

ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Estudio de dos casos concretos en Valladolid



Autor: Pedro Sancha de la Mata
Tutor: Gemma Ramón Cueto
ESUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

UVa

ENVOLVENTE DE EDIFICIOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Estudio de dos casos concretos en Valladolid

Septiembre de 2015

RESUMEN

Con el objetivo de analizar de una forma cercana la realidad de la construcción en edificios de alta eficiencia energética, se buscan dos casos de edificios ya construidos, reconocidos, premiados y certificados con la máxima calificación energética en el entorno de Valladolid (España). Se analizará el ENVITE, de promoción privada, y el LUCIA, promovido por la Universidad de Valladolid. Ambos han sido concebidos para conseguir el máximo aprovechamiento energético desde la fase de diseño, repercutiendo en la envolvente de los mismos. Bajo un mismo clima y en dos entornos diferentes, se ejecutan dos soluciones de fachada opuestas, una ligera y otra pesada. La importancia que adquiere una solución constructiva correcta de la envolvente aparece desde los cálculos de las simulaciones. Sin embargo, el hecho de que estén construidos y se disponga de accesibilidad plantea una oportunidad para acercarse a un edificio de estas características, estudiar su comportamiento y su funcionamiento bioclimático.

PALABRAS CLAVE

Ahorro energético, envolvente arquitectónica, Valladolid, cerramiento pesado, cerramiento ligero.

Energy saving, architectural surroundings, Valladolid, lightweight envelope, heavyweight envelope.

AGRADECIMIENTOS

Por una parte, agradecer a los arquitectos, Francisco Valbuena García (LUCIA) y Jesús Tejedor Sánchez (ENVITE) por su disposición y ayuda prestada, así mismo agradecer a Gemma Ramón Cueto por tutorar el trabajo.

Por otra, a mi familia por su apoyo.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
I.1. PLANTEAMIENTO GENERAL	5
I.2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO	7
I.3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO	8
I.4. NORMATIVA	9
I.4.1. MARCO LEGAL EUROPEO	9
I.4.2. MARCO LEGAL NACIONAL Y AUTONÓMICO	11
I.4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS	15
I.4.4. PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA	16
II. MARCO TEÓRICO	18
II.1. CLIMATOLOGÍA	18
II.1.1. EL CIMA DE VALLADOLID	18
II.1.2. LOS ELEMENTOS DEL CLIMA	20
II.2. ENTORNO EN LOS EJEMPLOS A ESTUDIAR	21
II.2.1. EL MICROCLIMA Y LA ISLA DE CALOR	21
II.2.2. EDIFICIO ENVITE, UN ENTORNO INDUSTRIAL	23
II.2.3. EDIFICIO LUCIA, un entorno verde	25
III. EDIFICIO ENVITE, solución con cerramiento ligero	28
III.1. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROYECTO	28
III.2. LA SIMULACIÓN	31
III.2.1. EL PROGRAMA INFORMÁTICO USADO Y SUS CARACTERÍSTICAS	31
III.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO, LA ENVOLVENTE	33
III.3.1. SISTEMA DE FACHADA TRASVENTILADA EN EL BLOQUE DE OFICINAS	34
III.3.2. LA CUBIERTA VEGETAL Y LOS “LUCERNAIRES”	41
III.3.3. EL ATRIO BIOCLIMÁTICO	45
IV. EDIFICIO LUCIA, solución con cerramiento pesado	49
IV.1. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROYECTO	49
IV.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA E INFORMES	53
IV.2.1. CERTIFICACIONES OBTENIDAS	53
IV.2.2. SIMULACIONES ENERGÉTICAS LLEVADAS A CABO	55
IV.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO, LA ENVOLVENTE	57
IV.3.1. LA FACHADA ORIENTADA	58
IV.3.2. LA CUBIERTA VEGETAL EXTENSIVA Y LOS CAPTADORES DE LUZ	63
IV.3.3. LA DOBLE PIEL FOTOVOLTÁICA Y LOS LUCERNARIOS	66
IV.4. LA MONITORIZACIÓN DEL LUCIA	70
V. CONCLUSIONES	71

V.1.	ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	71
V.2.	LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	71
V.3.	LAS MONITORIZACIONES	73
V.4.	EL PAPEL DEL USUARIO	74
VI.	<i>Bibliografía</i>	75
VII.	<i>ANEXO I energía primaria en materiales</i>	79
VIII.	<i>ANEXO II certificaciones energéticas</i>	80
IX.	<i>ANEXO III planos de proyecto</i>	82

I. INTRODUCCIÓN

I.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

El tema que nos ocupa, la arquitectura de alto aprovechamiento energético, ha estado presente desde los orígenes de la construcción partiendo de la casa de Sócrates, pasando por los Tratados de Vitrubio, el urbanismo en las ciudades islámicas y muchos otros ejemplos recogidos por G. Yañez Paradera (2008, págs.24-60). A pesar de ello, el origen de la situación legislativa que nos afecta hoy en día fue la crisis del petróleo en la década de los 70, catalizadora de que, en 1972, el “*Club of Rome*” publicara a manos de Donella Meadows un Informe sobre los límites del desarrollo. Este pasará el relevo al Informe elaborado por Naciones Unidas en 1987 (donde se incorporaba el concepto de *desarrollo sostenible*) que a su vez se lo transmitiría a la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 y a la de Johannesburgo en 2002.

Las ideas presentadas por estos informes afectaban a muchas disciplinas, entre las que encontramos a la arquitectura, condicionada por una legislación de carácter europeo y nacional. Bajo esta misma legislación y bajo el clima característico de la zona de Valladolid, se han buscado ejemplos de estudio que compartan las siguientes características:

- Casos que hayan sido simulados y hayan obtenido la máxima calificación.
- Ejemplos ya construidos, con accesibilidad a sus espacios, a sus documentos y a sus memorias constructivas.
- Edificios que, tras su construcción, hayan comenzado un proceso de monitorización durante su uso que permita valorar su eficiencia.

Compartiendo estas características se han construido en 2010 el edificio ENVITE y en 2014 el edificio LUCIA. Ambos ejemplos ya construidos son dos casos de arquitectura de Alta Eficiencia Energética, por lo cual su propósito es conseguir reducir la demanda energética mediante:

- Baja transmitancia en la envolvente del edificio (cerramientos verticales y horizontales; opacos y translúcidos).
- Aprovechamiento máximo de las condiciones ambientales.

A pesar de encontrarse dentro del mismo término municipal, los edificios se emplazan en entornos altamente diferenciados. El ENVITE se localiza en el entorno industrial del Polígono de San Cristóbal y el LUCIA en el campus universitario Miguel Delibes. Así mismo las soluciones constructivas que se han tomado están altamente diferenciadas:

- En el ENVITE se ha optado por una solución de **cerramiento ligero** ($P \leq 200 \text{ Kg/m}^2$) usando como material la madera de *teka* como hoja exterior.
- El LUCIA se ha usado instalado un **cerramiento pesado** de paneles de hormigón prefabricado, también llamado *hormigón arquitectónico*.

En cualquier caso, ambos han alcanzado el máximo reconocimiento en las calificaciones energéticas (A) y han recibido premios como el *Endesa a la promoción no residencial más sostenible* (para el ENVITE en 2011) o el *Premio ENERAGEN* (año 2015 para el LUCIA).

En este trabajo nos centraremos en una parte del *Ciclo de Vida del Edificio* (CVE), que abarca según Y. Paradera (2008, pág. 88):

- La obtención de materias primas.
- Proceso industrial y transporte.
- Montaje en obra.
- **Uso y mantenimiento.**
- Fina de ciclo, (dos opciones: demolición o reutilización y reciclaje).

Nos centraremos en la eficiencia energética en la fase de *uso y mantenimiento*, aunque como vemos, el consumo energético de un edificio se puede evaluar desde diferentes fases de su vida, lo que requeriría un estudio mayor. A pesar de ello, se harán pequeñas reseñas relativas al primer punto *la obtención de las materias primas* de los cerramientos, con el propósito de enriquecer el trabajo propuesto.

I.2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

OBJETIVOS

El objetivo principal consiste en llegar a unas conclusiones en base al estudio de la envolvente de los edificios, de forma específica para cada caso y atendiendo a los requisitos de la normativa, el clima, las condiciones del entorno, etc. Estas conclusiones se orientaran hacia:

- Determinar las soluciones constructivas, relacionadas con cerramientos verticales de fachada, huecos, cubierta, lucernarios y elementos de integración de luz natural, que mejor ha resuelto sus requisitos en relación con la eficiencia energética.
- Estudiar qué soluciones bioclimáticas de los proyectos se adaptan mejor al clima y al entorno.
- Ver el papel del usuario en el edificio y el papel que desempeñado por el técnico de mantenimiento.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El trabajo buscará seguir un esquema que abarque temas que influyen directamente en el diseño de las soluciones constructivas, como son la normativa vigente o el clima, para poder analizar finalmente dichas soluciones. La metodología de estudio sigue un recorrido lineal que abarca varias fases:

- En primer lugar se estudian los aspectos comunes que afectan a ambos ejemplos por igual, como son *el marco legislativo* (a nivel europeo y nacional), *el marco teórico* y *el clima* donde se emplazan.
- Seguidamente, se estudia el *emplazamiento y su entorno*, punto de inflexión entre la primera fase y la fase de estudio final. Es el punto a partir del cual cada ejemplo adopta una solución particular constructiva y de proyecto. En esta fase, mi labor será de búsqueda de información específica para cada proyecto, acudiendo a los arquitectos Jesús Tejedor Sánchez (ENVITE) y Francisco Valbuena García (LUCIA). En esta parte se han recopilado memorias constructivas, documentación gráfica y se han visitado los edificios, tomando las fotos y apuntes necesarios para el estudio posterior.
- Por último, tras repasar los aspectos legales, teóricos y el entorno, se investigarán las soluciones tomadas en cada edificio para la envolvente, atendiendo al funcionamiento de cada ejemplo. Para ello se seguirá el siguiente esquema:
 - Primero se estudiarán, para cada caso en particular, las certificaciones energéticas obtenidas, analizando la importancia del cerramiento y su relación con la demanda de calefacción y refrigeración en $\text{KW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$. Estos datos proceden de los informes de certificación obtenidos por programas, como el CALENER, avalados por la normativa.

- En segundo lugar, una vez vista la importancia de la envolvente en la demanda energética, se estudiarán en profundidad estos cerramientos.

I.3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

En el presente trabajo se parte de una bibliografía específica relacionada, de manera genérica, con la arquitectura bioclimática. De esta forma, estos libros se convertirán en una guía donde acudir a la hora de revisar conceptos y estrategias bioclimáticas que puedan aparecer en nuestros casos concretos, ENVITE Y LUCIA. Esta bibliografía, cuyos autores principales son F. J. Neila y G. Yañez Paradera, aporta una concepción global del tema, como se podrá comprobar.

A continuación se consultarán textos, libros, normativa, y documentación web con el objetivo de documentarse sobre temas específicos como la climatología concreta para Valladolid o la normativa europea y nacional, que afectan de forma común a ambos edificios.

En el punto número tres, según lo expuesto anteriormente en la **Metodología de trabajo**, requiere una información específica relacionada con cada edificio. Para ello se acudirá a los arquitectos, que han accedido amablemente a enseñar sus edificios. Podemos distinguir entre cinco tipologías de documentos usados:

- Memorias constructivas, información básica, informes de eficiencia energética. Facilitadas por ambos arquitectos.
- Documentación gráfica, plantas, alzados y secciones, facilitados por los arquitectos.
- Detalles constructivos, de elaboración propia para el caso del LUCIA al no disponer los detalles necesarios para este trabajo. Para ello se ha realizado un trabajo de campo donde se han documentado gráficamente las soluciones. En algunos casos los detalles se basarán en suposiciones al no tener la certeza de cómo se ejecutó. En el ENVITE son proporcionados por el arquitecto.
- Imágenes propias tomadas durante las visitas a los edificios.
- Imágenes de obra facilitadas por diversas personas.

Toda esta información irá acompañada de la bibliografía básica explicada, de libros de construcción pertinentes (para fachada ligera y para hormigón prefabricado) y de información procedente de tesis y documentos recabados de la web.

I.4. NORMATIVA

I.4.1. MARCO LEGAL EUROPEO

Uno de los condicionantes a la hora de escoger los edificios a estudiar (ENVITE y LUCIA) ha sido que su certificación de eficiencia energética fuera máxima. Ahora bien, puesto que la influencia de las normas europeas en los métodos de cálculo es importante, vamos a repasar brevemente en que momento aparece referencia a estos métodos de cálculo y, lo más importante, ver cómo influyen las características de los cerramientos. De esta forma cuando analicemos los documentos de Certificación Energética conoceremos todo el proceso legislativo que existe detrás.

El instrumento jurídico a disposición de las instituciones europeas para aplicar sus políticas es lo que conocemos con el nombre de “Directiva”¹. Este elemento es una herramienta flexible en su uso, permitiendo a los Estados la libertad para poner en práctica los medios para cumplirlas. No obstante, y así lo establece el artículo 288 del Tratado de Funcionamiento de la UE, el cumplimiento de una Directiva tiene un carácter de obligatoriedad.²

Los objetivos en materia de eficiencia energética deben ser alcanzados por los Estados miembros con los medios que consideren necesarios. Para ello cada Estado debe elaborar una norma que conforme los objetivos de la Directiva.³ Se han elaborado varias Directivas desde la primera en 1993, estas han ido perfilando los objetivos y conceptos que veremos a continuación en algunas de estos documentos.

- En 1993 se aprobó la **Directiva 93/76/CEE** estaba orientada a la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera usando como herramienta la eficiencia energética de los edificios, introduciendo el documento conocido como *certificación energética* y abriendo el camino a la directiva del 2002.

- La Unión Europea aprueba la **Directiva 2002/91/CE** del 16 de diciembre de 2002, inspirada por el Protocolo de Kyoto (1997) que comprometía a la reducción de CO₂, estableciendo como objetivo (Artículo1):

“...fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Comunidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particulares locales, así como los requisitos ambientales interiores...”

¹ También existen la Decisión y el Reglamento, de diferente carácter que la Directiva. Mientras que los primeros deben ser incorporados por los Estados miembros de forma completa, la Directiva no incluye modalidades de aplicación.

²Fuente: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV:l14527>, Fecha 30/08/2015

³ <http://www.f2e.es/es/normativa-europea-de-eficiencia-energetica>, Fundación para la Eficiencia Energética. Normativa Europea. Fecha 30/08/2015

Para satisfacer este objetivo se plantean diferentes puntos, como son una *metodología de cálculo* de la eficiencia energética y un indicador de emisiones de CO₂; unas *exigencias mínimas de eficiencia energética*; un *certificado de eficiencia energética* y una *inspección periódica* de calderas y aparatos de aire acondicionado.

- Esta Directiva fue refundida dando lugar a la **Directiva 2010/31/UE** la cual desarrolla, entre otros puntos, los métodos de cálculo de la eficiencia energética (artículo 3) titulado “Adaptación de una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios”. En este punto nos centraremos para ver qué características de la envolvente influyen en el cálculo de la eficiencia energética, puesto que es el tema que nos ocupa.

En el ANEXO I se expone el marco general de cálculo donde especifica los aspectos mínimos que se deben tener en cuenta, entre los que se encuentran las características térmicas del edificio como:

- i. Capacidad térmica
- ii. Aislamiento
- iii. Calefacción pasiva
- iv. Elementos de refrigeración
- v. Puentes térmicos

Además establece que se tendrá en cuenta la incidencia positiva de aspectos como *la iluminación natural, la electricidad producida por cogeneración, condiciones locales de exposición al sol, sistemas solares activos u otros sistemas de calefacción o producción de electricidad basados en energía procedentes de fuentes renovables*.

Muchos de estas características vienen dados por el diseño y las características del cerramiento, siendo un punto imprescindible, al menos de especial atención, para conseguir la demanda energética casi nula del edificio. De ahí la pertinencia del tema que se está tratando en el presente trabajo.

- La **Directiva 2010/31/UE** introduce a mayores un concepto, el de “*edificios de consumo de energía casi nulo*”, definido en el Artículo 2 y desarrollado en el Artículo 9 donde los Estados miembros deberán conseguir que:

“el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo”. Además en el Artículo 2 especifica que cada Estado miembro será responsable de la concreción de los requisitos, exigiendo al menos *“un valor de uso de energía primaria expresado en kWh/m² por año”*.

