proyectuales			
	Variedad piedra	Condicionantes constructivos			
		Propiedades			
	Propuesta	Esquema despiece			
		Dimensiones			
		Formato			
		Dimensionado espesor			
		Dimensionado juntas			
SOPORTE	Tipo/función	Características y resistencia			
	Forma	Espesor			
CÁMARA DE AIRE	Espesor total	Excentricidad			
	Aislamiento	Tipo y espesor del aislamiento			
SUBSISTEMA DE ANCLAJE	Tipo	Identificación/Definición de los elementos del sistema			
		Compatibilidad del subsistema de anclaje con el despiece del revestimiento			
		Unión al soporte/estructura: compatibilidad			
		Unión al revestimiento y mecanizado de placas			
	Planos de despiece	Modulación	Cotas generales		
			Cotas por placa		
			Previsión de juntas de contorno		
		Representación planta completa: forjado a forjado			
		Posición de los elementos			
		Posicionamiento respecto a las placas del revestimiento			
	Representación de los elementos en la documentación del proyecto	Detalles constructivos	Planta		
			Sección		
		Tipo de detalles	Trabajo a dos escalas combinadas		
Generales					
		Detalles de puntos concretos			
DEFINICIÓN DE PUNTOS SINGULARES	Hueco	Dimensiones			
		Posición			
		Resolución del hueco			
		Compatibilidad con el despiece	Detalles constructivos	Planta	
		Alzado			
		Sección			

				Visión tridimensional
		Compatibilidad con el soporte	Posicionamiento del soporte en los planos de despiece y detalles	
	Esquina o remate lateral	Definición	Resolución	
			Despiece	
			Compatibilidad con el soporte/estructura	
		Solución constructiva	Detalles constructivos	Planta
				Alzado
		Compatibilidad con el subsistema de anclaje	SI	Detalles estándar
	NO		Solución singular- Estudio de su resolución. Visión tridimensional del conjunto	
	Remate superior	Definición	Resolución	
			Despiece	
			Compatibilidad con el soporte/estructura	
		Solución constructiva	Detalles constructivos	Sección
				Alzado
		Compatibilidad con el subsistema de anclaje	SI	Detalles estándar
	NO		Solución singular- Estudio de su resolución. Visión tridimensional del conjunto	
	Remate inferior	Definición	Resolución	
			Despiece	
			Compatibilidad con el soporte/estructura	
		Solución constructiva	Detalles constructivos	Sección
Alzado				
Compatibilidad con el subsistema de anclaje		SI	Detalles estándar	
	NO	Solución singular- Estudio de su resolución. Visión tridimensional del conjunto		

Tabla 6.5. Elaboración propia



6.4 PROPUESTA METODOLÓGICA DE PROYECTO

La metodología propuesta se basa en la importancia de las etapas previas, que permite definir el diseño y seleccionar la solución más adecuada a partir del conocimiento profundo del sistema. En la siguiente imagen se esquematiza el procedimiento propuesto para acometer el proyecto arquitectónico de fachada.

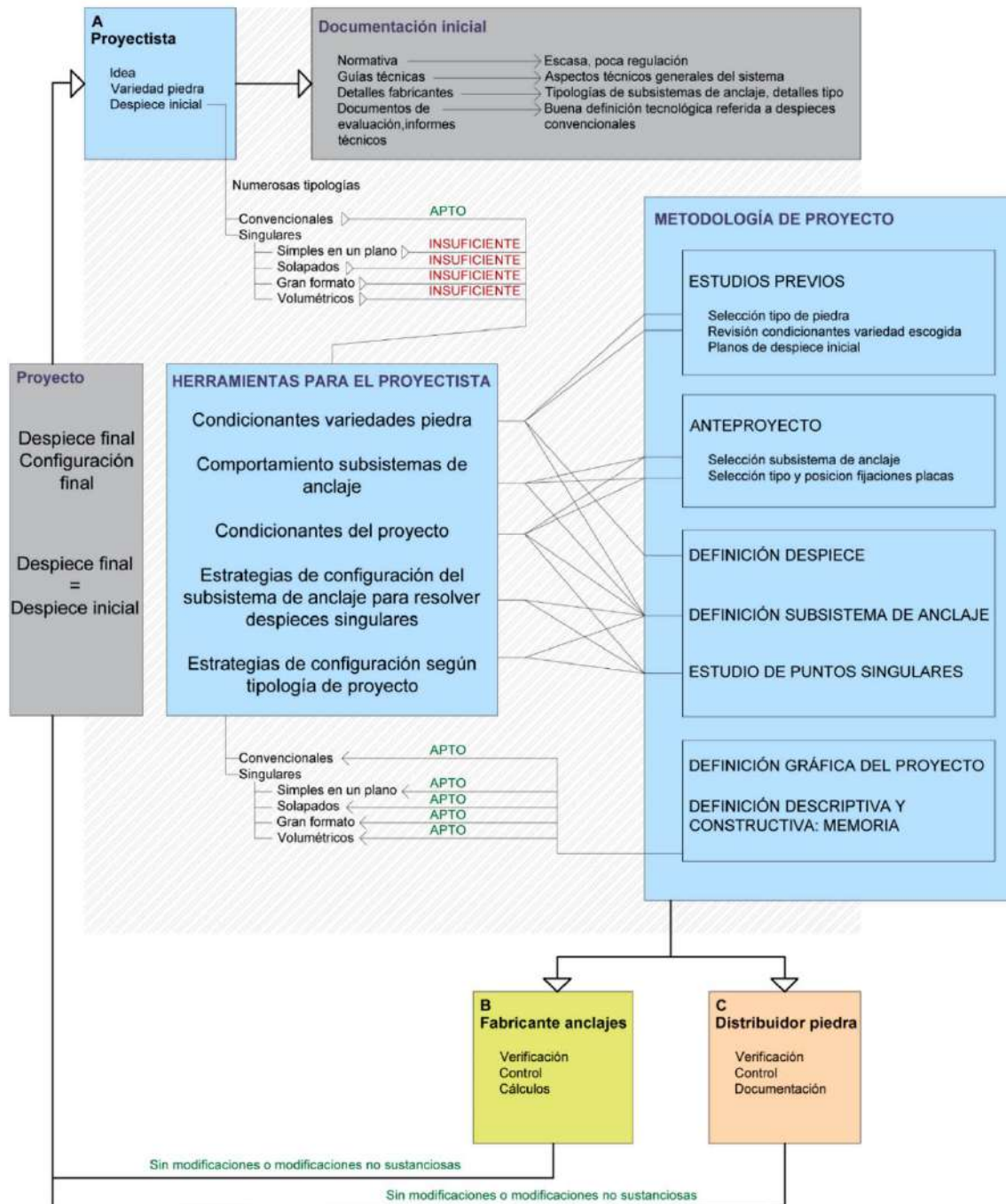
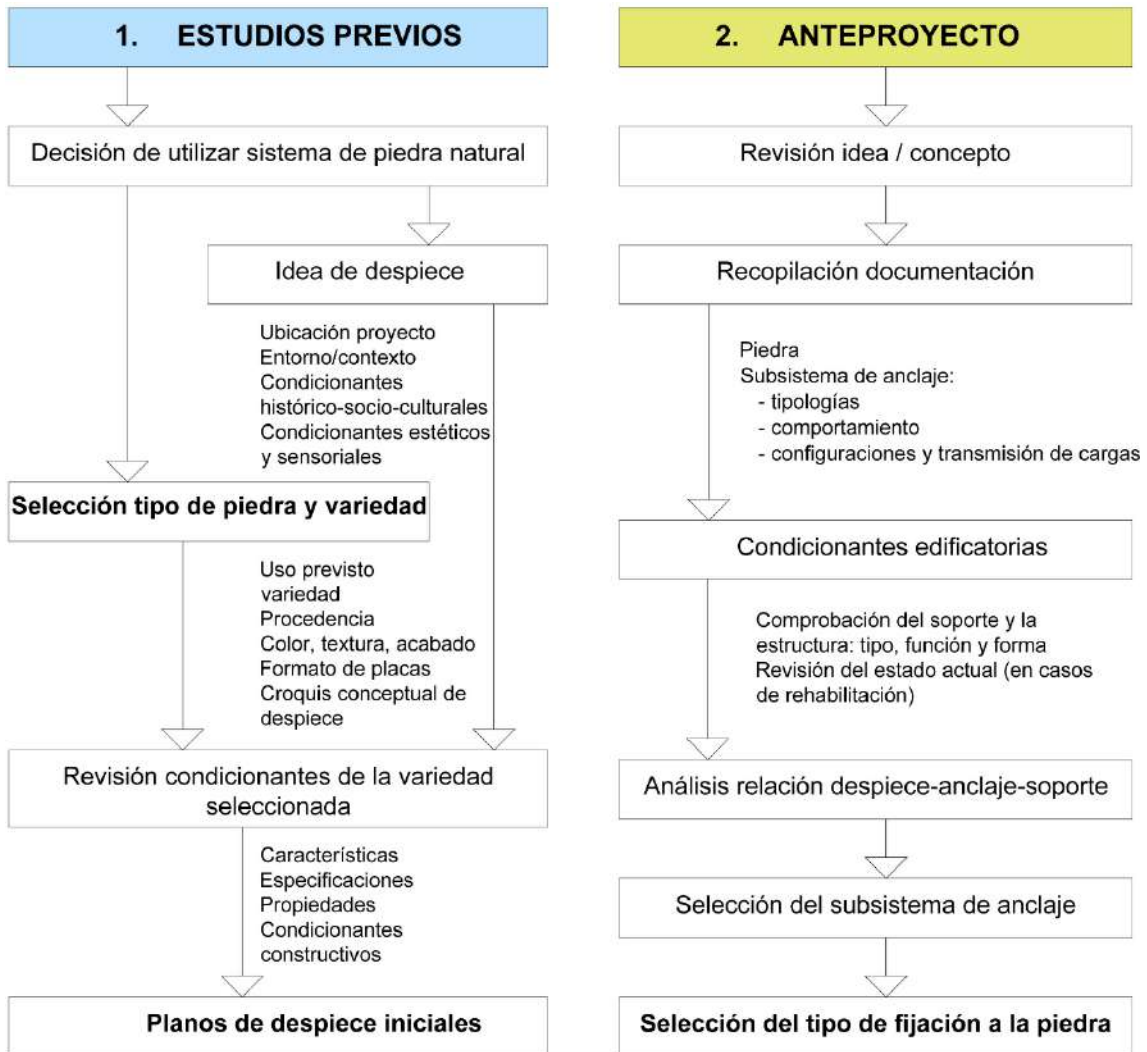