- Por último **la Directiva 2012/27/UE** establece un *“...marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión...”* con el objetivo de conseguir un ahorro energético del 20%.⁴

⁴ DIRECTIVA 2012/27/ UE de 25 de octubre de 2012. En el Artículo 2, donde aparecen las definiciones, se especifica el concepto de “*eficiencia energética*”: *la relación entre la producción de un rendimiento, servicio, bien o energía, y el gasto de energía.*”

1.4.2. MARCO LEGAL NACIONAL Y AUTONÓMICO

En España las exigencias establecidas en la Directiva Europea 2002/91/CE, refundida por la Directiva 2010/31/UE comentada en el apartado anterior, se transpusieron a diferentes Reales Decretos. Estos son:

- El Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- El Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- El Real Decreto 47/2007, de 19 de enero.

Se aprueban respectivamente: el Código Técnico de la Edificación que fija las exigencias básicas de la calidad de los edificios y sus instalaciones, el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) y por último el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios⁵, donde se *“consideran aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios de nueva construcción”*.

Nos vamos a centrar en el CTE, en concreto en las Exigencias Básicas de Ahorro de Energía (HE) cuyo principal objeto es *“establecer las reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía”*, que a su vez se divide en los siguientes documentos básicos:

- HE-1, Limitación de la demanda energética.
- HE-2, Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- HE-3, Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- HE-4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- HE-5, Contribución fotovoltaica mínima de energía.

DB HE-1

En el **DB HE-1**⁶ se especifica que edificios de nueva construcción (es aplicable también en determinadas ampliaciones, reformas y cambios de uso) dispondrán de una *envolvente térmica* que limite la demanda energética *“en función de la zona climática de la localidad en que se ubican”*.

En los casos que vamos a estudiar será necesaria la *“justificación del cumplimiento de la exigencia”*, lo que implica que la documentación de proyecto incluya información como:

- La *zona climática y localidad*.
- Aportación de una *descripción geométrica, constructiva y de usos del edificio como orientación, envolvente térmica...*
- *Perfil de uso, nivel de acondicionamiento de los espacios habitables*.
- Procedimiento de cálculo *de la demanda energética para la verificación*.

⁵ REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, CAPÍTULO I, Artículo 1. Objeto, finalidad y definiciones.

⁶ CTE DB-HE, Sección HE 1 (pág. 13) Limitación de la demanda energética.

- La *demanda energética* y el *porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto a los edificios de referencia*.
- Características técnicas de los productos incorporados a las obras.

Disponer información sobre estos puntos es imprescindible para evaluar no solo el cumplimiento de la exigencia básica, también para ver cómo se rebasa la exigencia en la búsqueda del consumo casi nulo del edificio. Estos puntos son básicos en el seguimiento de este trabajo y serán usados como apartados en el estudio específico de cada edificio, tanto en el ENVITE como en el LUCÍA.

La **zona climática**, por tratarse de la misma para ambos casos, la de Valladolid, la analizaremos en este punto. Dentro del HE-1 aparece en la Tabla B.1⁷ las *zonas climáticas* en la Península Ibérica, correspondiendo para nuestro caso la D2 para la capital. De esta forma dispondremos de las *transmitancias límite* que nuestros edificios han debido cumplir por norma:

	Factor solar modificado ⁸ F_{LIM}	Transmitancia límite U_{LIM} (W/m ² ·K)
Muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	-	0,66 W/m ² ·K
Suelos	-	0,49 W/m ² ·K
Cubiertas	-	0,38 W/m ² ·K
Lucernarios	0,31	-

TABLA 1. Elaboración de tabla de Transmitancias límite. Fuente: CTE DB-HE, Apéndice D.

Así mismo dispondremos de la *transmitancia límite en huecos* en función de la orientación de estos mismos:

% huecos	Transmitancia límite de huecos U_{Hlim} W/m ² K			
	N/Ne/No	E/O	S	Se/So
0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5
11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5
21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5
31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4
41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2
51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0

TABLA 2. Elaboración de tabla de Transmitancias Límite de huecos. Fuente: CTE DB-HE, Apéndice D.

Conforme el porcentaje de huecos va aumentando, la *transmitancia limitada* por el HE-1 es más restrictiva. Ahora bien, se ve claramente que las orientaciones norteadas (Norte, Noreste y Noroeste) son las que plantean una mayor restricción hasta llegar a una transmitancia máxima de 1,9 W/m²·K. La **conclusión** es evidente, mientras que en huecos

⁷ CTE DB-HE, Sección HE 1 (pág. 27) Apéndice B. Zonas climáticas.

⁸ **Factor solar modificado.** Es la "fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por ningún obstáculo en fachada..." tales como retranqueos, voladizos, parasoles "...y partes opacas de un hueco". Fuente: HE 1 (pág. 23) Apéndice A. Terminología.

orientados al Sur en **invierno** pueden aparecer ganancias energéticas, los huecos al Norte solo producen pérdidas y ninguna ganancia. Las orientaciones Este y Oeste acaban siendo orientaciones no tan favorables como la Sur.

El *factor solar modificado* de estos huecos dependerá asimismo de la orientación (excepto para orientación norte) cómo de la *carga interna*⁹, pudiendo ser alta o baja.

Sin embargo para la **situación en verano**, las elevadas transmitancias U ($W/m^2 \cdot K$) de los huecos Sur plantearán una gran ganancia de energía térmica y en consecuencia una gran demanda de refrigeración si no se usan elementos de sombreadamiento. Esto lleva a pensar que la norma, en cierto modo, está orientada hacia situaciones de invierno mientras que en nuestra localización, Valladolid, será más importante la protección ante la ganancia en situaciones de verano como veremos más adelante.

DB HS-1

Por otra parte, revisamos el **DB HS-1**¹⁰, aplicado a “*muros y suelos en contacto con el terreno y a cerramientos que están en contacto con el aire exterior (fachadas y cubiertas)...*”. Para su cumplimiento se debe seguir un procedimiento de verificación, que vamos a exponer para el caso de cerramientos de fachadas y de cubiertas.

En primer lugar se debe definir el *grado de impermeabilidad* mínimo exigido definido en función de la 1) *La zona pluviométrica* y 2) *El grado de exposición al viento* para Valladolid (nuestro caso particular).

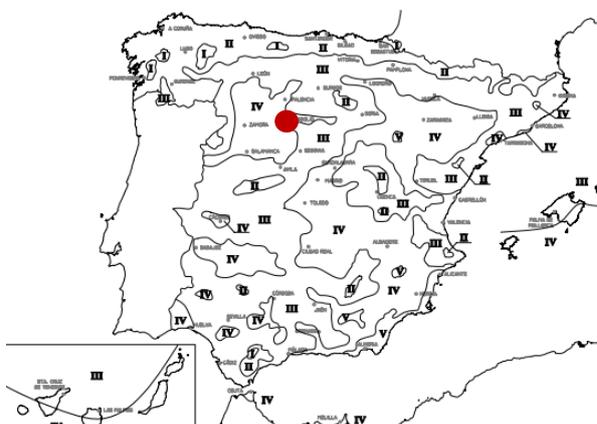


FIGURA 1. Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual. Fuente Figura 2.4 DB HS-1

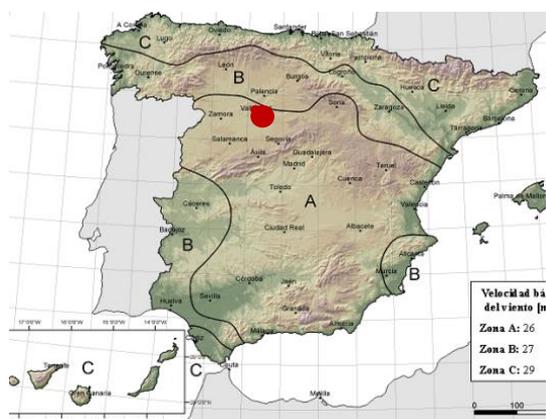


FIGURA 2. Zonas eólicas. Fuente Figura 2.5 DB HS-1.

⁹ **Carga Interna.** Solicitaciones generadas en el interior del edificio que se deben a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos y la iluminación. Fuente: HE 1 (pág. 21) Apéndice A. Terminología.

¹⁰ **CTE DB HS,** Exigencias básicas de salubridad. Compuesto por el HS-1 *Protección frente a la humedad*; HS-2 *Recogida y evacuación de residuos*; HS-3 *Calidad del aire interior*; HS-4 *Suministro de agua* y HS-5 *Evacuación de aguas*.

Para Valladolid, el **grado de impermeabilidad** mínimo exigido en las **fachadas** es:

- Grado de exposición al viento¹¹, para una altura del edificio $\leq 15\text{m}$ en la zona eólica A (FIGURA 2), le corresponde un grado V3.
- Grado de impermeabilidad mínimo exigido¹², en función del grado de exposición al viento V3 y la zona pluviométrica de promedios IV (FIGURA 1), le corresponde un grado 2.

El grado de impermeabilidad “2” condicionará las soluciones constructivas que se tomen en función de la Tabla 2.7 del DB HS-1, donde para nuestro caso correspondería un R1+C1.

- R1 (Resistencia a la filtración del revestimiento exterior), debe tener una resistencia media. Para ello debe tener un espesor mínimo entre 10 y 15 cm, una adherencia suficiente al soporte y permeabilidad al vapor suficiente para evitar acumulación de vapor.
- C1 (Composición de la hoja principal), debe de ser al menos de espesor medio, considerándose así, $\frac{1}{2}$ pie de ladrillo cerámico perforado o macizo, 12 cm de bloque cerámico, de hormigón o piedra natural.

Para el caso de las **cubiertas**, ambas de tipo ajardinado para ENVITE y LUCÍA, deben cumplir las condiciones indicadas en el punto 2.4.2. del DB HS-1. Según este deben disponer de soluciones constructivas:

- Sistema de formación de pendientes con la pendiente adecuada al tipo de impermeabilización.
- Una barrera de vapor inmediatamente bajo el aislante térmico si se llegasen a producir condensaciones según el cálculo de la HE-1.
- Capa separadoras para evitar el contacto entre materiales *químicamente incompatibles*, para evitar la adherencia entre diversas capas y para la protección.
- Aislamiento térmico según DB HE-1.
- Impermeabilización con la pendiente correspondiente según tipo, para cubiertas ajardinadas de 1-5 % según la tabla 2.10 del DB HS-1, pudiéndose usar sistemas simplemente adheridos (para pendientes superiores a 15% sistemas fijados mecánicos).

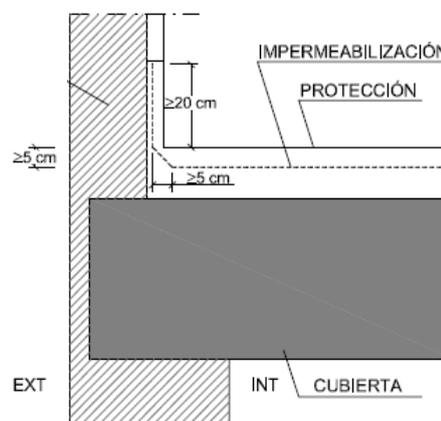


FIGURA 3. Encuentro de la cubierta con paramento vertical. DB HS-1 Figura 2.13.

En los encuentros de **cubierta** y **paramento vertical** la impermeabilización “*debe prolongarse por el paramento una altura de 20cm como mínimo*”.¹³

¹¹ CTE DB HS-1, Tabla 2.6 Grado de exposición al viento.

¹² CTE DB HS-1, Tabla 2.5 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas.

1.4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

Dentro de este último Real decreto, el RD47/2007, de 19 de enero, Capítulo II, la normativa nos indica un programa informático de Referencia y *cuyo cumplimiento permite acreditar los requisitos establecidos* en este procedimiento básico. Este se denomina CALENER¹⁴, aunque permite el uso de programas informáticos alternativos que cumplan con los requisitos que establece.

Puesto que los ejemplos a estudiar emplean estos programas informáticos, como el CÁLENER GT, estudiaremos más detenidamente en qué consisten las especificaciones técnicas de la metodología de cálculo de la calificación energética, dentro del Anexo I.

DB HE-1: Cumplimiento de la exigencia básica	<ul style="list-style-type: none"> • OPCIÓN SIMPLIFICADA 	Requerimientos: - Superficie Huecos inferior al 60% de la superficie fachada. - Superficie Lucernarios inferior al 5% superficie cubierta. Proceso: - Determinación zona climática. - Clasificación de los espacios y de sus cargas térmicas. - Definición de la envolvente y clasificación en fachada, cubierta medianera y cálculo de las transmitancias. - Comprobación de los valores de transmitancias térmicas U. - Control de condensaciones superficiales
	<ul style="list-style-type: none"> • OPCIÓN GENERAL PRESTACIONAL 	LIDER- Limitación de la Demanda Energética. - Cálculo del comportamiento térmico del edificio. CALENER- Contempla sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria...

TABLA 3. Esquema de opciones para cumplir la DB HE-1, elaboración propia. Fuente RD 47/2007, de 19 de enero.

Prescindiremos de las especificaciones de la norma con metodologías simplificadas, centrándonos en la **opción general prestacional** (TABLA 1). Este método consiste en un sistema *auto-referente*, es decir, que *el edificio que va a ser certificado se compara con otro de referencia, que cumple con las condiciones normativas*¹⁵:

- El **edificio a certificar** se considerará exactamente como ha sido proyectado en cuanto a *geometría, instalaciones, orientación e instalaciones*.
- El **edificio referencia** dispondrá las mismas características de forma y tamaño, de *zonificación interior, orientaciones, obstáculos remotos*, etc. que el original. Deberá tener unas calidades constructivas de fachada, suelo y cubierto que garanticen los requisitos mínimos de la sección HE1-Limitación de demanda Energética- del CTE. Las instalaciones térmicas cumplirán los requisitos del HE2- *Rendimiento de las instalaciones térmicas-*, dentro del RITE y

¹³ CTE DB HS-1, Punto 2.4.4.1.2 *Encuentro de la cubierta con un paramento vertical*.

¹⁴ REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, CAPÍTULO II, Artículo 4. Las especificaciones técnicas de la metodología de cálculo están establecidas en el Anexo I.

¹⁵ REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, ANEXO I, Introducción.

la sección HE4 –Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria- del CTE. Además se incluirá una contribución de energía solar fotovoltaica mínima según la sección HE-5 de CTE.

El cálculo se realizará considerando unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación del edificio en función de los usos del edificio. El programa finalmente calculará el consumo de energía final hora a hora así como el de las máquinas de calefacción y refrigeración.

La **calificación de eficiencia energética** del edificio será designado por una escala de siete letras, que va de la letra A hasta la G en orden descendente en eficiencia. El índice de la calificación energética C es:

$$C = (\text{CO}_2 \text{ edificio a certificar}) / (\text{CO}_2 \text{ edificio referencia})$$

Sin embargo, como se verá en el estudio de los ejemplos no es posible conseguir una calificación que se ajuste a la realidad del edificio. Esto es debido a que el comportamiento del edificio a certificar está sujeto a variables imposibles de predecir, como la climatología real, el usuario y su implicación con el funcionamiento de los sistemas, estrategias bioclimáticas no contempladas...

En mi opinión, el proceso de calificación, debería de componerse de dos etapas definidas por: una primera de proyecto consistente en el proceso de certificación mediante simulación, y una segunda con la construcción terminada y el edificio en funcionamiento. Esta puede llevarse a cabo con sistemas de monitorización como los que integran los edificios LCUIA y ENVITE, permitiendo hacer estudios más próximos a la realidad.

A nivel autonómico nos encontramos con el **Boletín Oficial de Castilla y León** el DECRETO 55/2011, de 15 de septiembre, por el que *se regula el procedimiento para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción en CyL*, apoyándose en lo establecido en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y al Real Decreto 47/2007, de 19 de enero. La Comunidad Autónoma, entre otras cosas, gestionará un registro de certificaciones de eficiencia energética en su ámbito territorial.

1.4.4. PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

Los ejemplos que se van a exponer son programas oficiales, usados para la certificación del LUCÍA (CALENER GT y eQUEST) y ENVITE (CALENER GT), que trabajan con el motor de simulación DOE-2 (IDAE, 2009)¹⁶, programa usado por el departamento de energía de EE.UU. La administración española, en cumplimiento de la normativa, desarrolla los siguientes programas para el cálculo según la *opción general prestacional* (TABLA 3):

- LIDER: Limitación de la DEManda eneRgética.
- CALENER: CALificación ENERgética de los edificios

¹⁶ IDAE, I. p. (mayo de 2009). *CALENER-GT: Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico*. Madrid. Página 7.

LIDER

El LIDER es un programa de simulación que permite realizar el cálculo de la demanda energética de un edificio en el periodo de un año a la vez que lo compara con uno de referencia que cumple lo establecido por la CTE DB-HE. De esta forma nos dice si nuestro edificio se está comportando peor o mejor que el edificio referencia. La información final se reduce a si el edificio cumple o no cumple.

La exportación de estos datos al CALENER nos permite calcular la demanda energética de cada sistema.

CALENER GT y VyP.

CALENER es un programa oficial usado para especificar el nivel de efectividad de energía de nuestro edificio. Su misión es **cuantificar** el consumo de energía final anual para poder emitir la etiqueta del certificado energético del edificio o la vivienda.

Dentro de este mismo software podemos diferenciar entre la herramienta Calener VyP destinada a viviendas y pequeños edificios terciarios, y Calener GT usado para edificios del sector terciario. Entre estos dos programas se podrán exportar datos y componentes además de modificar las bases de datos del catálogo constructivo del Código Técnico.

Estos programas permiten la simulación del comportamiento de los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS además de calcular las emisiones de CO2 anuales para el proyecto a partir de introducir una serie de datos que definan la envolvente y las instalaciones, aportándonos un certificado energético en comparación con el edificio de referencia.

Calener VyP funciona con el motor de cálculo ESTO2 mientras que Calener GT funciona con el programa de simulación DOE2. La principal diferencia reside en que Calener GT nos aporta datos mensuales y anuales de energía final, primaria y CO2 desglosado para cada sistema del edificio.

EQUEST, la versión americana.

El programa eQUEST realiza una simulación del uso de la energía en un edificio. De igual forma que los anteriores programas en este se implica el diseño del edificio de sus instalaciones más un programa que ejecuta el estudio comparando los resultados. Usa la herramienta de simulación DOE-2 para su funcionamiento. Este programa aprobado por la Comisión de la Energía de California trabaja con la normativa ASHRAE /Asociación de Ingenieros de Calefacción y Ventilación de Aire/.



FIGURA 4. Logos de los programas de simulación estudiados.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. CLIMATOLOGÍA

II.1.1. EL CIMA DE VALLADOLID

El presente análisis del clima de Valladolid es pertinente puesto que, desde el marco normativo, es necesario incluirlo en el procedimiento de cálculo para determinar las demandas energéticas. Además será imprescindible para comprender los criterios de diseño tomados en ambos ejemplos.

La ciudad española de Valladolid se localiza en la Meseta Norte¹⁷ cuyo relieve está conformado por una llanura interrumpida que genera un valle regado por el río Pisuegra y el río Esgueva (junto a los canales artificiales de Castilla y del Duero). Los fenómenos meteorológicos característicos de la zona están determinados por los *factores climáticos*, descritos por (NEILA GONZÁLEZ, 2004)¹⁸ y que pondremos en relación con nuestro caso.

- **La latitud del lugar.** Para Valladolid 41° 39' 8" N, según la AEMET. Este dato condiciona su ubicación en relación a la posición aparente del Sol. Esta latitud media, se caracteriza por tener una clara diferencia entre las épocas de verano, como indica Neila (pág. 13) “... *el día dura mucho y los rayos inciden con suficiente inclinación para provocar altas temperaturas*”. Además define tres sistemas de vientos para el hemisferio Norte, 1) entre 30º y el ecuador, vientos alisios provenientes del noreste, 2) entre 30º y 60º, nuestro caso, con vientos del suroeste y 3) a partir de los 60º vientos polares del norte.

- **El factor de continentalidad.** En el caso de Valladolid se encuentra en un clima *mediterráneo continentalizado frío de interior*, inviernos fríos con nieblas y heladas bastante frecuentes, veranos calurosos y secos. Se registran máximas entre los 30 °C y 35 °C, aunque las temperaturas mínimas están entorno a los 13°C. Neila (2004, pág. 14) explica este factor en función de la radiación solar influyente sobre la masa de la tierra. Se generará un gradiente térmico al calentarse sucesivamente las capas exteriores, las temperaturas serán más altas por el día mientras que por la noche se enfriarán al transmitir esa energía térmica al aire.

- **El factor orográfico** influenciado por las barreras montañosas, tanto su ausencia como en su presencia, alterando la dirección de los vientos hacia valles y depresiones generalmente. El municipio de Valladolid, emplazado en la cuenca sedimentaria del Duero, a su vez queda rodeada por montañas comportándose como barreras que delimitan la Meseta (FIGURA 5). Esta especie de corredor hacia el Atlántico hace que la dirección predominante de los vientos sea la del Oeste. Los vientos del sur suelen ser cálidos y húmedos.

¹⁷ La Meseta Norte es la denominación de la zona que se encuentra al norte de la Meseta Central. Se caracteriza con un clima mediterráneo con rasgos de continentalidad. Tiene un paisaje llano que hasta fechas recientes, la agricultura de secano ha sido el principal recurso de explotación.

¹⁸ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.

- **La altitud sobre el nivel del mar**, influencia directamente sobre la temperatura. Según Neila (pág 15), se puede hablar de una disminución de medio o un grado por cada cien metros, en función de si el aire se encuentra saturado o seco. En nuestro caso nos encontramos a una altitud media de 723m sobre el nivel del mar, presentando escasez de nevadas.
- **La naturaleza de la superficie de la tierra**, ya sea la composición de la tierra o su color, en función de si son superficies cultivadas, arboladas o superficies duras y artificiales influye en su calentamiento que, junto a las edificaciones, pueden generar microclimas como la isla de calor. En este caso el ENVITE se encuentra en un entorno industrial mientras que el LUCIA se ubica en un entorno ajardinado artificial (y con grandes demandas de riego).
- **Propiedades físicas de la atmósfera** son, como indica OGYAY (1998)¹⁹ los principales factores de un clima que afectan al confort térmico al aire libre son la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y la radiación solar, datos estudiados por los observatorios meteorológicos.

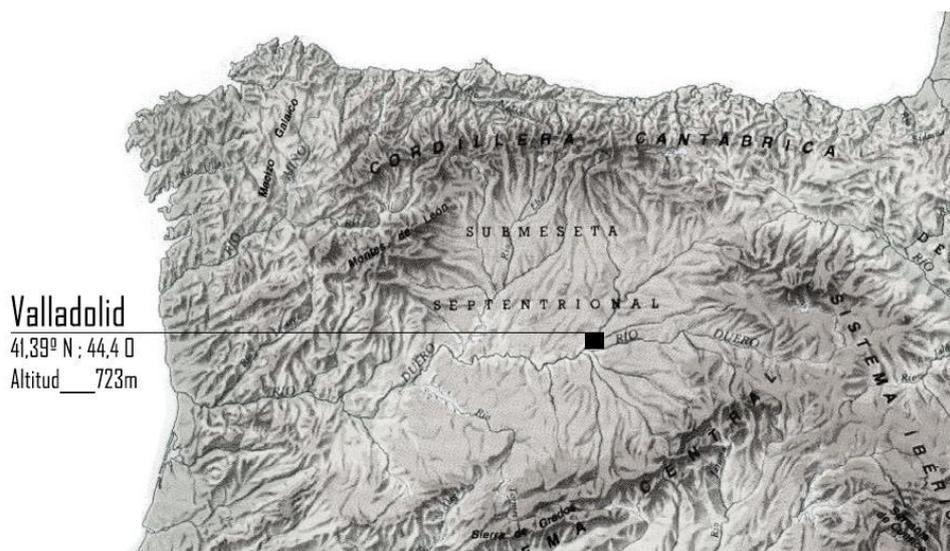


FIGURA 5. Mapa físico, cuadrante Noroeste Península Ibérica. Elaborado a partir de mapa físico extraído de: <http://www.zonu.com/>

¹⁹ OLGAYAY, VICTOR. *Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili, 1998

II.1.2. LOS ELEMENTOS DEL CLIMA

El observatorio de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) se sitúa en la zona de Parquesol, el punto más alto de la ciudad. La temperatura máxima registrada es 40.2 °C en julio del 1995 y la mínima de -11.5°C, en febrero de 1983.

Los datos son facilitados por los observatorios meteorológicos²⁰ que resultan útiles para el cálculo de la demanda son (YAÑEZ PARADERA, 2008)²¹:

- La temperatura seca, T (°C). Se ofrecen valores medios mensuales y anuales y temperaturas máximas y mínimas diarias.
- Humedad relativa, (%). Obtenida mediante un termómetro de bulbo húmedo y hacen referencia a la temperatura máxima, media y mínima.
- Movimiento del aire, que incluye la velocidad (m/s), la dirección y la frecuencia. Los resultados se disponen en rosas de los vientos.
- Radiación solar (W/m²), horas de sol (cuando la potencia supera un valor de 120 W/m²), nubosidad (fracción de la bóveda celeste cubierta, n/10).
- Precipitaciones, mediadas en mm por unidad de tiempo (días, meses, años).

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	4.2	8.2	0.2	40	83	6.3	3.0	0.0	10.4	15.9	3.5	101
Febrero	5.9	11.2	0.7	27	72	5.2	2.1	0.1	3.7	12.8	4.3	147
Marzo	9.0	15.2	2.8	22	62	4.8	0.8	0.2	1.6	6.7	6.0	215
Abril	10.7	16.9	4.6	46	62	7.8	0.8	1.4	0.9	2.3	3.9	232
Mayo	14.5	21.0	7.9	49	60	7.9	0.0	3.6	0.9	0.3	3.5	272
Junio	19.3	27.0	11.6	29	52	4.5	0.0	3.6	0.6	0.0	7.8	322
Julio	22.3	30.7	14.0	13	45	2.1	0.0	2.9	0.3	0.0	14.1	363
Agosto	22.1	30.1	14.1	16	48	2.3	0.0	2.6	0.2	0.0	11.8	334
Septiembre	18.5	25.6	11.3	31	56	4.3	0.0	1.8	0.9	0.0	7.5	254
Octubre	13.2	18.9	7.6	55	70	7.5	0.0	0.7	3.0	0.5	4.2	182
Noviembre	7.9	12.4	3.5	52	79	7.1	0.7	0.1	7.1	5.8	3.5	117
Diciembre	5.0	8.6	1.3	53	84	7.7	1.4	0.0	9.2	12.4	3.2	89
Año	12.7	18.8	6.6	433	64	67.7	-	17.5	39.8	56.2	72.8	2624

TABLA 4. Valores climatológicos Valladolid. Periodo 1981-2010. Fuente: <http://www.aemet.es/>.

T. Temperatura media mensual/ anual °C.

TM. Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias °C

Tm. Media mensual/ anual de las temperaturas máximas diurnas.

R. Precipitación mensual/ anual media (mm)

H. Humedad relativa media (%)

DR. Número medio mensual/ anual de días de precipitación superior a 1mm.

DN. Número medio mensual/ anual de días de nieve.

DT. Número medio mensual/ anual de días de tormenta.

DF. Número medio mensual/ anual de días de niebla.

DH. Número medio mensual/ anual de días de helada.

DD. Número medio mensual/ anual de días despejados.

I. Número medio mensual/ anual de días de sol.

²⁰ Los datos sobre el clima se pueden encontrar en la página web del AEMET: <http://www.aemet.es>

²¹ YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería. Pág. 189.

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) ha elaborado para el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) una guía técnica con las condiciones climáticas exteriores de proyecto. De esta forma se ofrece información sobre condiciones climáticas exteriores tales como:

- Temperatura seca y húmeda.
- Oscilación media diaria.
- Grados día de calefacción y refrigeración etc.

Estos datos, procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología, permiten el la estimación de la demanda y del consumo energético anual y mensual.

II.2. ENTORNO EN LOS EJEMPLOS A ESTUDIAR

II.2.1. EL MICROCLIMA Y LA ISLA DE CALOR

El observatorio climatológico de Valladolid, localizado en Parquesol, puede presentar datos diferentes a los reales del lugar concreto donde estamos trabajando. Esto es debido a los *microclimas urbanos* de tal forma que las condiciones son muy diferentes en Parquesol, en la Ribera del Esgueva, en un Polígono Industrial o en el entorno rural.

Los *microclimas urbanos* dependen de factores como el soleamiento, los vientos dominantes, las masas de agua cercanas y masas verdes, el relieve y la pavimentación. La acumulación de calor en el pavimento, asfaltos, edificios entre otros factores pueden generar que *“las temperaturas del aire dentro de la ciudad puedan alcanzar 5°C más que en la periferia.”* (YAÑEZ PARADERA, 2008)²².

Todo esto significa que la ciudad, en su conjunto, acaba siendo un factor más que modifica el clima de la localidad y que se podría añadir a los factores climáticos de los que nos habla Neila, expuestos anteriormente. La consecuencia directa es el *“islote o isla de calor urbana”*, que se genera en entornos pavimentados, secos, con conjuntos densos y compactos. Este término usado por primera vez en 1958 por Gordon Manley, (MORENO GARCÍA, 1999, pág. 29), definiendo este fenómeno como *“the urban heat island”*.

Las medidas pasan por el aumento de zonas verde permitiendo la evapotranspiración y los materiales empleados en los edificios que determinarán la emisividad de las edificaciones en función de su albedo²³ (% de luz reflejada). Podremos apreciar cómo aparecen algunos de estos conceptos en nuestros edificios, atendiendo a sus cualidades de forma más o menos marcada.

²² YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería. Pág. 189.

²³ **Albedo.** Se define como la relación de radiación reflejada por una superficie cualquiera con la radiación total que incide. Se expresa en porcentaje, siendo alto para colores claros y bajo para colores oscuros.

Los dos edificios a estudiar se encuentran en un mismo término municipal sin embargo, la situación específica de cada uno, las particularidades de cada promotor, las condiciones urbanísticas, el programa de usos y el emplazamiento singular han condicionado los proyectos.

Ambos están ubicados en zonas perimetrales de la ciudad, sin embargo, cada uno responde a una situación particular y con entornos opuestos. Por un lado El LUCIA, en un **entorno verde** y ajardinado, fuertemente condicionado por un Plan Especial. Por otro el ENVITE, condicionado por el PGOU en un **entorno industrial** y en una parcela singular, en curva y en esquina.

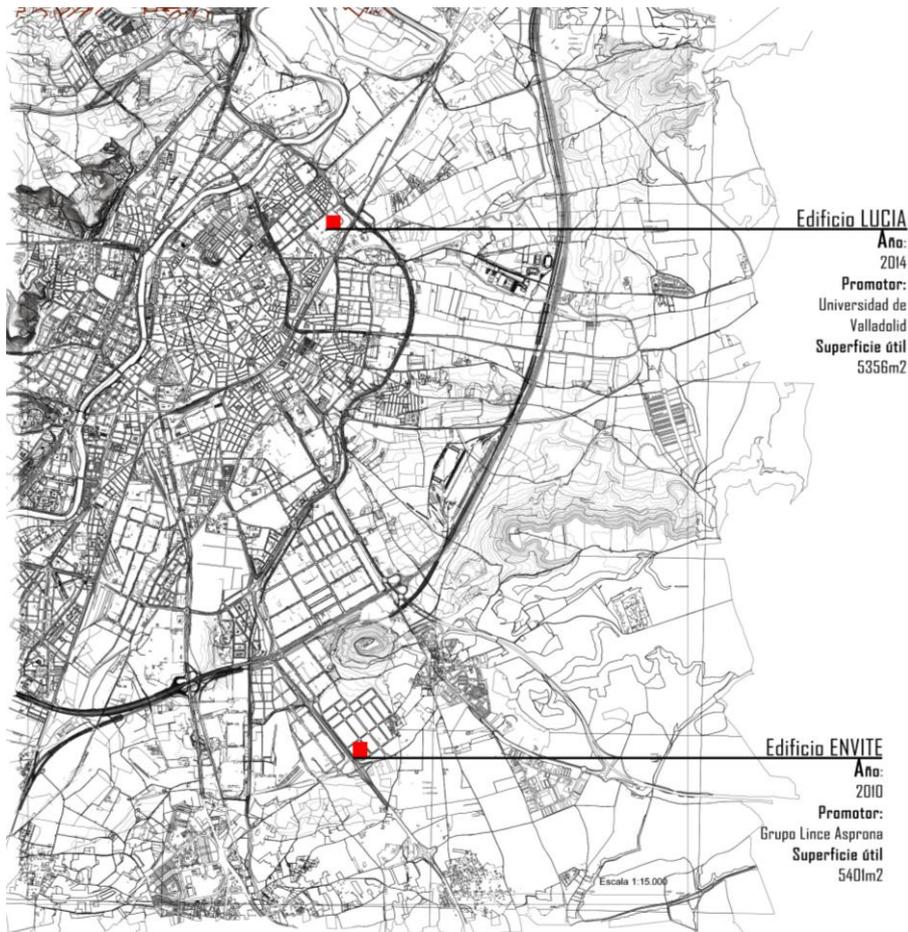


FIGURA 6. Valladolid. Plano de situación con los dos edificios a estudiar. Fuente: PGOU.