Figura 6.1 y siguientes. Esquema planteamiento metodológico. Elaboración propia





## 6.5 TERMINOLOGÍA GENERAL DE PROYECTO

Se incluye a continuación la terminología relacionada con el proyecto, incluida en el Anexo 1 del CTE. Anexo III. Terminología.

Acción previsible: Acción que debe ser tenida en cuenta, conforme a la reglamentación vigente.

Agentes de la edificación: Todas las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación según se establece en la LOE.

Bienestar térmico: Condiciones interiores de temperatura, humedad y velocidad del aire establecidas reglamentariamente que se considera producen una sensación de bienestar adecuada y suficiente a sus ocupantes.

Cerramiento: Elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios.

Comportamiento estructural adecuado: Comportamiento de una estructura y de las distintas partes que la componen, que no supone efectos indebidos.

Construcción: Conjunto de las actividades para la realización física de la obra. El término, cubre la construcción in situ, pero también la fabricación de partes en taller y su posterior montaje in situ.

Demanda energética: Energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS), de ventilación, de control de la humedad y de iluminación, y se expresa en kW·h/m<sup>2</sup> ·año.

Deformación inadmisibles: Nivel de deformación que supera los límites de deformación admisibles establecidos en la reglamentación vigente.

Dirección facultativa: Está constituida por el director de obra y el director de la ejecución de la obra. Director de la ejecución de la obra: Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.

Director de obra: Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Edificio: Construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para albergar otros usos.

Elementos estructurales: Parte de una estructura distinguible físicamente. Por ejemplo: pilar, viga, losa, zapata, etc.

Estructura: Conjunto de elementos, conectados entre ellos, cuya misión consiste en resistir las acciones previsibles y en proporcionar rigidez.

Exigencias básicas de calidad de los edificios: Características genéricas, funcionales y técnicas de los edificios que permiten satisfacer los requisitos básicos de la edificación.

Intervención en los edificios existentes: Se consideran intervenciones en los edificios existentes, las siguientes:

- a) Ampliación: Aquellas en las que se incrementa la superficie o el volumen construidos.

- b) Reforma: Cualquier trabajo u obra en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio.
- c) Cambio de uso.

Licencia municipal de obras: Acto administrativo por el cual el Ayuntamiento competente autoriza la ejecución de la obra proyectada, una vez comprobada su conformidad con la legalidad aplicable.

Mantenimiento: Conjunto de trabajos y obras a efectuar periódicamente para prevenir el deterioro de un edificio o reparaciones puntuales que se realicen en el mismo, con el objeto mantenerlo en buen estado para que, con una fiabilidad adecuada, cumpla con los requisitos básicos de la edificación establecidos.

Mantenimiento previsto: Mantenimiento que, para cada edificio, consiste en el cumplimiento de las Instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en el Libro del Edificio.

Marcado CE: Marcado que deben llevar los productos de construcción para su libre circulación en el territorio de los Estados miembros de la Unión Europea y países parte del Espacio Económico Europeo, conforme a las condiciones establecidas en la Directiva 89/106/CEE u otras Directivas que les sean de aplicación.

Producto de construcción: Aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

Promotor: Es el agente de la edificación que decide, impulsa, programa y financia las obras de edificación.

Proyectista: Es el agente que redacta el proyecto por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente.

Proyecto: Es el conjunto de documentos mediante los cuales se definen y determinan las exigencias técnicas de las obras contempladas en el artículo 2 de la LOE, y en el que se justifican técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

Proyecto básico: Fase del trabajo en la que se definen de modo preciso las características generales de la obra, mediante la adopción y justificación de soluciones concretas. Su contenido es suficiente para solicitar, una vez obtenido el preceptivo visado colegial, la licencia municipal u otras autorizaciones administrativas, pero insuficiente para iniciar la construcción.

Proyecto de ejecución: Fase del trabajo en la que se desarrolla el proyecto básico, con la determinación completa de detalles y especificaciones de todos los materiales, elementos, sistemas constructivos y equipos, definiendo la obra en su totalidad. Su contenido será el necesario para la realización de las obras contando con el preceptivo visado colegial y la licencia correspondiente.

Proyectos parciales: Los que desarrollan o completan el proyecto en aspectos concretos referentes a tecnologías específicas o instalaciones del edificio, definiendo con suficiente detalle para su ejecución, sus características constructivas. Su contenido será el necesario para la realización de las obras que en él se contemplan y contará con el preceptivo visado colegial.

Puentes térmicos: Parte de la envolvente térmica de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- a) penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica;
- b) un cambio en el espesor de la fábrica;
- o c) una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos.

Requisitos básicos de la edificación: Objetivos derivados de la demanda social de calidad de los edificios y cuya consecución debe procurarse tanto en el proyecto como en la construcción, mantenimiento y conservación de los mismos.

Resistencia al fuego: Capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un período de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y el aislamiento térmico en los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente.

Riesgo: Medida del alcance del peligro que representa un evento no deseado para las personas. Un riesgo se expresa en términos de la probabilidad vinculada a las consecuencias de un evento no deseado.