II.2.2. EDIFICIO ENVITE, UN ENTORNO INDUSTRIAL

INFORMACIÓN PREVIA

Este edificio se sitúa en el Polígono Industrial “El Carrascal” en Valladolid albergando los usos de industria, taller, almacén y oficina. Forma parte de un proyecto cooperativo científico-tecnológico denominado “ENVITE”, cuyo objetivo es *la Demostración de la Viabilidad Técnica y Económica del uso Eficiente de la Energía en la Edificación* (Memoria, 2010)²⁴. Para el desarrollo del Proyecto Científico se ha formado un consorcio de entidades constituido por:

- CIEMAT (*Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas a través de su Unidad de Investigación de Eficiencia Energética de la Edificación, UIE3*), ALIA (*Arquitectura, Energía y Medio Ambiente s.l.*)
 - GRUPO LINCE (*Centro Especial de Empleo*).
 - Fundación SOTAVENTO GALICIA.
 - COLLOSA (*Construcciones Llorente S.A.*).

En cuanto a la financiación, donde el promotor es el Grupo Lince²⁵, ha dispuesto de la ayuda económica del *Subprograma de Proyectos Singulares y Estratégicos*²⁶ (dentro del *Programa Nacional de Cooperación Público-Privada*).



FIGURA 8. Imagen aérea esquina del polígono industrial El Carrascal. Fuente: IBERPIX, (PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).



FIGURA 7. Frente de fachada Oeste edificio ENVITE. Imagen propia.

²⁴ ALIA, *Documentación de final de obra de edificio contenedor de industria, taller, almacén, oficina y comercio* (2010). Pág. 6.

²⁵ **Grupo Lince**, dependiente de Asprona, su objeto es la creación de empleo protegido permitiendo de esta forma satisfacer las necesidades educativas, asistenciales y laborales de personas con discapacidad intelectual.

²⁶ **Subprograma de apoyo a proyectos singulares estratégicos** (2008-2011). El objetivo general de esta convocatoria es *“favorecer la cooperación estable, en materia de I+D+i, entre las empresas y los organismos de investigación de naturaleza pública y privada, para la realización de proyectos que incrementen la capacidad científico-tecnológica de los grupos de investigación nacionales”*. Los fondos provienen del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, (FEDER).

Fuente: <http://www.idi.mineco.gob.es/>, Fecha de consulta: 25/08/2015

El uso global que define el PGOU para el polígono El Carrascal es industrial, y es repartido en los usos de taller, industria y almacén. De forma complementaria al uso global aparecen los usos compatibles de comercio y oficina. Según la normativa urbanística, el uso industrial debe ocupar al menos un 60% de la edificabilidad materializada mientras que las oficinas no pueden superar un 25% del total. La edificabilidad máxima es el 70% de la superficie de la parcela, siendo un total de 5.030,90 m².

Dentro de la diversidad de usos, el acondicionamiento bioclimático se centra en el cuerpo de Oficinas, disminuyendo considerablemente la superficie respecto a la total. Esto es uno de los motivos por los cuales la comparación del coste de los edificios de forma general no nos es útil puesto que, mientras que en el caso ENVITE gran parte de la superficie (la industrial) no está acondicionada bioclimáticamente, el LUCIA presenta casi todos sus metros cuadrados dentro de la envolvente bioclimática.

PLANTA	DESCRIPCIÓN	M ²	SUPERFICIE ÚTIL
TALLER	- Taller formativo, vestuarios norte.	708,6	
	- Sala Taller.	1254,24	1962,84 m ²
ALMACÉN	-Almacén en Planta Baja.	901,67	901,67 m ²
OFICINAS	-Comunicación (P.B.)	16,30	
	-Oficinas (P.1ª)	1084,92	
	-Servidor (P.1ª)	7,8	1109,02 m ²
COMERCIO	-Sala de Comercio en Planta Baja.	452,62	452,62 m ²
E. EXTERIORES	-Soportal ajardinado en Planta Baja.	904,42	
	-Atrio Bioclimático en Planta Baja.	397,76	397,76 m ²
OTROS USOS	-Accesos, Recepción, vestíbulos varios...	1135,12	582,50 m ²
total			5406,41 m²

TABLA 5. Tabla con las superficies útiles del edificio ENVITE. Elaboración propia. Fuente: ENVITE, Documentación de final de obra de edificio contenedor de industria, taller, almacén, oficina y comercio, (2010).

EMPLAZAMIENTO

El entorno está determinado por la ortogonalidad y regularidad característica de una trama industrial. La particularidad de la localidad concreta de la parcela, en una esquina y curvada en uno de sus laterales, hace que adquiera un carácter de cierre dentro de la ampliación del Polígono Industrial de San Cristóbal. El edificio cumple con las normas particulares del polígono "El Carrascal", común a los tipos industriales.

EL PROYECTO

El proyecto crea dos geometrías que se maclan en un patio interior o atrio bioclimático, con una cubrición ligera que adquiere un papel relevante en el funcionamiento higrotérmico del conjunto. La geometría más libre y orgánica, que pertenece a las oficinas, contrasta con la volumetría prismática de los talleres. Aunque se emplean materiales y formas diferentes para cada uso, las oficinas junto al resto de usos se consideran integradas dentro de un todo. La situación en esquina permite el tratamiento de una trasera ortogonal, en base a la geometría del polígono, y un cuerpo frontal curvo que, además, se orienta al sur y que cubre un ángulo de 90°.

En cuanto al tratamiento del espacio urbano la forma curva del volumen de las oficinas genera un cierre para la trama industrial donde se localiza, puesto que la parcela concreta se encuentra en esquina, además de permitir un mejor aprovechamiento solar.

II.2.3. EDIFICIO LUCIA, un entorno verde

INFORMACIÓN PREVIA

La Universidad de Valladolid construye un edificio de investigación aplicada en el Campus universitario Miguel Delibes. Con varios usos simultáneos que permita una flexibilidad en su distribución y ofertas de espacios para spin-off, el edificio se concibe partiendo de base un diseño bioclimático. Es financiado por el **Programa de Infraestructuras de Investigación y Desarrollo Tecnológico para las Universidades Públicas de Castilla y León**²⁷, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)²⁸. El edificio contiene tres centros científicos y módulos de trabajo:

- Unidad de *Investigación en Nutrición, alimentación y dietética*.
- Unidad de *Estudios genéticos y prevención neonatal de las metabolopatías*.
- Centro de *Desarrollo de la sociedad digital del conocimiento*.
- *Módulos de trabajo asociados*.



FIGURA 10. Imagen aérea esquina del polígono industrial El Carrascal. Fuente: IBERPIX, (PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).



FIGURA 9. Fachada Sur-Oeste del edificio LUCIA. Imagen propia.

²⁷ **Programa de Infraestructuras de Investigación y Desarrollo Tecnológico para las Universidades Públicas de Castilla y León (2007- 2013)**, su objetivo es el desarrollo de la economía del conocimiento y la promoción de las infraestructuras de I+DT. Los fondos son europeos (FEDER). Fuente: <http://www.comunicacion.jcyl.es/>.

²⁸ Reglamento (CE) nº1080/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de julio de 2006, relativo al **Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)**, se establecen y definen las tareas y el grado de intervención del FEDER. El ámbito de aplicación de la intervención del FEDER lo constituye el contexto de los objetivos de «Convergencia», «Competitividad regional y empleo».

PLANTA	DESCRIPCIÓN	M ²	SUPERFICIE ÚTIL
P. SÓTANO	- Almacén de residuos, almacén, instalaciones, depósito de biomasa...	1120,63	1225,81 m ²
	- Circulaciones.	105,18	
P. BAJA	-Espacios de trabajo (laboratorios, despachos), zonas comunes de trabajo...	947,90	1696,02 m ²
	-Espacios complementarios (conserjería, almacén, aseos, vestíbulo...)	181,42	
	-Circulaciones.	566,70	
P. PRIMERA	-Espacios de trabajo (despachos, laboratorios, secretarías...)	1.060,40	1818,96 m ²
	-Espacios complementarios (almacén, aseos, vestuarios, congeladores...)	1315,93	
	-Circulaciones.	503,03	
P. SEGUNDA	-Espacios de trabajo (despachos, laboratorios, secretarías...)	1030,85	1806,29 m ²
	-Espacios complementarios (almacén, aseos, vestuarios, congeladores...)	1286,38	
	-Circulaciones.	519,91	
E.	-Sótano (carril, aparcamientos, accesos...)	3148,40	-
EXTERIORES	-Nivel planta (claustro, acceso, conexiones, talud vegetal norte y sur...)	1182,23	
total			6547,08 m²

TABLA 6. Tabla con las superficies útiles del edificio LUCIA. Elaboración propia. Fuente: Lucía, memoria descriptiva.

El edificio dispone de 5321,27 m² repartidos entre las plantas baja, primera y segunda que se encuentran dentro de la *envolverte térmica* del edificio. Posteriormente compararemos este dato con el del ENVITE, para ver hasta qué punto son comparables estos dos ejemplos.

EMPLAZAMIENTO Y ENTORNO

Como se ha indicado, el lugar donde se ubica la edificación es una parcela de suelo urbano consolidado según el P.G.O.U. de Valladolid situado en el Campus Universitario "Miguel Delibes", en consecuencia afectada por el Plan Especial de la "Finca de los Ingleses"²⁹. Este plan especial ha condicionado de forma significativa la resolución formal del proyecto debido a sus restricciones y a su normativa, donde encontramos:

- Altura máxima 14m (proyecto 13,95m).
- Artículo 5º, Volumen de movimiento de la edificación.
- Planos verticales exteriores como máximo en las líneas del volumen edificable máximo.
- Artículo 8º, Edificabilidad, 2,48 m²/m².
- Artículo 9º. Superficie ocupable en planta baja (dentro del volumen de control) 70%.
- Artículo 11º. Alineación obligatoria al límite del campo interior.
- Artículo 12º preservar las galerías continuas.
- Otros, como altura interior mínima (3,50m), la separación máxima entre soportes, los usos permitidos (Art. 13º) y las condiciones específicas (Art.14º).

²⁹ El 05-03-2002 se aprueban las ordenanzas específicas del Plan Especial de la "Finca de los Ingleses" para el campus universitario.

El **entorno** es un conjunto ajardinado que se divide en dos zonas: una plaza longitudinal que organiza los edificios y un parque. Sin embargo, es un jardín de lo menos sostenible debido al gasto de riego que necesita para su cuidado. Estas superficies de césped natural en climas con precipitaciones poco abundantes hace el consumo de agua para el riego sea muy importante. Según la página JARDINOSFERA³⁰, para un clima mediterráneo continental con precipitaciones inferiores a los 700mm (distribuido entre primavera y otoño principalmente) y con veranos muy calurosos, para el mes de julio la media de agua diaria para césped sería de 7 l/m² frente a los 1,8 l/m² de las plantas autóctonas.

El **solar en cuestión** tiene una forma cuadrada con una orientación N.O.-S.E, ortogonal en sus bordes y con una suave pendiente. El edificio ocupa el área de movimiento asignada a su posible edificación en un rectángulo en planta de 75m de fondo y situado a 20 metros del edificio colindante del IOBA.

En cuanto al tratamiento de su parcela las superficies buscaran un tratamiento que minimice la isla de calor con vegetación de tal forma que se reduzca el efecto de *isla de calor*. La cubierta dispondrá de superficies con un albedo alto y con vegetación.

EL PROYECTO

El edificio se puede inscribir en un paralelepípedo de base rectangular de 30x75metros donde, las fachadas largas orientadas en las orientaciones Sur-Este y Norte-Este, reorientan sus huecos en forma de dientes de sierra. Estos huecos ahora toman las orientaciones de Este y Sur en un 89% de su superficie generando ganancias térmicas en periodos invernales y auto-sombreado en verano (reduciendo cargas de refrigeración). El diseño planteado supone un 24% de reducción de cargas de refrigeración en verano.³¹

Entre sus objetivos se encuentra la *optimización de la eficiencia energética*, donde encontramos medidas pasivas (ventilación, iluminación natural, envolvente del edificio...) y otras como los sistemas mecánicos, biomasa y placas solares. Según la Memoria descriptiva (Julio 2011)³² se busca alcanzar un rendimiento superior al 48% mejor que el Estandar ASHRAE 90.1-2007³³, además de cumplir con la normativa del CTE DB-HE y el RITE.

³⁰ <http://www.jardinosfera.com>, fecha de consulta 25/08/2015, a pesar de no tratarse de una página relacionada directamente con la arquitectura sostenible, en mi opinión, hace un análisis con mucha precisión de los consumos de agua para varios tipos de plantaciones en diferentes climas en España.

³¹ Fuente: edificio-lucia.blogspot.com

³² *Memoria descriptiva Edificio para lanzadera universitaria de centros de investigación aplicada-LUCIA*-pag. 26.

³³ www.ashrae.org, ASHRAE. Fecha de consulta,

III. EDIFICIO ENVITE, solución con cerramiento ligero

III.1. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROYECTO

ORIENTACIÓN

El bloque representativo, correspondiente al frente de oficinas, se orienta al Sur al igual que la cubierta de los talleres. Su diseño busca las ganancias solares en invierno y sombreadamiento en verano. Por otro lado en las partes Noreste y Noroeste el edificio dispone pocos huecos, quedando protegidos de esta orientación.

Como indica Neila González (2004)³⁴, el diseño para las condiciones de verano es más difícil que el que se plantea para las condiciones de invierno, puesto que no existen fuentes naturales de refrigeración, al contrario que ocurre con las de calefacción, como es el sol. En el caso del ENVITE se observa cómo el cerramiento incorpora unos mecanismos que, de forma monitorizada, permiten su entrada en funcionamiento independiente en situaciones de verano e invierno. Estos son los *lucernaires* y los *captadores solares que*, integrados en la envolvente, se adaptan a las dos situaciones comentadas.



FIGURA 13. *Lucernaire y captador solar integrados en la fachada. Explicación de funcionamiento en invierno y en verano. Imagen propia tomada el 24 de julio a las 13:00.*

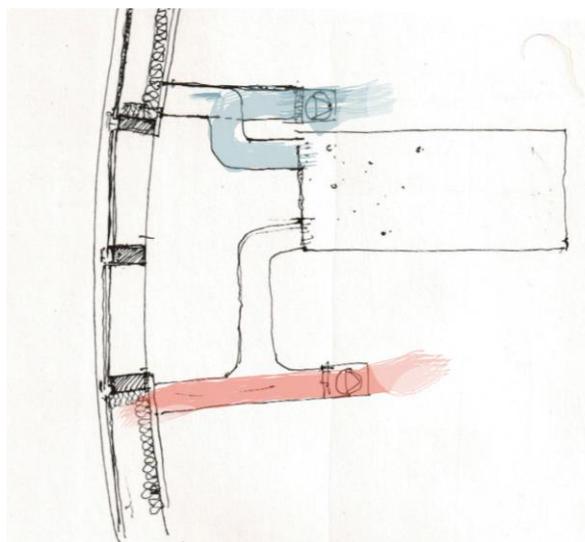


FIGURA 12. *Funcionamiento en verano (azul) y en invierno (rojo). Imagen propia.*

³⁴ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería. En verano la estrategia consiste evitar el sobrecalentamiento interior, para ello la principal estrategia consiste en introducir frescor mediante ventilación.