Solución alternativa: Cualquier solución que difiera total o parcialmente de las establecidas en los DB. Suministradores de productos: Son todas las personas físicas o jurídicas que proporcionan productos de construcción a las obras: fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.

Uso del edificio: Actividades que se realizan en un edificio, o determinadas zonas de un edificio, después de su puesta en servicio.

Uso previsto: Uso específico para el que se proyecta y realiza un edificio y que se debe reflejar documentalmente. El uso previsto se caracteriza por las actividades que se han de desarrollar en el edificio y por el tipo de usuario.

Usuario: Es el agente que, mediante cualquier título, goza del derecho de uso del edificio de forma continuada. Está obligado a la utilización adecuada del mismo de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en el Libro del Edificio. Otras acepciones utilizadas:

- a) persona que habitualmente acude a un edificio con el fin de realizar una determinada actividad según el uso previsto;
- b) la propiedad o su representante, aunque no acuda habitualmente al edificio;
- c) persona que ocasionalmente acude a un edificio con el fin de realizar una determinada actividad acorde con el uso previsto. Por ejemplo: visitante, proveedor, cliente, etc.;
- o d) personas que no acuden al edificio, pero que se pueden encontrar, habitualmente u ocasionalmente, en su zona de influencia. Por ejemplo: vecinos, transeúntes, etc.







## **7. Conclusiones**



---

## 7.1. CONCLUSIONES

---

Como conclusión general de la investigación se puede destacar que las fachadas trasventiladas de piedra natural tienen capacidad de materializar numerosos planteamientos arquitectónicos, adaptando el subsistema de anclaje a las necesidades concretas del proyecto. Para ello es fundamental el conocimiento de los condicionantes de las distintas variedades de piedra natural, así como el entendimiento del funcionamiento del sistema en su conjunto y del subsistema de anclaje en particular, de tal manera que se pueden aplicar adaptaciones o modificaciones para configurar el despiece.

A las numerosas ventajas constructivas, higrotérmicas y medioambientales atribuidas a la fachada trasventilada, este sistema suma las excepcionales propiedades intrínsecas y extrínsecas de la piedra natural. La elección tanto de este material como del sistema constructivo, como generadores de la idea, son parte proceso proyectual, y tienen una clara implicación en la definición y percepción de la forma. La gran variedad de tonalidades y texturas, así como la posibilidad de manejar diferentes espesores y disposición de juntas, hacen que el sistema presente unas características y cualidades difíciles de encontrar en otros materiales o sistemas constructivos.

Por su origen natural, la piedra es un material especialmente vinculado al territorio. Su capacidad de integración en el entorno, sus características constructivas, así como sus cualidades estéticas y sensoriales, la convierten en el material idóneo para su utilización en diferentes localizaciones. Aplicado al sistema de fachada trasventilada es una solución que destaca por su comportamiento constructivo, higrotérmico y medioambiental, así como por ser un sistema industrializado que facilita la puesta en obra, posibilita su reutilización, tanto del material natural como de las piezas del sistema, destacando su durabilidad.

Las fachadas trasventiladas de piedra natural tienen capacidad para materializar numerosos planteamientos arquitectónicos simples y complejos y son adecuadas para diversas tipologías edificatorias. Más allá de las necesidades ambientales y de confort, su evolución abre nuevas vías para el proyectista, pudiendo innovar desde el punto de vista de la materialidad y desde el punto de vista tecnológico.

A continuación se desarrolla esta idea, en forma de conclusiones particulares.

## ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA

Se puede interpretar el origen del sistema de fachada trasventilada de piedra natural como una evolución del sistema de los revestimientos de piedra amorteros y como una respuesta ante los problemas de comportamiento que generaban. Del estudio de su evolución y antecedentes se puede concluir que el sistema aparece como una evolución natural, destacando dos aspectos fundamentales: por un lado, la progresiva desaparición de la capa de mortero y, por otro lado, la tecnificación de los anclajes, que pasan de ser elementos retenedores que colaboran con la capa de mortero a elementos fundamentales del sistema encargados de soportar las cargas de las placas por sí solos y de transmitir las al soporte.

Desde la entrada en vigor del código técnico de la edificación, el aumento de exigencias ha requerido utilizar espesores de aislamiento progresivamente mayores. Esta separación del revestimiento respecto del soporte es un aspecto fundamental en el comportamiento del sistema, al producirse un aumento significativo en la excentricidad que, de no ser resuelto adecuadamente, puede provocar peligro de vuelco. Como respuesta a esta situación, los fabricantes de subsistemas de anclaje han adaptado sus sistemas para adecuarse a cámaras de aire más anchas. En el caso de los anclajes puntuales regulables, se fabrican con mayores espesores y se incorporan piezas de refuerzo que permitan que puedan soportar cargas superiores con mayor excentricidad. En el caso de los sistemas con subestructura de perfilera, se estudian escuadras más eficientes y resistentes.

En los últimos años se están incorporando nuevas exigencias sobre ahorro de energía con el objetivo de fomentar edificaciones de consumo casi nulo y altamente eficientes energéticamente. Como consecuencia directa, en estas aplicaciones el subsistema de anclajes puntuales ha ido quedando en desuso frente a aquellos mediante perfilera, quedando relegado a soluciones que requieran menos aislamiento o bien cuando este se coloca por el interior.

Además de la separación de la fachada que permiten las escuadras, hay ciertos aspectos fundamentales que favorecen la utilización de subsistemas mediante perfilera. A las mejoras en cuanto a planeidad, rendimiento de montaje, fiabilidad en la puesta en obra, protección del material aislante y sustitución de placas, se suma la facilidad para utilizar despieces más complejos, con placas de mayores dimensiones y con una variedad de juntas discontinuas y desplazadas.

Otra consecuencia del incremento en la excentricidad del revestimiento es la tendencia a transmitir las cargas directamente a la estructura de la edificación, de tal manera que el soporte recibe apoyos simples o no recibe ningún apoyo. Esta solución forjado a forjado es compatible con la utilización de hojas interiores ligeras o prefabricadas.

## UTILIZACIÓN DE PIEDRA NATURAL

Trabajar con piedra natural conlleva una serie de condicionantes que el proyectista debe conocer a la hora de diseñar la fachada. Un aspecto significativo, advertido en los casos de estudio y ejemplos consultados, es que la decisión de utilizar un revestimiento de piedra natural forma parte de la idea primitiva de proyecto. Contar con este dato desde la etapa de estudios previos es una decisión esencial que condicionará las etapas posteriores de diseño y configuración de la fachada.

Se pueden identificar dos tipos de condicionantes. Los condicionantes proyectuales se refieren a las estrategias que forman parte de la idea de proyecto. Pueden estar relacionados con su procedencia,

disponibilidad, con su referencia a tradición culturales o constructivas, arraigo, color o veteado o por los efectos provocados por la luz, entre otros.

Por otro lado, los condicionantes constructivos se refieren los requisitos a tener en cuenta en función de la variedad seleccionada. Cuando se utiliza piedra natural se debe tener en cuenta que se está trabajando con un material natural cuyas características intrínsecas y extrínsecas van a influir en su comportamiento. Aspectos como el tipo de piedra, las características concretas de la variedad utilizada o la climatología se deben tener en cuenta previamente a la configuración del despiece, pues pueden ser determinantes para definir el formato, las dimensiones y espesor de las placas, juntas, mecanizado de cantos e incluso acabado. También será decisivo a la hora de seleccionar el subsistema de anclaje y el tipo de unión piedra-anclaje.