FUNCIONAMIENTO EN INVIERNO

La solución con un **gran aislamiento térmico**, incorporado en la solución constructiva del cerramiento, reducen las necesidades térmicas en la temporada de calefacción. La baja transmitancia térmica sumado a la solución de los puentes térmicos permite reducir la demanda de energía en invierno.

La **cubierta ajardinada**, dispone de un gran aislamiento térmico al igual que la fachada. Las especies plantadas están dispuestas en un fitocalendario (calendario vegetal), de tal forma que durante todo el año habrá vegetación.

Los **sistemas de captación solar** (FIGURA 13), integrados en la fachada sur, alimentan el sistema de renovación de aire en invierno beneficiándose del aire precalentado de la fachada sur.

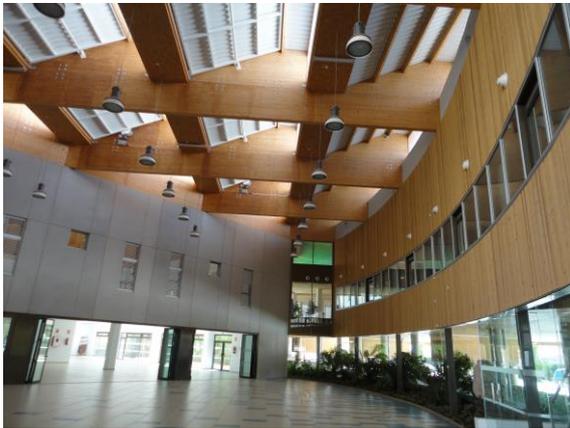


FIGURA 15. Interior del atrio bioclimático. Imagen propia tomada a las 13:00 del 20 de julio.

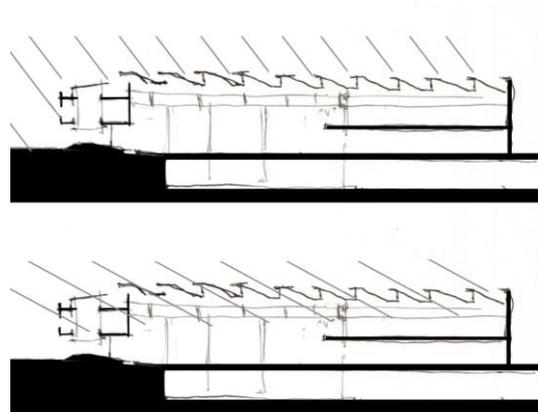


FIGURA 14. Radiación solar en verano y en invierno. Elaboración propia.

FUNCIONAMIENTO EN VERANO

En la **fachada sur** se realizan aperturas acristaladas protegidas con parasoles de lamas fijas (FIGURA 16) diseñadas para que, en las épocas con un ángulo de incidencia mayor sobre la horizontal entre el 21 de marzo y el 21 de septiembre, la sombra sea adecuada.

Los **sistemas de captación solar** integrados en la fachada sur, cuando nos encontramos en situación de verano, dejan de funcionar permitiendo que el aire que calienta vuelva al medio mediante unas rejillas y de forma automatizada.

Los **“Lucernaires”**, en el caso de verano, no solo funcionan como patios de iluminación sino de ventilación. El aire es enfriado adiabáticamente en el espacio vegetal sombreado y húmedo bajo las oficinas, en planta baja. Este apoya, al igual que el sistema de captación solar en invierno, el aparato de climatización en verano. Para el control de la luminosidad se instalan los sistemas pertinentes.

La **vegetación** en cubierta para verano permitirá la evaporación de agua disminuyendo significativamente la progresión de calor y protegiendo los interiores del sobrecalentamiento. Las especies plantadas son aromáticas autóctonas con usos medicinales y gastronómicos (tomillo, romero, lavanda y jara) con baja demanda de riego. El jardín de planta baja, con especies rasteiras tapizantes, incluye un riego mediante goteo que contribuye a descender la temperatura del aire en ese ambiente.

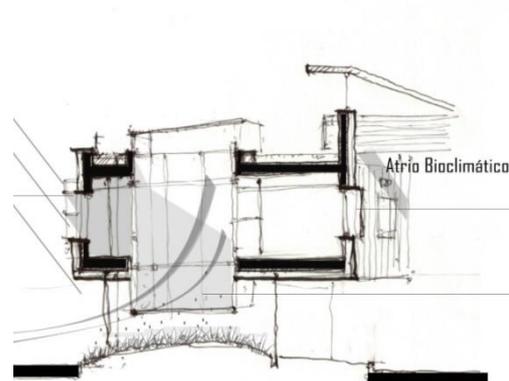


FIGURA 16. Funcionamiento de los lucernaires en situación de verano. Elaboración propia.

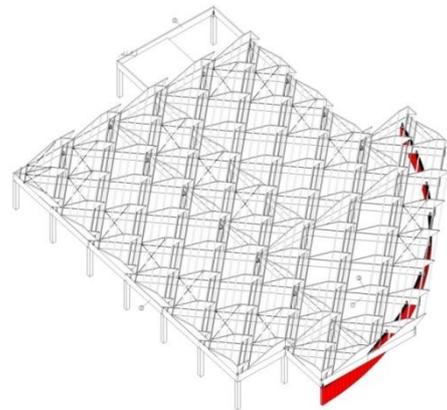


FIGURA 17. Cubierta jardín y rejillas de ventilación de atrio bioclimático. Imagen propia. Derecha, Esquema de estructura de la nave industrial, fuente: Documentación gráfica del proyecto.

III.2. LA SIMULACIÓN

III.2.1. EL PROGRAMA INFORMÁTICO USADO Y SUS CARACTERÍSTICAS

La simulación ha sido efectuada con el CALENER-GT, versión 3.21 el 12 de agosto de 2014. De los resultados del informe de calificación se pueden extraer, entre otras cosas:

- Resumen de indicadores energéticos anuales del edificio objeto y del edificio referencia³⁵.
- Etiqueta y valores totales, donde aparecerán los kg CO₂/año emitidos, entre otras cosas.
- Los elementos constructivos y la composición de los cerramientos con su correspondiente transmitancia térmica (W/(m²K)), peso (Kg/m²) y color. En el caso de los cerramientos transparentes se indicará su factor solar y su transmitancia térmica (W/ (m²K)).
- Las dimensiones (m²), la orientación y la composición de cada cerramiento, atendiendo a los elementos constructivos del anterior punto y sus características. Se desglosa entre cerramientos, cerramientos en contacto con el terreno y ventanas.
- Los espacios acondicionados, con sus dimensiones y conexiones. Además se incluyen las características ocupacionales y funcionales de cada espacio.

En los siguientes puntos se incluyen los sistemas de instalaciones, que no son objeto de estudio en este trabajo. Se detallan los sistemas de energía primaria, como las bombas de circulación, circuitos hidráulicos, calderas, generadores de ACS, sistemas de condensación, equipos de cogeneración, y subsistemas secundarios como fancoils.

El informe resultado de la Certificación Energética nos aporta los datos de cálculo de los cerramientos de forma codificada. De esta forma podremos saber las características de los elementos constructivos.

CALIFICACIÓN DEL EDIFICIO

En el Informe de calificación aparece una tabla donde aparece la demanda y las emisiones de CO₂ totales en kg CO₂/m². En nuestro caso el indicador energético anual de nuestro edificio con respecto al edificio referencia es el siguiente:

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW-h/m ²)	99.3	88.5	1.12	D
Demanda Refri. (kW-h/m ²)	67.1	62.2	1.08	D
Energía Primaria (kW-h/m ²)	71.2	114.0	0.62	B
Emissiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	8.1	16.7	0.48	B
Emissiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	3.2	0.00	A
Emissiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	2.2	9.4	0.23	A
Emissiones Tot. (kg CO₂/m²)	10.2	29.3	0.35	A

FIGURA 18. Indicador Energético del edificio, extraído del informe de calificación, resultado de la simulación del proyecto en el CALENER-GT.

³⁵ En el apartado de normativa se explica cómo es el funcionamiento de estos programas de simulación. Estos trabajan con la comparación del edificio-proyecto a evaluar y un edificio-referencia que cumple con el CTE.

La demanda de calefacción y de refrigeración (FIGURA 13), para este caso, son inferiores para el edificio de referencia. Este dato genera una incógnita, puesto que lo lógico es que el edificio objeto de proyecto reduzca las demandas con respecto al de referencia, que cumple estrictamente con el CTE.

Para resolver esto en primer lugar veremos los espacios que han computado en el cálculo. En el CALENER es necesario definir los espacios con sus dimensiones y las características ocupacionales y funcionales, que vendrán dispuestas en diferentes tablas en el punto 7 titulado “Espacios”. Se ha elaborado una tabla sintetizando estos datos:

Nombre	Área m ²	Altura m	Ocupación m ² /per.	Iluminación W/m ²	VEEI W/m ² ·100lux
P01_E01_Caja entrada	60,00	3,50	10,00	4,40	7,00
P01_E02_Nave	1.350,00	3,50	10,00	4,40	7,00
P01_E03_Atrio	421,88	3,50	10,00	4,40	7,00
P01_E04_aseos	136,50	3,50	10,00	4,40	7,00
P01_E05_Auditorio	252,00	3,50	2,50	4,40	7,00
P02_E01_Oficinas	973,41	3,50	10,00	4,40	7,00
P02_E05_Aseos	136,50	3,50	10,00	4,40	7,00
P03_E01_caja	21,00	3,50	10,00	4,40	7,00
P03_E04_Aula	252,00	3,50	2,50	4,40	7,00

TABLA 7. Espacios con dimensiones y características. Elaboración propia a partir de las tablas del punto 7 del Informe de Eficiencia del edificio ENVITE, datos introducidos por el calculista para el CALENER-GT.

Como podemos apreciar en la TABLA 7, en el espacio P01_E01_Nave aparecen 1.350.00m² correspondientes al edificio de industria anexo. Este espacio, que no tiene las mismas condiciones que las oficinas, computa por igual en el cálculo, aumentando así los resultados de la demanda energética, que acaban siendo irreales.

Esta hipótesis es corroborada posteriormente por el arquitecto. Además, el programa no permite incluir en el cálculo los beneficios que pueden aportar todas las medidas de diseño bioclimático planteadas.

El resultado obtenido tiene como objeto una calificación energética, que en este caso es la A. Sin embargo, como se ha podido comprobar, no deja de ser un número alejado de la realidad. En la parte inferior del resultado de la Calificación energética (Tabla 2) aparece una nota que nos dice que el consumo real de energía depende de “...la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio...” Esto es sinónimo de inexactitud en el resultado. La única forma de comprobar si realmente el edificio obtiene los resultados esperados es el de la monitorización durante el funcionamiento del edificio.

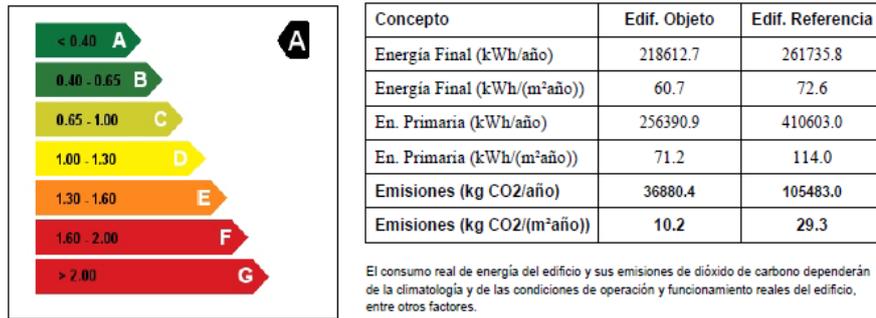


FIGURA 19. Etiqueta de eficiencia energética generada por el programa CALENER GT.

III.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO, LA ENVOLVENTE

Una vez visto cómo influye la envolvente en los aspectos referentes al cálculo, estudiaremos las soluciones constructivas que han llevado a estos edificios a conseguir las demandas energéticas mostradas.

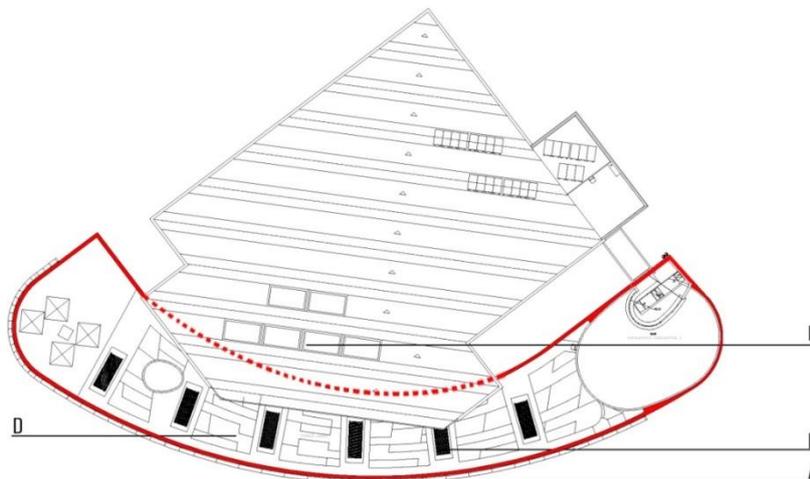


FIGURA 20. Planta de cubiertas con los diferentes sistemas de envolvente a estudiar marcados. Fuente: documentación del proyecto.

El estudio de la envolvente se centrará en los siguientes puntos del edificio:

- A. El sistema de cerramiento que envuelve el bloque de oficinas, con especial atención a la fachada sur donde aparecen los captadores solares.
- B. Los “lucernaires” que conectan el jardín en planta baja y la cubierta.
- C. La cubierta del atrio bioclimático, y el cerramiento de las oficinas ante este espacio semiabierto y mecanizado en su apertura.
- D. La cubierta jardín con especies autóctonas.

III.3.1. SISTEMA DE FACHADA TRASVENTILADA EN EL BLOQUE DE OFICINAS

El sistema que emplea el ENVITE para la fachada es una trasventilada de tipo ligero, la cual se puede incluir dentro de una clasificación muy amplia de **fachadas ventiladas**³⁶. Su funcionamiento, como indica Alberto Ballarín Iribarren (2007)³⁷, consiste en la especialización en múltiples capas, en contraste con cerramiento tradicional que queda “...constituido por un único material autoportante que proporciona todas las funciones”.

Se puede considerar un tipo de cerramiento, de forma general, con bondades en relación a la eficiencia energética debido a sus características:

- La hoja exterior constituye, además de la imagen final del edificio, una barrera resistente al soleamiento por lo que deberá soportar los cambios de temperatura, además de golpes e impactos. Esta hoja quedará anclada a una subestructura.
- La cámara de aire, lo divide verticalmente y mejora su aislamiento térmico y su estanqueidad. La principal ventaja será la disipación de calor debido a su ventilación, pudiendo ser muy ventilada o ventilada. Además el aire se disipará por el efecto chimenea, lo que impide la transmisión de calor a las siguientes capas.
- Consecutivo la cámara de aire, aparece un material de aislamiento térmico al cual se le confiere unas propiedades específicas de impermeabilidad y permeabilidad al vapor.
- En la cara interior aparece la *barrera resistente*, como la define A. B. Iribarren. Esta se sitúa en el lado caliente del aislamiento y es el encargado de proporcionar inercia térmica.

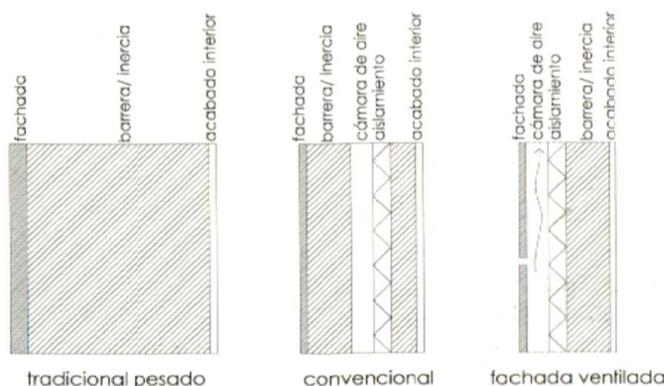


FIGURA 21. Evolución del cerramiento según Alberto Ballarín Iribarren.

³⁶ **Fachada Ventilada**, su origen reside en el Cavity Wall, solución anglosajona donde se dispone una hoja interior portante y una hoja exterior no portante de fábrica de ladrillo. En su aplicación moderna podemos encontrar múltiples tipologías y clasificaciones, como la fachada trasventilada, la doble piel, el carenado, fachadas de vidrio, opacas... Fuente: MONJO CARRIÓ, J. (2007).. *Tratado de construcción-Fachadas y cubiertas (II)*. Madrid: Munilla-Lería. Pág. 221.

³⁷ MONJO CARRIÓ, J. (2007). *Tratado de construcción-Fachadas y cubiertas (II)*. Madrid: Munilla-Lería. Pág. 225.

FACHADA VENTILADA LIGERA

Como se ha explicado, el cerramiento vertical de este bloque, curvo y orientado al sur, se soluciona con una **fachada trasventilada** (el material de fachada se ventila por su cara interior), permitiendo la evacuación del calor de la radiación solar que incide sobre esta superficie. Para nuestro caso estudiaremos los sistemas que la componen de forma individual para ver sus particularidades.



FIGURA 22. Subestructura de madera vista debido a mantenimiento, situado en el espacio perimetral al auditorio en cubierta. Imagen propia tomada durante la visita al edificio.

- La **subestructura** de la fachada se constituye por montantes y travesaños³⁸ de madera que, configurando pórticos modulados, van cambiando según el plano de la fachada. La forma curva obliga a generar diferentes pórticos, compuestos por estos montantes y travesaños, que se anclan al canto del forjado mediante placas metálicas en L y tornillos tipo HECO de 100mm.

El anclaje entre los diferentes módulos se efectuará mediante 4 tornillos de cabeza redonda M10x90.

- El **revestimiento** de la fachada se ejecuta con tabla de madera de teka³⁹ de 2cm de espesor, con despiece vertical y junta abierta. Se fija a los rastreles horizontales de listón de madera, clavados cada 50cm a los montantes de la subestructura.

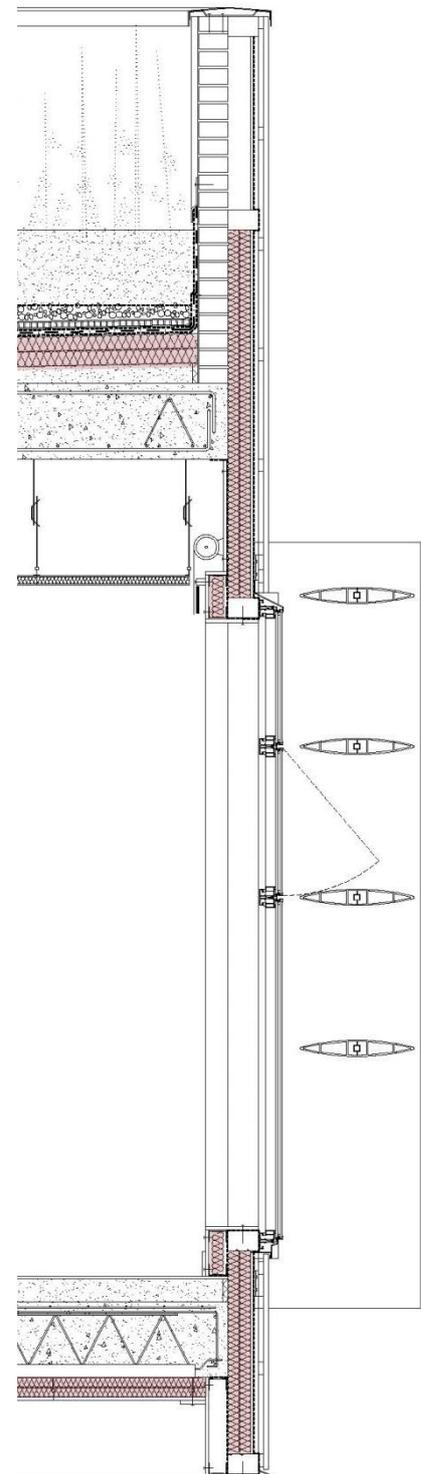


FIGURA 23. Sección constructiva del proyecto. Escala 1:30. Fuente: documentación del proyecto.

³⁹ **Madera de teka**, tiene una densidad entre 650 y 750 Kg/m³ al 12% de humedad. Se caracteriza por su alta resistencia y durabilidad.

- El **aislamiento térmico**, de lana de roca de doble densidad queda embebido en la subestructura. Para la retención del aislamiento se dispone de paneles de madera OSB y junquillos de madera. En la cara exterior se dispone una lámina impermeable-transpirable tipo “Tyvek”⁴⁰. Esta se grapa a la subestructura, con los solapes en el sentido de la caída del agua, garantizando la estanqueidad del cerramiento. Es importante, como se puede apreciar en la TABLA 8, que sea transpirable al vapor de agua porque de no serlo estaríamos creando una barrera de vapor en la cara fría del aislamiento térmico.

d. capa superior rígida	d. capa inferior flexible	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Reacción al fuego	Transmisión de vapor de agua
100 Kg/m ³	40 Kg/m ³	0,034 W/(m·K)	2,6 m ² ·K/W	A1	μ = 1,3

TABLA 8. Características de un panel de lana de roca de doble densidad de 90mm. Elaboración propia. Fuente: Rockwool.

- En cuanto al **aislamiento acústico** (aunque la lana de roca de doble densidad ya presenta un gran aislamiento acústico), se introduce un trasdosado de doble placa de cartón yeso de 13 mm con perfiles galvanizados de 70 mm en U y se aísla con 4 cm de lana mineral $R_w^{41} = 51$ dB.

Neila Gonzalez (2004)⁴² nos advierte de la posible confusión entre aislamiento y acondicionamiento acústico donde se *“asignan propiedades aislantes a materiales con poca densidad, omo son los materiales aislantes térmicos, cuya densidad está por debajo de los 100 kg/m³”*.

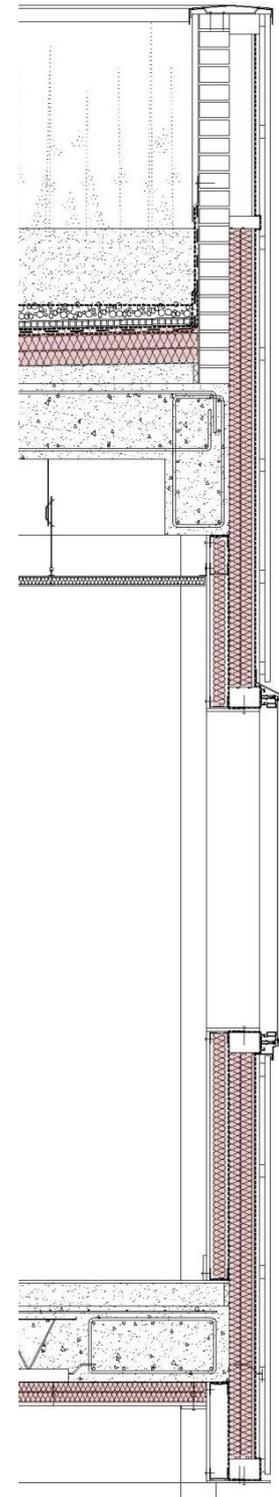


FIGURA 24. Sección constructiva del proyecto. Fachada Norte. Escala 1:30. Fuente: documentación del proyecto

⁴⁰ Láminas tipo Tyvek, impermeables y transpirables, son permeables al vapor pero a su vez herméticas. Están formadas por una capa de polietileno de alta densidad, cuyas microfibras no tejidas se comportan de forma impermeable al agua, pero no al vapor.
Fuente: Folletos Du Pont™ Tyvek-Construction España.

⁴¹ $R_A = R_w + C$; Relación entre el índice global de reducción acústica de un elemento, ponderado A, y el índice global de reducción acústica.

⁴² NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería, pag. 210.

La solución de fachada ligera planteada no es una solución recogida dentro del Código Técnico de la Edificación⁴³, esto supone un esfuerzo a mayores para el proyectista, que debe plantear y justificar su funcionamiento. La subestructura de la fachada ventilada debe adaptarse a la geometría del bloque de oficinas, apareciendo varios puntos singulares que resolver. Por otra parte, la decisión de ventilar por la parte interior de la tabla de madera me parece de lo más pertinente, no solo desde el punto de vista de la evacuación del calor, también desde el punto de vista de la durabilidad de la madera.



FIGURA 26. Huecos de la fachada principal con la rejilla automática de ventilación. Imagen propia.



FIGURA 28. Interior del bloque de oficinas con el atrio bioclimático a la izquierda. Imagen propia.

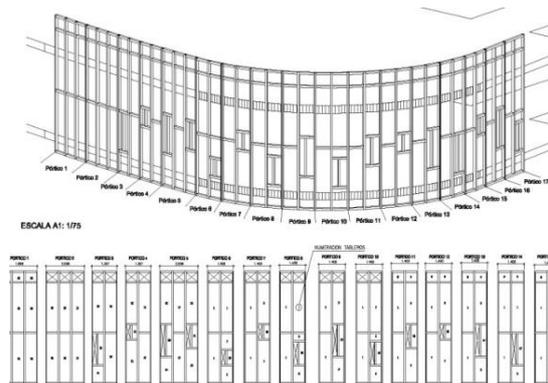


FIGURA 25. Despiece de la subestructura en pórticos. Fuente: Documentación del proyecto.

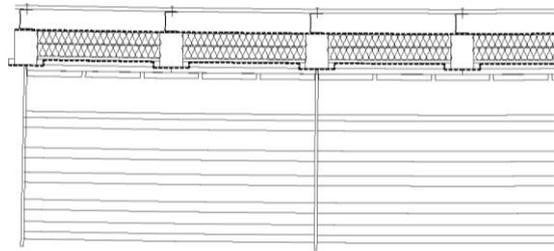


FIGURA 27. Sección tipo del muro con los parasoles. Documentación del proyecto.

Para este trabajo se ha elaborado el cálculo de las transmitancias del cerramiento exterior. Como indica el DA DB-HE1 (Punto 2.1.1. Cerramientos en contacto con el aire exterior), para 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”. Este es nuestro caso, por lo cual se considera que ni la madera de cerramiento ni la cámara de aire aíslan.

⁴³ El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, concebido como ayuda para cumplir las exigencias de los requisitos de Habitabilidad (salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía) no contempla este tipo de fachadas ligeras.

La transmitancia para esta fachada trasventilada es de $0,245 \text{ W/m}^2\text{K}$ (TABLA 9) sobrepasando el CTE DB HE, que establece una máxima de $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$, y disminuyendo un 62,88% el valor límite.

Elemento constructivo	e (m)	λ (W/mK)	$R = e/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)	$U = 1/R$ ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Revest. Madera	-	-	-	
Cámara de aire muy ventilada	-	-	-	
Lam. impermeable	-	-	-	
Lana roca d. densidad	0,090	0,034	2,647	
Panel OSB	0,020	0,13	0,154	
Lana mineral	0,040	0,038	1,053	
Placa cartón yeso	0,015	0,250	0,060	
Rsi	-	-	0,130	
Rse	-	-	0,040	
			4,084 $\text{m}^2\text{K/W}$	0,245 (W/ m^2K)

TABLA 9. Tabla con la transmitancia térmica del muro del ENVITE. Elaboración propia.

LOS HUECOS ACRISTALADOS

Según el proyecto se forman mediante un **muro cortina** anclado a la subestructura de madera del cerramiento. De igual forma que el resto del cerramiento, debe proteger del ambiente exterior atendiendo a la estanqueidad, el aislamiento térmico o el aislamiento acústico.

- El **acristalamiento** es doble y de baja emisividad⁴⁴ (5/10/3+3)⁴⁵. Según el Catálogo de Elementos Constructivos (2010) en el punto 3.15.1 *Vidrios*, tiene una transmitancia de $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Comparando con la normativa CTE DB HE-1 donde especifica para una orientación Sur un máximo de $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ en vidrios (TABLA 2), reduciendo en un 25% la transmitancia. Por otra parte, es necesario explicar brevemente en qué consisten los vidrios de baja emisividad y cuál es su función.

Según el artículo *-Los vidrios de baja emisividad-* de Olivares Santiago y Escribano Olmo (1994)⁴⁶, en un vidrio normal, la energía solar que incide es absorbida por las paredes y objetos interiores, haciendo que estos se calienten y emitan radiaciones con longitud de onda superiores a $5 \mu\text{m}$. El vidrio no permite el paso de estas radiaciones (**efecto invernadero**),

⁴⁴ **Vidrio de baja emisividad**, lunas de vidrio donde una de sus caras ha sido tratada con precipitaciones de sales, óxidos metálicos y metales nobles, consiguiendo una emisividad inferior pero manteniendo una elevada transmisión luminosa.

⁴⁵ El símbolo “+” indica que los vidrios están separados por un butiral de 0,38mm. Fuente, Catálogo de elementos Constructivos del CTE, (2010).

⁴⁶ OLIVARES SANTIAGO, M. & ESCRIBANO OLMO, R. (1994). Los vidrios de baja emisividad. *Materiales de construcción*, Vol 44, nº 236. Pág. 44.

comportándose como si fuese opaco, es decir, absorbente. Esto se traduce en un calentamiento del vidrio, que lo emitirá al ambiente más frío (en invierno al exterior y en verano al interior), lo cual es justo lo inverso a lo más conveniente. Un *vidrio de baja emisividad* busca minimizar estas pérdidas en invierno, reduciendo el intercambio de calor entre el interior y el exterior en un 40%.

- Para garantizar la **estanqueidad al agua**, la lámina impermeable transpirable de tipo Tivek se pliega, envolviendo la subestructura en los travesaños donde se ancla el muro cortina. De esta forma se refuerzan, de cara a la estanqueidad, las juntas entre el soporte y la carpintería. El remate perimetral es de chapa lisa de aluminio, doblada y con acabado anodizado “inoxidable mate”.
- El **aislamiento acústico**, mediante el doble acristalamiento se proporciona el suficiente aislamiento acústico. Usando vidrios de diferente espesor, colocando el más grueso al exterior evitando así la resonancia de ambos vidrios debido a la vibración del primero.
- **Estanqueidad al aire** es necesaria a la hora de evitar condensaciones. Para determinarla se usa el concepto de *permeabilidad al aire*, expresado en $m^3/h \cdot m^2$ en función de la diferencia de presiones del aire.

En un edificio de estas características, el control sobre las renovaciones de aire debe ser estrictamente controlado, especialmente las efectuadas manualmente por el usuario. Para esto el ENVITE cuenta con un sistema totalmente automatizado donde el usuario no interviene en su manejo de forma directa.

Se disponen **parasoles** para proteger del sol en verano y permitir la entrada de luz en invierno. En el proyecto son de aluminio prefabricado de 50cm de ancho. Finalmente estos parasoles se conformarán mediante lamas fijas dispuestas horizontalmente.

CAPTADORES SOLARES

Las subestructuras que componen la fachada son de varios tipos en función de si albergan ventana o **captador solar**, los cuales adquieren importancia en situaciones de invierno. Es un sistema que, con la radiación solar, pre-calienta el aire usado para acondicionar los espacios. Estos sistemas se integran en la fachada sur dejando de funcionar en situación de verano, permitiendo circular el aire hacia el exterior sin interferir en el ambiente interior. Sin embargo aparece una decisión de proyecto que acaba perjudicando, aunque no de forma significativa, el funcionamiento de estos sistemas. El parasol superior pasa por delante de los captadores, como se puede apreciar en la FIGURA X, con el fin de dar una continuidad al parasol en la larga fachada. De esta forma se genera una sombra arrojada sobre el captador, disminuyendo su eficacia. Puesto que el funcionamiento de este sistema está previsto para invierno, la sombra arrojada será menor debido a la posición más baja del sol.