Por tanto, la selección de la piedra que utilicemos debe basarse en la identificación de las propiedades y especificaciones que mejor se adecúen a las necesidades, y no exclusivamente en aspectos estéticos. Cuando se trabaja en una ubicación con una climatología húmeda, por ejemplo, se seleccionarán variedades con poca porosidad y un porcentaje bajo de absorción. En relación con el espesor, se deben tener en cuenta los valores mínimos en función del tipo de piedra. Cuando se utilizan rocas habitualmente denominadas blandas y con una resistencia a la flexión inferior, se van a requerir espesores superiores para alcanzar los valores de resistencia requeridos. Por ello, si se quiere utilizar un despiece con placas de gran formato se deben seleccionar variedades más resistentes, como los granitos. Otro aspecto a tener en cuenta serán los valores de dilatación de cara a la previsión de juntas, que en determinadas variedades de piedra pueden ser elevados. Por otro lado, también se deben comprobar los tipos de acabados admitidos para la variedad seleccionada. Una selección inadecuada del producto puede conllevar a fallos de comportamiento. Para asegurar la comprobación de estos requisitos se debe solicitar la caracterización del producto y declaración de prestaciones al suministrador, además de la realización de ensayos y valoración de expertos cuando sea necesario.

En relación a los anclajes se debe comprobar que la variedad de piedra utilizada sea compatible con el anclaje o grapa para su fijación, además de verificar la posibilidad de mecanizado de juntas y el espesor de placa mínimo para ello. En general, las variedades de piedra con tendencia a la exfoliación no admiten mecanizado de cantos y en piedras poco homogéneas no se recomiendan anclajes de pivote por el pico de tensiones producido. Para que el punto de unión anclaje – piedra funcione adecuadamente es importante entender cómo se reparten las cargas de la placa a los anclajes. A la hora de definir esta unión se debe tener en cuenta los tipos de unión placa- anclaje establecidos, es decir, anclajes o grapas paralelos o perpendicular a los cantos de la placa. Pese a la versatilidad del sistema no se recomienda modificar el tipo de unión pues podría acarrear problemas de comportamiento o tensiones indeseadas en la placa que provoquen fracturas o fallos en la unión. Cuando se utilizan placas con formatos no rectangulares o bases irregulares se debe recurrir al sistema de anclaje por destalonado en el reverso de la placa para conseguir una fijación segura y estable.

## **DESPIECE Y SUBSISTEMA DE ANCLAJE**

Los subsistemas de anclaje pueden adaptarse, mediante una serie de estrategias, a las necesidades concretas del proyecto y a numerosos planteamientos de despiece. Para ello es fundamental el entendimiento del funcionamiento de los anclajes: reparto y transmisión de cargas, posición del subsistema de anclaje respecto a la placa y función de los anclajes/grapas. Tras el estudio de la adecuación de los subsistemas de anclaje a distintas configuraciones de despieces, se han identificado una serie de estrategias que se pueden englobar en tres grupos, en función de su complejidad:

- Adaptación simple: se resuelve mediante variaciones en la posición de elementos o la introducción de nuevas grapas o anclajes disponibles en el sistema. No se modifica la configuración general.
- Adaptación compleja: se resuelve mediante la introducción de elementos no previstos en la configuración, pero sí existentes en el sistema. Se modifica la configuración general.
- Modificación: se resuelve mediante la modificación de un elemento del sistema o mediante la introducción de un nuevo elemento no disponible en el sistema. Se modifica la configuración general y se introducen elementos nuevos.

Una adecuada selección y configuración del subsistema de anclaje evita duplicidades en la densidad de anclajes o perfilaría, reduciendo costes y tiempos. En el caso de despieces simples en un plano, la estrategia para definir la solución más adecuada se basa en el estudio de las juntas continuas y discontinuas, así como del formato, dimensiones y la proporción entre anchura y altura de las placas. Los despieces solapados introducen la dificultad de trabajar con planos distintos al habitual, al no ser paralelos el plano de las placas del revestimiento y el plano del soporte. Para su resolución se requiere trabajar con vistas combinadas, además de ser recomendable el trabajo tridimensional para evitar intersecciones entre placas.

Los despieces de grandes dimensiones se resuelven partiendo de los mismos principios de funcionamiento que los convencionales, con la diferencia de que los anclajes utilizados se fabrican con acero inoxidable y espesores que les permiten soportar altas cargas. En esta tipología de despieces los cálculos de resistencia y transmisión de cargas son fundamentales al trabajar con placas de dimensiones y espesor elevados. Los despieces irregulares, tridimensionales o aplicados sobre soportes en los que la cara de apoyo de la placa no es horizontal requieren la instalación de una subestructura a partir de un marco perimetral que se encarga de resolver la diferencia de plano y sobre el que montan las placas. Esta solución permite configurar despieces complejos que hasta hace poco no se asociaban a las fachadas de piedra natural.

## **TIPOLOGÍA EDIFICATORIA**

Las estrategias para la configuración del subsistema de anclaje y del despiece varían según la tipología edificatoria. Cuando se trabaja con paños de fachada ciegos o con pocos huecos, se parte del diseño del despiece de tal manera que la posición de los posibles huecos se adapta a este. En estos casos hay una mayor libertad para el diseño arquitectónico, priorizando aspectos compositivos y conceptuales. Cuando la fachada tiene numerosos huecos o elementos singulares que impliquen cambios de plano, se utiliza la estrategia inversa, es decir, se parte del estudio y análisis del elemento singular y se busca una configuración de despiece y de subsistema de anclaje que se adapte a esta situación. Por este motivo es habitual recurrir a despieces más sencillos que puedan resolverse sin necesidad de estrategias de modificación.

## **RESOLUCIÓN DE PUNTOS SINGULARES**

La resolución de puntos singulares es fundamental para definir el subsistema de fachada al completo y, por tanto, deben incluirse en la documentación de proyecto. Implica identificar los puntos críticos y definir la solución constructiva. En ocasiones identificar los puntos problemáticos puede requerir adaptaciones en la configuración del subsistema de anclaje o incluso modificar el tipo de subsistema o de grapa seleccionada.

La resolución de los puntos singulares y su dificultad depende fundamentalmente del posicionamiento del anclaje respecto al canto de la placa y del tipo de soporte. La progresiva separación del revestimiento

respecto del soporte dificulta la resolución de estos encuentros, fundamentalmente los remates laterales, en esquina y encuentros con el hueco. El sistema de anclajes por destalonado es muy útil en este sentido, ya que los anclajes ubicados en el reverso liberan los cantos de la placa.

Respecto al tipo de soporte se debe asegurar su compatibilidad con el subsistema de anclaje. En el caso de utilizar soportes no resistentes hay que prever la introducción de una subestructura anclada a la estructura a la que puedan fijarse las placas de borde. También en el caso de cantos de remates superiores o inferiores en los que cuelguen las placas se debe prever un elemento soporte continuo o discontinuo al que puedan fijarse los anclajes o las escuadras. La separación del borde de las placas al soporte también ha dificultado la resolución de la esquina. Una situación que no se tiene muy en cuenta por los fabricantes y que puede ser relativamente común es la imposibilidad de fijar las ménsulas en el soporte, bien porque no se puede mantener la distancia mínima al borde, o bien porque la posición de la ménsula es excéntrica al soporte. Una solución adecuada en este puede ser la utilización de pletinas fijadas al soporte o a la estructura para proporcionar un soporte adecuado.

De todos los puntos singulares el encuentro con el hueco se puede considerar el más complejo de resolver, teniendo en cuenta todas las soluciones posibles. Para definir esta solución se recomienda trabajar simultáneamente en sección, planta y alzado, para obtener una imagen tridimensional del conjunto. Por otro lado, la resolución del canto del hueco ha cambiado notablemente. En los primeros años de desarrollo del sistema era habitual utilizar elementos de piedra. En los últimos años esta solución se ha ido abandonando frente a las soluciones mediante elementos metálicos, ya que son elementos impermeables, permiten numerosos posicionamientos de la carpintería y facilitan la resolución constructiva del contorno del hueco.

## ETAPA DE PROYECTO Y DOCUMENTACIÓN

La documentación existente, referida a despieces convencionales, es insuficiente para el desarrollo de un proyecto de fachada trasventilada con otro tipo de despiece. En estos casos se requiere, además, una adecuada metodología durante la etapa de proyecto, basada en la importancia de las etapas previas y de un conocimiento profundo del sistema, que permite definir el diseño y seleccionar la solución más adecuada. Algunos requisitos fundamentales de cara a la elaboración del proyecto se pueden resumir en:

- Definición clara de la configuración del despiece y del comportamiento del subsistema de anclaje.
- Elaboración de planos de despiece completos en los que se represente el subsistema de anclaje, las placas del revestimiento, estructura y límites del soporte. En caso de utilizar formatos variables, estos se deben identificar con claridad.
- Para dimensionar las placas del revestimiento se deben tener en cuenta las juntas de contorno.
- Para configurar el despiece y definir la perfilera se deben localizar la posición de las juntas de dilatación horizontales y verticales, tanto estructurales como de la perfilera (montantes y travesaños).
- Se recomienda trabajar en dos escalas simultáneas: definición de la solución a escala general forjado a forjado y a escala detalle.
- Se recomienda la representación completa del subsistema: identificación y posicionamiento de todos los elementos componentes, así como los ejes de replanteo.
- Para definir soluciones complejas se requiere una visión tridimensional del conjunto: trabajo en 3 dimensiones o mediante un sistema de combinación de vistas en sección-planta-alzado.
- Se destaca la importancia de la detección e identificación de puntos críticos que requieran estudio específico durante la etapa de proyecto.

- La definición de puntos singulares debe hacerse mediante detalles específicos y no dibujos tipo. Al menos, se debe resolver el encuentro con huecos, esquinas y remates laterales, remate superior y remate inferior. Cuando se estudia la resolución de puntos singulares se debe mantener la referencia del límite del soporte o marco estructural a la hora de localizar la ubicación del subsistema de anclaje. Se recomienda trabajar con vistas combinadas para definir la solución en su conjunto.

## **CONCEPTO DE DESPIECE SINGULAR**

El concepto de despiece singular enmarcado en las fachadas trasventiladas de piedra se introduce con los primeros ejemplos que incorporaban alguna alteración respecto a la configuración convencionales. Por aquel entonces, el término singular aplicado a este tipo de fachadas era adecuado, ya que se estudiaban como casos puntuales novedosos y los fabricantes diseñaban soluciones específicas para su resolución. La utilización de esta terminología a lo largo del tiempo puede sugerir que cualquier edificación que no utilice un despiece convencional sigue siendo un caso singular que requiere una solución a medida. Sin embargo, la presente investigación y los numerosos ejemplos revisados han demostrado cómo los subsistemas de anclaje disponibles hoy en día permiten configurar multitud de despieces y cómo el proyectista puede adaptarlo a su propuesta si cuenta con la documentación y las estrategias necesarias.

Si retomamos el motivo que introdujo el término de despiece singular parece lógico actualizar el concepto y aplicarlo a aquellos despieces que en este momento supongan un nuevo reto para el sistema y promuevan investigaciones para el desarrollo de nuevas soluciones con perfilería. En este sentido se pueden considerar singulares los casos de despieces tridimensionales, que abren un nuevo abanico de posibilidades conceptuales aún poco exploradas.



## 7.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

La tesis forma parte de una línea de investigación que puede dar lugar a desarrollos futuros. A lo largo del documento se han ido planteando los aspectos destacables en el proyecto de este tipo de fachadas, de tal manera que estos pueden seguir desarrollándose. Se plantean varias líneas futuras de continuación:

Una vía inmediata sería la transferencia de este conocimiento en forma de guía de apoyo para el diseño y proyecto de fachadas trasventiladas de piedra natural. Esta vía se considera relevante por el interés arquitectónico del sistema y por su interés en numerosas tipologías e intervenciones arquitectónicas.

Por otro lado, el sistema tiene capacidad de evolución, por lo que se considera relevante el estudio de nuevas soluciones que promuevan su desarrollo. En lo que se refiere al subsistema de anclaje, destaca el potencial de desarrollo de las escuadras, la perfilaría en forma de subestructura de montaje y el sistema de anclaje por destalonado, que pueden dar lugar a nuevas soluciones poco exploradas hasta el momento. En lo que se refiere al soporte, destaca el potencial de la solución forjado a forjado combinada con la utilización de soportes prefabricados o en seco. Respecto a los puntos singulares, se destaca el interés de estudiar las posibilidades de adaptación del sistema a soluciones en otros planos, como envolventes que se pliegan hacia cubiertas y falsos techos. En cuanto al despiece, se destaca el interés por analizar nuevas soluciones en las que las placas de piedra giran sobre su base creando el efecto de pieles moldeables o heterogéneas.

También se considera de interés profundizar en el estudio del sistema desde el punto de vista de la sostenibilidad, ampliando el campo de investigación e incidiendo en aspectos como montaje, desmontaje, almacenaje y vida útil, aprovechamiento y reutilización en distintas edificaciones, además de su utilidad en el campo de la rehabilitación.



# **Bibliografía**



## BIBLIOGRAFÍA

Acocella, A. 2004. L'Architettura di Pietra. Antichi e nuovi magisteri costruttivi. Alinea, Lucense.

Acocella, A. 2014. Tegole e tubuli per pareti areate. Journal Architetturadi Pietra. <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=6349>.

Adam, J-P. 1984. La construction romaine: matériaux et techniques. Picard, Paris.

Allen Willey, Day (1907). The Marble Quarries of Carrara. Scientific American, Vol. XCVII, No. 20. New York, November 16, 1907, pp. 353-362. Recuperado de <http://quarriesandbeyond.org/>

Araujo, Ramón (2016) Del mito a la realidad. The challenges of Industrialization. Arquitectura Viva nº 183, pp. 63-65

Atienza, J. 2015. Machinae: el uso de ingenios mecánicos aplicados a la actividad constructiva en época romana. Actas del IX Congreso Nacional y I Congreso Internacional Hispanoamericano, Segovia, 13-17 octubre 2015, vol.1:157-166.

Avellaneda, Jaume (1997) Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras conjuntas abiertas. I Congreso de Ventanas y Fachadas ligeras. Centro de Investigación Tecnológica, CIDEMCO

Avellaneda, Jaume; Paricio, Ignacio (2000). Los revestimientos de piedra. Bisagra, Barcelona, 2ª edición.

Ball, L.F. 2002. How Did the Romans install Revetment? American Journal of Archaeology, vol.106 nº4:551-573.

Balter, Julieta & Pardal, Cristina & Roura, Helena & Paricio, Ignacio & Ganem, Carolina (2017). Movimiento del aire en la cámara de la fachada ventilada. Estudio de casos existentes en la ciudad de Barcelona, España.

Barberot, E (1927). Tratado práctico de edificación. Gustavo Gili, Barcelona, 2ª edición

Barr, Thaw & Fraser, Hoboken. 1892. Steam Stone Works. Scientific American, Vol. LXVI, No. 6 New York, 1892, pp. 89. Recuperado de [https://quarriesandbeyond.org/pdf/steam\\_stone\\_works\\_barr-thaw\\_fraser\\_hoboken\\_nj\\_scientific\\_american\\_feb\\_6\\_1892.pdf](https://quarriesandbeyond.org/pdf/steam_stone_works_barr-thaw_fraser_hoboken_nj_scientific_american_feb_6_1892.pdf)

Bassegoda, Buenaventura (1979). Tecnologías de la arquitectura. Tercera edición. Editorial Gustavo Gili

Benévolo, Leonardo (1980). Historia de la arquitectura moderna. Gustavo Gili, Barcelona, 4ª edición.

Benjamin, S. G. W (1891). The Granite Quarries of the New England Coast. Harper's Weekly, January 10, 1891, Vol. XXXV, No. 1777, pp. 29-31. Recuperado de

<http://quarriesandbeyond.org/>

Bento Fernández, María (2010) Los sistemas de cerramiento de fachadas ventiladas y el CTE. Conarquitectura N° 35.