Se han realizado varios prototipos en taller, que reproduciendo condiciones reales de funcionamiento, han permitido el dimensionado de los reales. Se estudiaron dos prototipos, uno de capador de fachada y otro de sistemas de iluminación. Para ambos se diseñó un sistema que permitía una alimentación de aire a una temperatura.

Este sistema se basa en **muro acumulador térmico** de Felix Trombe, diseñado en 1974. Consiste en un sistema pasivo de calefacción donde las fachadas verticales captan energía solar. Como indica Yañez Paradera (2008)⁴⁷ es un “colector vertical orientado al Sur” constituido por un cerramiento exterior de vidrio, una cámara de aire de unos 12 cm entre el vidrio y un cerramiento opaco consistente en un muro de hormigón de 35 cm aproximadamente. El acabado de la cara exterior de este muro es de pintura negra mate, aumentando así su capacidad de absorción.



FIGURA 31. Captador solar del edificio ENVITE. Imagen propia tomada a las 13:15 horas, julio. Derecha, sistema con muro Trombe, imagen propia.

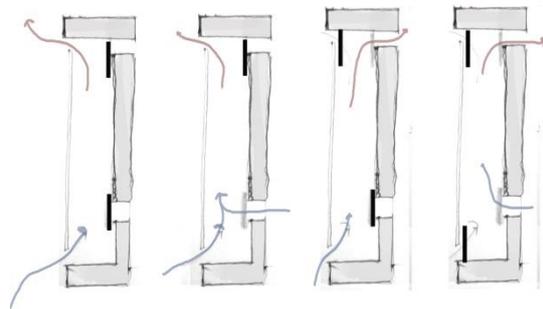
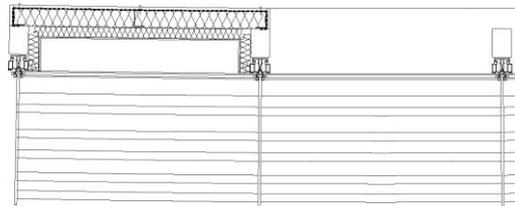


FIGURA 30. Funcionamiento de un muro trombe, cuatro tipos de usos. En el ENVITE se emplea el primero para verano y el tercero para invierno. Imagen propia.



FIGURA 29. Prototipo de captador solar de aire para la fachada Sur y sección tipo con captador solar. Fuente: memoria del proyecto ENVITE.



⁴⁷ YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería, pag. 56. **El muro acumulador Térmico del profesor Trombe.** Este sistema para una fachada vertical en Mont Louis (42º 30' N) puede recibir hasta 7 kWh/m² en el solsticio de invierno según Trombe.

III.3.2. LA CUBIERTA VEGETAL Y LOS “LUCERNAIRES”

LOS “LUCERNAIRES”

Como se ha visto, el edificio cuenta con dos zonas verdes, una en cubierta y otra en planta baja. Estas zonas quedan conectadas por los llamados “Lucernaires”, con un funcionamiento reservado para el verano, acaban siendo uno de los puntos singulares de la envolvente.

Estos elementos, al igual que el cerramiento de la fachada, cuentan con **subestructuras** de madera aserrada, formada por travesaños y montantes.

El cerramiento es un **muro cortina** semiestructural anclado a la estructura principal. Incorporado a este sistema aparecen rejillas metálicas, motorizadas y controladas, de chapa de acero lacada. En el proyecto, estos elementos son cubiertos con un panel sándwich tipo “termochip” sobre tablilla de madera. El aislamiento, RW de 8cm y tablero aglomerado hidrofugado superior.



FIGURA 32. Parte inferior, interior y vista desde las oficinas de un lucernaire. Imagen propia.

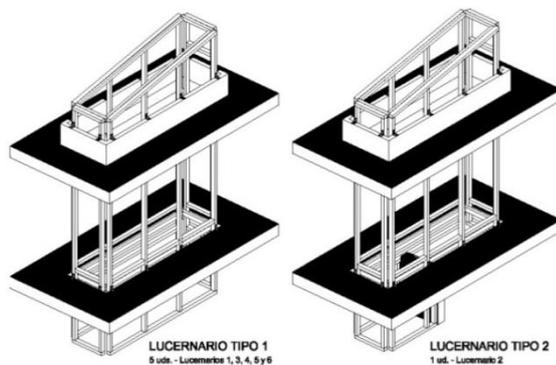


FIGURA 34. Subestructura de dos tipos de lucernarios. Fuente: documentación gráfica del proyecto.

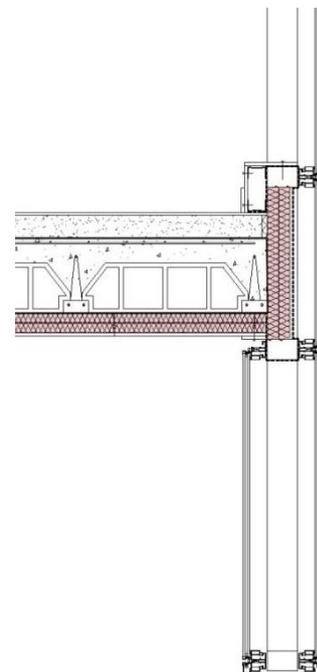
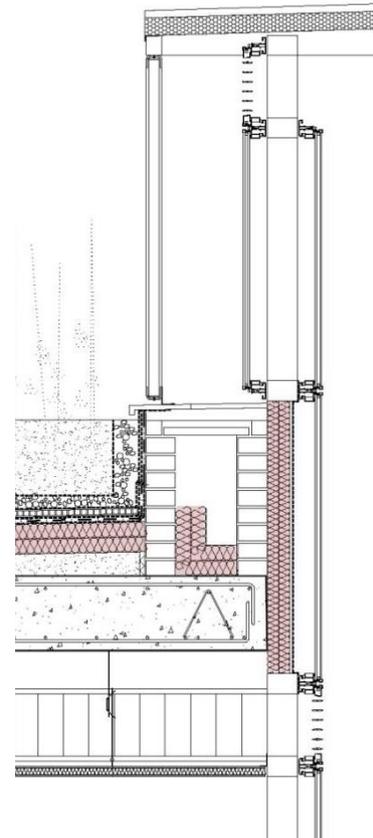


FIGURA 33. Sección constructiva e. 1:30, Documentación gráfica del proyecto.

La principal función de estos elementos, además de aportar iluminación natural, es el de complementar el sistema de acondicionamiento de aire en verano, beneficiándose del aire enfriado adiabáticamente en el espacio ajardinado y sombreado de planta baja. El color del acabado es blanco, con un porcentaje alto de albedo, con el objetivo de conseguir la mayor iluminación a través del cerramiento translucido en las oficinas.

Esta forma de enfriar el aire, ya usado en la antigüedad principalmente en Oriente Medio para la refrigeración en la vivienda⁴⁸, se puede analizar desde un ábaco psicrométrico viendo que sucede cuando se usa la refrigeración mediante evaporación. Esta se produce cuando aire seco pasa en contacto con una superficie húmeda (como el jardín regado por goteo de planta baja del ENVITE) absorbiendo el agua en forma de vapor, se conserva su entalpía al no haber aportación ni cesión externa de calor, y se aumenta su humedad relativa.

Se trata de un proceso adiabático puesto que el sistema termodinámico, en este caso el aire, no intercambia calor con su entorno. A pesar de no haber transferencia de calor se consigue realizar variaciones en la temperatura y en la humedad relativa⁴⁹ del aire.

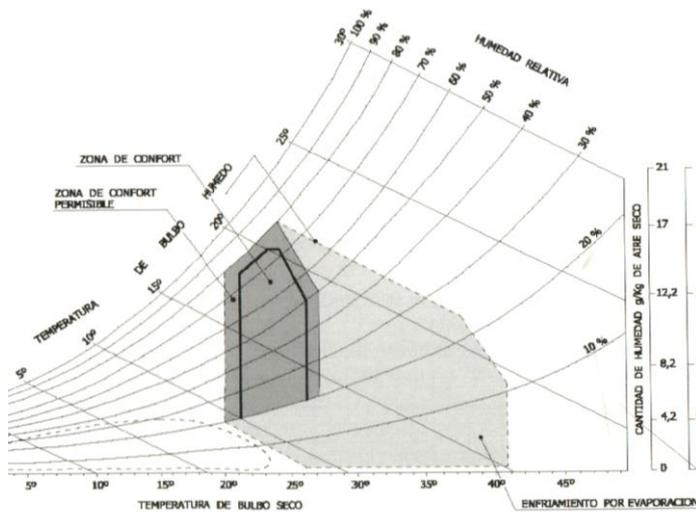


FIGURA 36. Ábaco de Givoni. Efecto refrigerante de la evaporación del agua. Fuente, Y. PARADERA (2008), *Arquitectura solar e iluminación natural*, pág. 130.

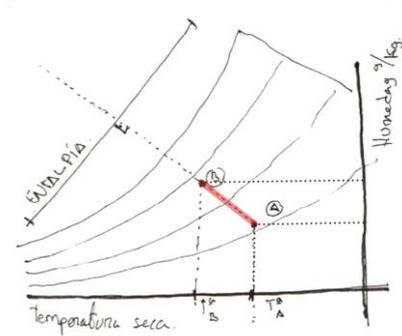


FIGURA 35. Esquema de refrigeración por evaporación. Imagen propia.

⁴⁸ Consiste en un procedimiento pasivo, donde para refrigerar los espacios se hacía pasar el aire exterior por una superficie o elemento ya húmedo. La efectividad de esta técnica se ve limitada por la evaporación potencial del aire húmedo. Se solían emplear distintos sistemas con una tinaja de barro, de donde se evaporaba el agua. Fuente: G. Y. Paradera, *Arquitectura solar e iluminación natural*, (2008), página 130.

⁴⁹ Humedad relativa: se trata de la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen de aire y la que contendría si se encontrase saturado, reflejándose con un porcentaje.

Ciertas arquitecturas, como la árabe, han usado la vegetación y el agua combinado con la acción del viento para su aprovechamiento máximo a la hora de refrigerar espacios, como indica Y. Paradera (2008)⁵⁰. La fórmula empleada es la misma que la empleada por el ENVITE en sus lucernarios. Ejemplos como el Generalife buscan crear un microclima usando la vegetación y el agua. Otro sistema popular, usado en climas secos, se basa en la evaporación del agua contenido en un botijo de barro cocido poroso. De esta forma el aire adquiere humedad y desciende de temperatura, finalmente el aire pasa por un lecho de piedra de yeso secando el aire que entra finalmente al local.



FIGURA 38. Imagen de la cubierta ajardinada con los lucernarios.

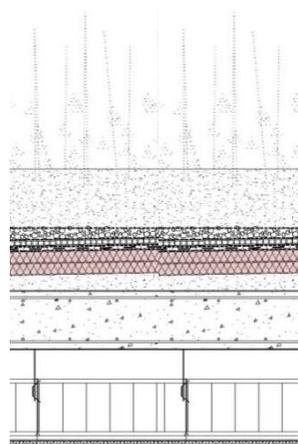


FIGURA 37. Sección tipo de cubierta extensiva, capas en el orden de la explicación referentemente.

LA CUBIERTA AJARDINADA

La cubierta ajardinada (FIGURA 33) permite disminuir la temperatura superficial de la misma debido a la vegetación y al riego, disminuyendo las ganancias en verano. La vegetación, como se ha indicado anteriormente, se compone de diferentes arbustos y herbáceas dispuestas según un fitocalendario. Además se aumenta el aislamiento térmico debido a la vegetación y al substrato, que contiene aire en su interior, minimizando el flujo de energía interior-exterior. Está compuesta, según la memoria constructiva, por:

- **Formación de pendiente** con mortero (1-6) con arcilla expandida de espesor medio 8cm. Dispone de una junta de dilatación perimetral de poliestireno expandido de 2cm. Acabado fratasado con mortero de cemento M-5 de 2cm de espesor.
- **Capa separadora** con un geotextil de fibras de propileno termosoldadas con un gramaje de 150 gr/m². A continuación un **aislamiento térmico** con dos paneles de lana de roca de 6cm de espesor y una densidad de 170 Kg/m³.
- **Membrana impermeable** de caucho EPDM, tipo Gisolene 120 de 1,14mm de espesor. En los bordes y remates perimetrales quedará adherida mediante una banda perimetral armada autoadhesiva fijada mecánicamente. Las uniones se ejecutan mediante junta rápida y mediante junta de adhesivo para protección pesada. Sobre esta membrana aparece de nuevo

⁵⁰ YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería, pag. 358.

un geotextil como capa separadora con un gramaje de 200 gr/m²; una membrana de nódulos retenedores y drenantes de agua de polipropileno reciclado de 30mm y, sobre esta, de nuevo una capa geotextil separadora.

- Capa de grava de espesor 8cm, de canto rodado de 20/40 m.
- Sobre un geotextil de 200 gr/m² aparece la tierra vegetal arenosa de 25 cm de espesor, cribada y enriquecida con fertilizantes.

La cubierta ajardinada del ENVITE con herbáceas, a diferencia de la extensiva o ecológica del LUCIA, dispone (y exige) un espesor medio de 50cm al incorporar una capa de grava a mayores, evitando que las raíces puedan perforar capas impermeabilizantes. Esto implica una sobrecarga que para estas cubiertas puede alcanzar entre los 700 y 1000 kg/m². Esto obliga a sobredimensionar la estructura, como podemos observar en la FIGURA X, donde el forjado soporte de la cubierta es una losa de hormigón frente al forjado de la planta primera, de viguetas y bovedillas. Además, las plantaciones dispuestas demandan un mantenimiento sistemático, periódico y reglado necesario para su funcionamiento. En este caso el encargado de mantenimiento ha llegado a cultivar ciertos vegetales, demostrando un cuidado y mimo hacia la sustentabilidad del jardín.

Con sus 0,206 W/m²·K cumple y mejora la transmitancia límite del DB HE-1, establecida en 0,380 W/m²·K (TABLA 1 del presente trabajo). Se reduce casi a la mitad de la transmitancia exigida.

Elemento constructivo	e (m)	λ (W/mK)	$R = e/\lambda$ (m ² K/W)	$U = 1/R$ (W/m ² K)
Forjado h.	0,300	2,500	0,120	
H. Ligerero, f. pendiente.	0,060	1,350	0,044	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Lana de roca	0,120	0,028	4,285	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Lam. Imp. PVC	0,002	0,250	0,008	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Capa dren.	0,020	0,170	0,118	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Capa de grava	0,080	2,000	0,040	
Sustrato veget.	0,250	0,520	0,048	
Rsi	-	-	0,100	
Rse	-	-	0,040	
			4,839 m ² K/W	0,206(W/ m²K)

TABLA 10. Tabla de transmitancias para la cubierta ajardinada del ENVITE. Elaboración propia.

III.3.3. EL ATRIO BIOCLIMÁTICO

Este espacio protegido con una cubierta ligera, desmontable y que permite, de forma monitorizada, la libre ventilación.

LA FACHADA DE LAS OFICINAS

Como se ha indicado, es un espacio pensado para comportarse casi como un exterior. Por esta razón, a efectos térmicos, los cerramientos que dividen el volumen de oficinas contiguos a este espacio se solucionan como si fueran un exterior. Se aprecia en la FIGURA X cómo el **aislamiento térmico**, de 9cm de lana de roca, se embute en la subestructura de madera hacia el interior del atrio.

- El **revestimiento** del cerramiento al interior, en la franja a la altura de las vigas de madera laminada, se resuelve con paneles de OSB anclados a la misma subestructura de madera. Para el resto, en el proyecto se prevee un sistema idéntico al de la fachada exterior, usando una madera de Teka, que finalmente se resolverá con un tipo de madera diferente.



FIGURA 39. Cuerpo de oficinas, cerramiento del interior del atrio y cerramiento del exterior. Imagen propia.

- El **aislamiento acústico**, embutido en un trasdosado de doble placa de cartón yeso de 13 mm, con lana mineral de 4cm al igual que en la fachada sur.