Bermejo Lorenzo, Carmen. 2016. Sáenz de Oiza y la decoración del palacio de festivales de Santander. Res Mobilis Revista internacional de investigación en mobiliario y objetos decorativos Vol. 5, nº. 6 (II). pp.499-516

Bouza Cora, M<sup>a</sup> Belén (2015). Contribución de entrada de agua en aplacados ventilados de piedra en función del diseño de las juntas verticales (Tesis doctoral). Universidade da Coruña.

Branca, Giovanni (1629). Le macchine. Editor: Torino

C., Pérez & Mateo-García, Mónica & Piedecausa García, Beatriz (2010). El aplacado de piedra trasventilado. Comportamiento mecánico, condicionantes constructivos y formales, su durabilidad y lesiones. 10.13140/2.1.3824.4484.

Canedo Aceituno, Raúl (2014). Trabajos singulares y de remate en fachadas trasventiladas. IC editorial, Málaga.

Cantó Blanquer, Juan (2013). Análisis del comportamiento físico-mecánico de fachadas ventiladas de piedra natural (TFM). Universidad Politécnica de Madrid.

Castro Villalba, A. 1999. Historia de la construcción arquitectónica. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Cerdeño del Castillo, Francisco Javier (2007) La piedra natural en la arquitectura contemporánea. Aitemin, Centro Tecnológico, Toledo

Choisy, A. 2006. El arte de construir en Roma. Ed. a cargo de Huerta Fernández, S y Girón Sierra, F.J. Madrid: Centro de estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo.

Clúster del Granito (2012) Arquitectura en granito. Fundación Centro Tecnológico de Granito de Galicia.

David Dernie (2003) Arquitectura en piedra. Blume, Barcelona.

De Cusa, Juan (1965). Revestimientos interiores y exteriores. Monografías sobre construcción y arquitectura. CEAC.

De Sola, Morales; et al (1993). Mies Van del Rohe. El pabellón de Barcelona. Gustavo Gili, Barcelona.

Di Silvo, Michele (1993) Facciate di pietra. Il marmo nell'architettura contemporanea: tecnologia dei paramenti esterni tra innovazione e tradizione. Alinea, Firenze.

Dobbins, J.J. 1983. The excavation of the Roman villa at La Befa, Italy. Oxford, England: B.A.R.

Donaldson, Barry (1988). *New Stone Technology, Design, and Construction for Exterior Wall Systems*. ASTM International

Drexler, Arthur (1986). *The Mies van der Rohe Archive.2*. Ed. Garland Publishing, New York.

E.G Warland (1947). *Tratado práctico de construcción*. G. Gili. Barcelona.

Esbert R.M.; Montoto, Modesto; Ordaz, Jorge (1991) *La piedra como material de construcción: durabilidad, deterioros y conservación*. *Materiales de construcción*, vol. 41, nº 221, pp. 61-73.

Esbert, Rosa María; et al...(1997). *Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·legi de aparelladors arquitectes tècnics de barcelona, Barcelona (1997)

*Evolution of Wall Design for Controlling Rain Penetration* by G.A. Chown, W.C. Brown and G.F. Poirier. *Construction Technology Update No. 9*. NRCC nº09, 1997

Fanelli, G., Gargiani, R., & Calatrava, J. (1999). *El principio del revestimiento : prolegómenos a una historia de la arquitectura contemporánea*. Akal.

Fernández Madrid, Joaquín (2008) *Sistemas de construcción en piedra*. *Tectónica nº27*, pp.4-27.

Fernández Madrid, Joaquín. (2010). *Study of influence of wind pressure and rain conditions in rain screen walls*. *Structural Survey*. 28. 46-52. 10.1108/02630801011040851.

Ford, Edward,R.(1996). *The details of modern architecture*. 1. Institute of technology, Massachusetts

Ford, Edward,R.(1996). *The details of modern architecture*. 2, 1928 to 1988. Institute of technology, Massachusetts

G. Semper (1851). *Die Vier Elemente der Baukunst – Braunschweig*

Gallego Blázquez, Rocío (2014). *La fachada trasventilada de piedra. Evolución conceptual y constructiva a partir del muro compuesto*. Máster. Universidad de Valladolid.

García Bescansa, Felipe; Fernández Madrid, Joaquín (2011). *Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra*. 7º Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación en estructuras. – CINPAR 2011 Fortaleza, Brasil.

García Bescansa, Felipe (2015). *Contribución de entrada de agua en aplacados Ventilados de piedra en función del diseño de las juntas horizontales*. (Tesis doctoral). Universidade da Coruña.

García de los Ríos Cobo, José I.; Báez Mezquita, Juan Manuel (2001) *La piedra en Castilla y León* Junta de Castilla y León. 2ª edición

Giancola, Emanuela (2010). El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.

Ginouves, R; Roland, 1985. M Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. vol.1: Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor. Atenas: Ecole française d'Athènes.

Gnoli, R. 1988. Marmora romana. Roma: Elefante

Graciani García, Amparo (2011). Materiales y Elementos Constructivos del Hypocaustis de las Termas Romanas de Carteia (San Roque, Cádiz). Comunicación en congreso. VII Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela.

Graciani, Amparo. (2015). Materiales cerámicos de incrustación parietal en el Próximo Oriente. Derivaciones ornamentales y funcionales hacia los clavi coctiles. Actas del I Congreso Internacional Iberoamericano y IX Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Segovia, 13 a 17 de octubre de 2015, vol. II: 761-770. ISBN: 978-84-9728-549-0 (vol. II).

Granite Quarries (1906). Scientific Magazine Supplement No. 1574, Vol. LXI., No. 1574, March 3, 1906, New York. Transcribed by Peggy B. Perazzo. Recuperado de <http://quarriesandbeyond.org/>

Grewe, K. 2010. La máquina romana de serrar piedras. La representación en bajorrelieve de una sierra de piedras de la antigüedad, en Hierápolis de Frigia, y su relevancia para la historia técnica. Tr. Miguel Ordoñez. V Congreso de las obras públicas romanas: 381-401.

Hèbert, Ronan; et al... (2012) Cracks and steins on facade-cladding made of carbonate rock thin panels Structural Survey, vol.30, nº 2, pp130-144

Herrera Herbert, J. 2012. Manual de rocas ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación. Cap.2. Madrid: Gráficas Arias Montano.

Horvat Pintaric, Vera, and Magde Tomasevic (1989). Vienna 1900 the Architecture of Otto Wagner . London: Studio Editions. Print, 7-8

Ivorra, s; et al... (2013) Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system. Engineering Failure Analysis 3, pp 290-301

Haiko, Peter (2018). Das neue, moderne un zeitgemässe ornament bei Otto Wagner. En Nierhaus, A. y Orosz E.-M. (2018), Otto Wagner. Wien Museum (pp. 90-95). Deutschland: Residenz Verlag.

Harrington Foster (1979). Structure and fabric.2. Halsted Press, New York

Huedo, P. Entrada de agua en las juntas de las fachadas ventiladas. Castellón, Qalicer, 2010.

Hugues, Theodor; Steiger, Ludwig; Weber, Johann (2008) Piedra natural. Tipos de



pedra. Detalles. Ejemplos. Gustavo Gili, Barcelona

Ivorra, s; et al... (2013). Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system. *Engineering Failure Analysis* 3, pp 290-301

Instituto valenciano de la edificación, Instituto tecnológico de la construcción (2010) Guía de la piedra natural Generalitat Valenciana

John Ashurst (1977). *Stone in Building. Its Use and Potential Today*. Editorial: Architectural Press, London

Knobloch, Philip G. (1991) *Architectural details from the early twentieth century*. American Institute of Architects, Washington

Lewis, M. D. (1995) *Modern Stone Cladding: Design and Installation of Exterior Dimension Stone System*. Manual Series ASTM MNL 21, Philadelphia

Liñán Romero, Ángel Custodio (2013). Montaje de anclajes y subestructura portante para fachadas transventiladas. IC editorial, Málaga.

Loos, Adolf. *Escritos I: 1897/1909*. Traducido por Alberto Estévez, Josep Quetglas, Miquel Vila. El Croquis, Madrid. 1993

López Jimeno, Carlos; et al... (2012). *Manual de rocas ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación*. Gráficas Arias Montano, Madrid.

Malaga K., Schouenborg B. y Grek B. (2008). Combadura y dilatación de paneles de piedra natural: ensayo y evaluación de mármol y caliza. *Materiales de Construcción* Vol. 58, 289-290, 97-112.

Maréchal, Sadi (2020). *Public Baths and Bathing Habits in Late Antiquity: A Study of the Evidence from Italy, North Africa and Palestine A.D. 285-700*, Volume: 6.

Meyhöfer, Dirk (2009) *Set in Stone. Rethinking a timeless material*. Braun Publishing AG

Monjo Carrió, Juan. *Fichas técnicas editadas por Asemas nº 6 Revestimientos*

Moreno Lozano, S. 2015. Técnicas edilicias en la ciudad ibero-romana de Torreparedones (Baena, Córdoba). *Arqueología y territorio* nº 12: 75-88.

Neumann, Friedich (1967). *Tratado de edificación*. Gustavo Gili, Barcelona

Otero Cifuentes, Antonio (1991) Nuevas soluciones para la fijación de aplacados de piedra natural en la edificación actual *Revista de la edificación*, nº9, pp.9-16

P. Merrill, George (1889). *Methods of Quarrying and Dressing*. En *The Collection of Building and Ornamental Stones in the U.S. National Museum: A Hand-book and Catalogue* (pp. 285-331). U.S. Government Printing Office. Recuperado de [https://quarriesandbeyond.org/pdf/methods\\_of\\_quarrying\\_and\\_dressing-from-collection\\_of\\_building\\_and\\_ornamental\\_stones\\_in\\_the\\_us\\_national\\_museum\\_1886.pdf](https://quarriesandbeyond.org/pdf/methods_of_quarrying_and_dressing-from-collection_of_building_and_ornamental_stones_in_the_us_national_museum_1886.pdf)

Pardal March, Cristina (2009). La hoja interior de la fachada ventilada. Análisis, taxonomía y prospectiva (tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona - Universidad Politécnica de Cataluña.

Pardal, Cristina; Paricio, Ignacio (2006). La fachada ventilada y ligera. Bisagra, Barcelona.

Pérez Carramiñana, C., et al. (2010). El aplacado de piedra trasventilado. Comportamiento mecánico, condicionantes constructivos y formales. Su durabilidad y lesiones. Global Stone Congress 2010.

Pérez García, Antonio Jesús (2013). Preparación de los trabajos y replanteo de fachadas transventiladas. IC editorial, Málaga.

Ramsey, Kevin (2020) L'uomo che parla alle pietre. Recuperado de <https://www.ramseystone.com/press/>

Raya de Blas, Antonio; Crespo González, Cristóbal; Santiago Sánchez Iglesias, Enrique Antelo Tudela. Boletín Académico: Revista de investigación y arquitectura contemporánea, ISSN-e 2173-6723, Nº 2, 2012, pp. 36-45

Reig Cerdá, L.; et al... (2010). Ventajas y condicionantes de fachadas ventiladas frente a los requisitos básicos de la edificación (CTE). Actas del Congreso Qualicer '10.

Scientific American., Vol. XXXV., No. 13. New York, September 23, 1876. Improved Stone-Sawing Machinery

Scientific American Supplement. Vol. XX, No. 520, New York, 1885. The Helicoidal or Wire Stone Saw.

Sánchez-Lafuente Gómez, Jesús Enrique (2013). Montaje de revestimientos de fachadas transventiladas. IC editorial, Málaga.

Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Ana (1996). Fachadas: transición e innovación tecnológica. RE: revista de edificación, ISSN 0213-8948, Nº 22, pp. 53-62

Sánchez-Ostiz, Ana (2011) Cerramientos de edificios. Fachadas. Universidad de Navarra.

Sanchez Martínez, Francisca Victorial (2015). Estudio histórico-tecnológico de las serrerías de corte de piedras duras en el siglo XVI. Tesis doctoral.

Sanz, David (2016) Genealogía de la geología. The Contemporary Vitality of Stone. Arquitectura Viva nº 184, pp. 63-75

Sanz Gamó, R. (1987). Algunos materiales romanos utilizados en la construcción de las concameraciones, Oretum, III, pp. 225-236.

Sarabia Bautista (2012). La villa de Balazote (Albacete). Un ejemplo de la vida en la campiña entre el alto y el bajo Imperio romano. Universidad de Alicante, Servicio de

## Publicaciones

Sapienza, Vincenzo (2019). Il nuovo parlamento di Malta: immagine architettonica e tecnica costruttiva. *Techne* 08. 2014. Pp. 219-227.

Sarnitz, A. (2005). *Otto Wagner, 1841-1918: Precursor de la arquitectura moderna*. Köln ; Madrid: Taschen.

Stadler, Robert (2006). Restauración de una iglesia de mármol en Viena. *Litos: La revista de la piedra natural*, 82, 38-44

Severino, Nicola (2012). Il pavimento cosmatesco della cattedrale di anagni. La storia, l'analisi, le nuove ipotesi. Seconda Edizione, Roccasecca.

Siegesmund, Siegfried; Snethlage, Rolf (2014). *Stone in architecture. Properties, Durability*. Fifth edition. London.

Sousa Camposinhos, Rui de; Camposinhos, Rui Pedro (2007) Dimension – Stone cladding design with dowel anchorage. *Construction Materials*. Vol 162, pp.95-104

Sousa Camposinhos, Rui de; Camposinhos, Rui Pedro (2009) Dimension stone design – kerf anchorage in limestone and marble. *Construction Materials*. Vol 165, pp.161-175

Sousa Camposinhos, Rui de (2012) Undercut anchorage in dimension Stone cladding. *Construction Materials*. Ice Publishing. *Construction Materials*.

Sousa Camposinhos, Rui de (2014) *Stone Cladding Engineering*. Springer

Stainer, Peter (2009). *Quarries and Quarrying*. Oxford: Shire Publications Ltd. First published 1985; reprinted 2000 and 2009.

Tschegg, Elmar & Kreč, Klaus. (2010). Nondeformability of Ventilated and Mortar-Embedded Marble Facade Panels. *Journal of Performance of Constructed Facilities - J Perform Constr Facil*. 24. doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000063

Vera Soriano, Roberto. Fichas Técnicas editadas por ASEMAS. N°6 Revestimientos. RVC5 “Fachadas trasventiladas con revestimientos pétreos”

Vera Soriano, Roberto (1998). La fachada ventilada. *Edificar revista técnica de la construcción* n°10. pp 8-14

Vera Soriano, Roberto (1998). Criterios de control de aplacados pétreos en fachadas ventiladas. *Edificar revista técnica de la construcción* n°10. pp 19-22

Vera Soriano, Roberto (2009). Reportaje: Anclajes para fachada ventilada según la norma UNE 41957. *ROC Maquina* 120. pp. 44-48

Vera Pires, P.M. Amaral, L.G. Rosa, R.S. Camposinhos. 2011. Slate flexural and anchorage strength considerations in cladding design, *Construction and Building Materials*. Volume 25, Issue 10. pp 3966-3971. ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.029>.

Vermont Marble Company (1920s). The Book of Vermont Marble: a reference for Architects and Builders. Proctor, Vermont. Second edition. Recuperado de [https://archive.org/details/TheBookOfVermontMarbleAReferenceBookForTheArchitecturalProfession\\_424](https://archive.org/details/TheBookOfVermontMarbleAReferenceBookForTheArchitecturalProfession_424)

Vielba Cuerpo, Carmen (2001) La arenisca de Villamayor en revestimientos de fachada Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Tesis doctoral

Vielba Cuerpo, C., Hernández Olivares, F. (2002) Ensayos de caracterización del comportamiento frente al agua de la piedra natural. Materiales de Construcción nº 267, pp. 43-54

Vielba Cuerpo, Carmen (2009) Método de análisis para determinar el contenido de humedad adecuado para la obtención de resistencias en fachadas trasventiladas de piedra natural sometidas al agua de lluvia. Materiales de construcción, vol. 59, nº 293, pp.63-83

Viollet-le-Duc, Eugène Emmanuel (1996). La construcción medieval. Ed. a cargo de Enrique Rabasa Díaz y Santiago Huerta Fernández. Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid

Wagner, Otto (1890). Einige Skizzen, Projekte und ausgeführte Bauwerke. Viena: s.e., (vol. 1). Traducción al inglés: Sketches, projects and executed buildings. Londres: London Architectural Press, 1987.

Wagner, Otto; Rovira, J. M., pr.; Siguan, Jordi, tr. (1993). La arquitectura de nuestro tiempo: una guía para los jóvenes arquitectos. El Croquis. 77-83

## **NORMATIVA, REGLAMENTOS, INFORMES, MANUALES TÉCNICOS**

---

Código Técnico de la Edificación - CTE

UNE-EN 12407:2020. Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico.

UNE-EN 12440:2019. Piedra natural. Denominación de la piedra natural.

UNE-EN 1469:2015. Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos

UNE-EN 12670: 2020. Piedra natural. Terminología.

UNE-EN 12372:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada.

UNE-EN 13161: 2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión a momento constante.

UNE-EN 13364: 2002. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la carga de rotura para anclajes

UNE-EN 14158: 2004. Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la energía de rotura.

UNE-EN 13755: 2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

UNE-EN 1936: 2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total

UNE-EN 12370:1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.

UNE-EN 1936: 2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.

UNE-EN 1925: 1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

UNE-EN 14147:2004. Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina.

UNE-EN 12371: 2011. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad.

UNE-EN 14066: 2014. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.

UNE: 22203:2011. Productos de piedra natural. Construcción de aplacados de fachadas con piedra natural.

DAU 10/062 A. Epsilon O. Sistema de grapas y subestructura de aluminio para la fijación de placas de revestimiento en fachadas ventiladas

DIT 513R/14. GRAPAMAR PF1025

ETA 19/0030. B-202D y B-202C

DIT 513R/14. GRAPAMAR PF1025

DIT N° 514R/14. VISENOVA

DIT N° 575R/19. UNYCLAD

ETA 13/0310. Kit PF-ALU-HPL

DIN 1970. Cladding by natural stone, concrete and ceramics; code of practice”

DIN 1973. Cladding by natural stone, concrete and ceramics; code of practice, comments”

DIN 18 516 Part.1. Back-ventilated, non-load bearing, external enclosures of buildings; requirements and testing

DIN 18 516 Part.3. Back-ventilated, non-load bearing, external enclosures of buildings, made from natural stone. Design and installation

NTE-RCP Chapados

ASTM C1242-15a (2015) Standard Guide for Selection, Design, and Installation of Exterior Dimension Stone Anchors and Anchoring Systems

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación Ambiental

96/603/CE: Decisión de la Comisión de 4 de octubre de 1996 por la que se establece la lista de productos clasificados en la clase A «sin contribución al fuego» previsto en la Decisión 94/611/CE por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo sobre los productos de construcción (Texto pertinente a los fines del EEE)

Reglamento (UE) Nº 305/2011 Del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

Azconegui Morán y Castellanos Miguélez (1993). Guía práctica de la cantería. León, Editorial de los oficios.

Building Stone Institute. Recommended best practices.

Distribución de rocas ornamentales en España. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León – SIEMCALSA, 2008.

Fachadas ventiladas. Qualicer '10. Castellón.

Informe sobre marcado CE de productos de piedra natural. Agosto 2016 (2016). Ministerio de industria, energía y turismo

Informe “Estadística minero de España”. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.

Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Cuadernos de rehabilitación. Productos y materiales. Propiedades de aislantes térmicos para rehabilitación energética. Valencia.

Manual de productos: Fachadas ventiladas. ASEFAVE (2020)

Manual técnico de anclajes HILTI. 5.1. Recuperado de ([https://www.construmatica.com/archivos/46568/sistemas\\_de\\_fijacion\\_anclajes.pdf](https://www.construmatica.com/archivos/46568/sistemas_de_fijacion_anclajes.pdf))

Manual Index Fixing Systems. Fachada Ventilada. Index Fixing Systems Técnicas Expansivas S.L. La Rioja.

Marble Institute os America (2011). Vertical surfaces – Installation notes

Mingolarra, José Ignacio (2009) Seguridad práctica en la construcción. Osalán, Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, Vizcaya

Modelo de desarrollo de LOD700 para productos de piedra natural, emitido por CTM

Molina Molina, Antonio (2017). Guía técnica de la piedra natural. Requisitos y control de recepción. Clúster de la Piedra Natural. Murcia.

Monjo carrió, Juan. Fichas técnicas editadas por Asemas. nº 6 Revestimientos

Montero Fernández de Bobadilla (2007). Manual básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Oportunidades Industria 4.0 en Galicia. Impulsado por el Instituto Gallego de Promoción Económica (IGAPE) y la Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia (ATIGA).

rvc501 “Aplacados pétreos (chapados)”

rvc5 “Fachadas trasventiladas con revestimientos pétreos”

Sánchez Pérez, 2008. Manual del cantero y marmolista

VVAA (2013) Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de fachadas de piedra natural. Ideaspropias

---

## PÁGINAS WEB

BAFF SYSTEM <https://www.baffsystem.com/>

EUROCLAD <http://www.euroclad.es/>

FCV AISLAMIENTOS ENVOLVENTES <https://fcvae.es/>

FISCHER IBERICA <https://www.fischer.es/es-es>

GRAPAMAR <http://www.grapamar.com/>

GUTTERKEL <http://www.gutterkel.com/>

HALFEN IBERICA <https://m.halfen.com/es/>

KEIL. GROUP TILE EZE <http://keilanchor.com/>

MECANOFAS <https://mecanofas.com/>

SB FIJACIONES <https://sbfijaciones.com/>

SISTEMA MASA <http://www.sistemamasa.com/>

STROW SISTEMAS <http://www.strow.es/>

WISEMAR <https://visemar.com/visenova/>

ITEC <https://itec.es/>

AENOR <https://www.aenor.com/>

ANDIMAT <https://www.andimat.es/>

BEDEC <https://itec.es/servicios/bedec/>

IVE <https://www.five.es/>

IGME <https://info.igme.es/visor/?Configuracion=igme> /  
<https://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=6f81b3f3451547879f5e274d75e351bd>

OEPM <https://www.oepm.es/es/index.html>

ESPACENET <https://worldwide.espacenet.com/>

Clúster de la piedra natural <https://clusterpiedra.com/>

## Referencias fotografías portadas

---

Portada y contraportada. Nuevo edificio para la Diputación de Zamora. Fotografías de la autora

Capítulo 1. Centro de control de túneles de Piedrafita

Capítulo 2. Edificio para la presa Kaiserbad, Viena. Fotografía de la autora

Capítulo 3. Centro de congresos y exposiciones en Ávila. Fotografía de la autora

Capítulo 4. Subsistema de anclaje mediante perfilera en las instalaciones de Strow sistemas. Fotografía de la autora

Capítulo 5. Centro de salud en Monterroso. Fotografía de la autora

Capítulo 6. Museo de Pontevedra. Fotografía de la autora

Capítulo 7. Museo Guggenheim. Fotografía de la autora. Fotografía de la autora