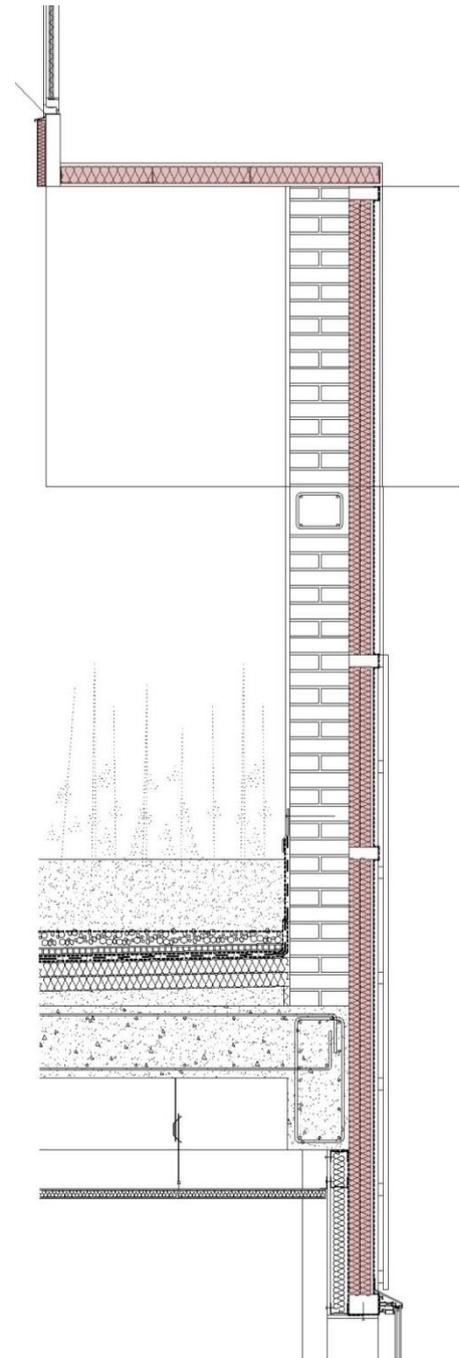


FIGURA 40. Sección de proyecto a escala 1:30. Izquierda, cubierta jardín, derecha, atrio climatizado. Fuente: documentación del proyecto.

En la parte superior de este cuerpo de oficinas y conectado con el espacio del atrio, aparecen unas toberas que permiten crear una ventilación cruzada con el interior de los oficinas. La cubierta, que cubre los edificios anexos de industria, taller y el atrio bioclimático permitirá su apertura solamente en la zona del átrio. La estructura soporte de la cubierta, ejecutada con madera laminada, se dispone hacia la orientación más favorable.



FIGURA 42. Paneles móviles de cubierta y estructura de madera laminada. Imagen propia.

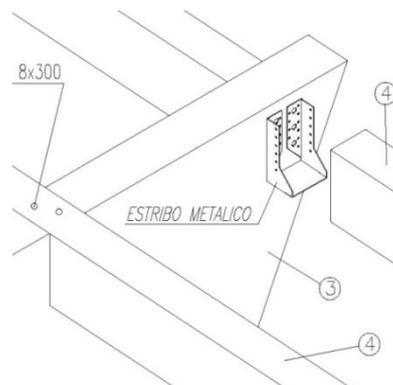


FIGURA 41. Detalle de unión de correa a peralte mediante un estribo y esquema de estructura. Fuente: documentación gráfica del proyecto.

- La **estructura principal** aérea consiste en unas vigas de madera laminada GL-24, de sección 25x125cm, sobre los que aparecen unos peraltes de madera laminada que forman la pendiente de la cubierta. Su unión, mediante pasadores, se diseñó con la idea de realizar un premontaje modular en el suelo para, posteriormente, ser izada y colocada. Estos peraltes serán el soporte de las correas, igualmente de madera laminada, de sección 8x20 cm, con una longitud máxima de 10,61 m (según proyecto).

- La **cobertura** es de panel sándwich con un aislamiento de 8cm de lana de roca de doble densidad entre dos chapas de acero lacado de 0,6mm, la superior con una nervadura de rigidización. Las limas y los remates son, igualmente, de chapa lisa doblada, atornillada y sellada. El canalón, de chapa de zinc solapada en el sentido de las aguas, apoya sobre unas patillas de acero de formación de pendiente colocados cada 50cm, se atornillan a las correas por debajo del aislamiento de lana de roca de doble densidad de 4cm. Su revestimiento inferior será de paneles de OSB clavados a las correas.

- Los **paneles móviles** se sitúan en la zona del atrio, esta formado por un panel sandwich anclado a un bastidor perimetral, según el proyecto, de madera laminada de 8x210cm que finalmente será de un tubo de acero laminado con refuerzos en el eje. Este eje es el que permitirá bascular el paño hasta la posición vertical. FIGURA X.

- Las **carpinterías** fijas disponen de un acristalamiento de policarbonato celular de 2cm de espesor, y rejillas de ventilación en el lateral de los peraltes

El espacio cubierto por este sistema, correspondiente principalmente a la zona industrial y talleres, se acondiciona de forma independiente a la zona de las oficinas. En un edificio de estas características donde las particularidades de los espacios, debido al programa de usos, son tan dispares es fundamental que esto se cumpla debido a los diferentes ritmos de funcionamiento.

En cuanto a las **condiciones de protección contra incendios**, atendiendo al R.D. 2267/2004 (Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales), se atiende a lo indicado en el DB-SI del Código Técnico de la Edificación en base al uso de oficinas cuando se superen los 250m², como indica el Documento Final de Obra (diciembre de 2010)⁵¹. Para calcular el Nivel de Riesgo Intrínseco para actividades de almacenamiento y para actividades de producción, se calculan la *densidad de carga de fuego* en MJ/m², dependiente de la masa de los productos combustibles, el factor de riesgo, la superficie, la altura de almacenamiento...

En esta misma memoria aparecen los cálculos para los diferentes sectores, con la estabilidad al fuego de los elementos estructurales con función portantes y:

SECTOR	CARGA DE FUEGO (MJ/m ²)	RIESGO INTRÍNSECO (tabla 1.3.)	SUPERFICIE (m ²)
2-Industria	Qs=617,13	Bajo 2	2489,85
4- Talleres	Qs=618,75	Bajo 2	1102,45
5-Silo Biomasa	Qs=10.427,90	Alto 7	120,83

TABLA 11. Sectores y carga de fuego, elaborado a partir del documento de la memoria del ENVITE.

En el caso de la estructura principal de la cubierta de tipo ligera y sus soportes, según el mismo Documento de Final de obra *“no se exige estabilidad al fuego a los elementos estructurales con función portante... por ser todos los sectores con cubierta: de nivel de RIESGO INTRÍNSECO BAJO”*. Además la fachada del edificio es accesible totalmente por el equipo de bomberos con un acceso para unas dimensiones mínimas de 5,00m de ancho y 4,50m de alto, con capacidad portante de 2000 Kp/m².

Se efectuará una separación entre sectores de incendios (sectores: 1-2, 1-4, 2-4), para ello la resistencia a fuego deberá ser *“al menos, igua a la mitad de la exigida a la separación entre sectores, en una franja cuya anchura sea igual a un metro”*. Según la Documentación de Final de obra, se elige el valor mayor dentro del Reglamento de Seguridad Industrial como del CTE⁵², eligiendo finalmente el del Código Técnico de la Edificación para *“uso comercial, publica concurrencia y desarrollarse sobre rasante, con una altura de evacuación inferior a 15m”*.

⁵¹ E. MIGUEL MITRE, C. EXPÓSITO, J.A. TEJEDOR SÁNCHEZ. (2010). *Documentación de final de obra de edificio contenedor de industria, taller, almacén, oficina y comercio*. Pag. 43.

⁵² CTE-DB SI, tabla 1.2. *Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendios*.

Según este reglamento, los muros deben tener una estabilidad al fugeo EI-120 minutos mínimo y la comunicación entre sectores con puertas EI-60-C5. Los acabados superficiales serán:

- SUELOS: C_{FL}-s1 (M2)
- PAREDES Y TECHOS: C-s3 d0
- LUCERNARIOS: b-s1 d0 (M1)
- REVEST. EXT. FACHADA: C-s3 d0 (M2)

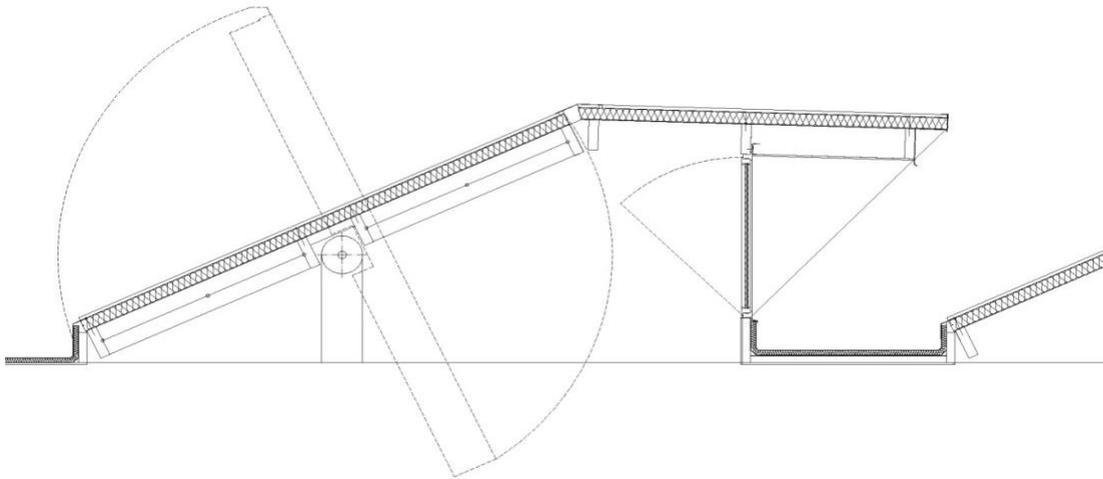


FIGURA 43. Sección por un la cubierta de tipo ligero. Fuente: documentación del proyecto.

IV. EDIFICIO LUCIA, solución con cerramiento pesado

IV.1. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROYECTO

ORIENTACIÓN

En la situación del edificio, preestablecido por el plan de ordenación (como se ha visto en el punto II.2.3), las fachadas más largas se orientan a Este y al Oeste. Como indica el arquitecto, Francisco Valbuena, estas orientaciones no son ni favorables, ni aportan las mejores visuales. J. Neila (2004)⁵³ nos indica cómo estas orientaciones son las más desfavorables, puesto que “*son mayores valores en verano e insuficientemente bajos en invierno*”. La razón es que en invierno el sol nace con un acimut muy pequeño (aproximadamente 58,7º en el solsticio de invierno), de tal forma que cuando toma altura ya apenas incide sobre las fachadas Este u Oeste. Sin embargo en verano el acimut puede ser de 121,3º (en el solsticio de verano), aumentando la irradiancia sobre estas superficies. La estrategia tomada para solucionar este primer problema es el re-direccionamiento de los huecos, diseñando unos “dientes de sierra” orientados al sur y cerrados al Norte.



FIGURA 45. Interior fachada lado Este. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 10:30h.

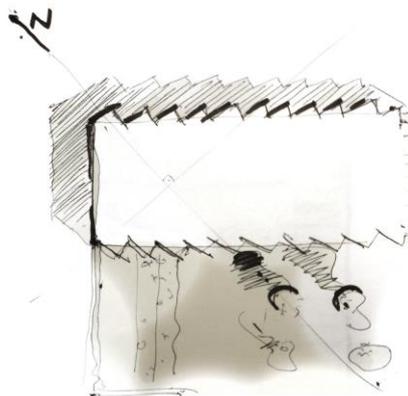


FIGURA 44. Reorientación de los huecos de las fachadas. Imagen propia.

Mediante las simulaciones realizadas durante la fase de proyecto, según la información de la plataforma de internet⁵⁴, se ha visto cómo este diseño favorece la reducción de la demanda en refrigeración hasta un 27% respecto al edificio de referencia. Además estas simulaciones permiten comprobar los resultados usando la solución de la “fachada orientada” y una fachada recta.

⁵³ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería, pags. 288-289. Orientaciones óptimas.

⁵⁴ TAMAYO ALONSO, D. (s.f.). *Blog edificio Lucía*. Recuperado el 18 de julio de 2015, de edificio-lucia.blogspot.com.es

El tratamiento de los pavimentos exteriores (del entorno) se enfoca hacia reducir el efecto de isla de calor, buscando la creación de un microclima. Se incluye una cubierta vegetal, incorporación de vegetación autóctona, árboles caducos en la fachada Oeste y un parking al aire libre con pavimento de losa calada.

FUNCIONAMIENTO EN SITUACIÓN DE INVIERNO

La forma que se plantea en el **cerramiento vertical** del edificio que consigue un aumento en la iluminación natural en los espacios interiores. La solución en zigzag planteada, por el contrario, amplía la superficie de fachada respecto al volumen con una fachada plana. Esto genera un aumento en la demanda de calefacción (a mayor superficie más pérdidas), dato que se verá compensado considerablemente en la disminución de la demanda de refrigeración en verano debido al autosombreamiento. Las pérdidas de energía serán reducidas con la incorporación de aislamiento térmico que consiguiendo transmitancias de $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ en fachada.

La incorporación de **lucernarios** y **pozos de luz** aportan iluminación a los espacios interiores de circulaciones y escalera. Los pozos se situarán en las zonas internas de los despachos y laboratorios, reduciendo el consumo de iluminación a $12,60\text{kWh/m}^2$ al año⁵⁵. Estos sistemas no funcionan con ningún aporte de energía, simplemente se basan en un efecto óptico.

Como energía primaria la **biomasa**⁵⁶, recurso local, contribuirá para la climatización. El empleo de este recurso regional implica, además de las repercusiones socio-económicas, la autosuficiencia energética y la reducción de la emisión de CO₂. Aprovechando este sistema se instaló un sistema de co-generación⁵⁷ que genere electricidad con el potencial energético de la biomasa, y que abastezca mediante la recuperación de calor la calefacción, agua caliente y refrigeración, mediante una máquina de absorción.

FUNCIONAMIENTO EN SITUACIÓN DE VERANO

El **muro cortina** de cerramiento, compuesto por paneles prefabricados de hormigón en su parte opaca, genera un autosombreamiento que disminuye la demanda de refrigeración en un 24% (según las simulaciones), además de disponer parasoles que arrojan sombra a los huecos. La fachada Este se beneficia del frescor desprendido por la vegetación durante la mañana. Sin embargo el lado Oeste, con el calor acumulado del día, no plantea dicha ventaja. Para ello se proyecta junto al aparcamiento abierto una zona arbolada que arrojaría sombra a esta cara del edificio. No obstante, el problema de trabajar con arbolado de nueva plantación es el tiempo necesario para poder desarrollar un follaje que consiga el efecto de sombra buscado.

⁵⁵ La media de consumo de iluminación natural para oficinas es de $38,90 \text{ kWh/m}^2$ al año, según la Comunidad de Madrid. Fuente: <http://edificio-lucia.blogspot.com.es/p/5.html>, 27/07/2015.

⁵⁶ Biomasa

⁵⁷ Co-generación, el potencial energético de la biomasa, mediante un motor de vapor, produce la electricidad necesaria y la recuperación del calor asociada a esta

La **cubierta vegetal de tipo extensivo** en el 73,5% de su superficie consigue una transmitancia de $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. En este espacio se encuentran los lucernarios y los pozos de luz que incorporan iluminación natural al interior.

La **fachada fotovoltaica** integrada en el diseño arquitectónico en la fachada Sur-Este, produce al año 5.000 kWh y los lucernarios 5.500 kWh.



FIGURA 46. Cubierta extensiva, vista hacia el sur. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 11:00 h.



FIGURA 47. Imagen del espacio de spin-off y la doble piel fotovoltaica. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 10:40 h.



FIGURA 48. Lucernario norte, vista interior desde la tercera planta.



FIGURA 49. Lucernario Sur, vista interior desde la planta baja. Imagen propia.

OTROS SISTEMAS ENERGÉTICOS

Se emplean energías renovables como la fotovoltaica, geotérmica y biomasa para cubrir sus necesidades, además del sistema de cogeneración, todo con el objetivo es el de buscar un edificio de energía nula.

Se crea una instalación de **pozos canadienses**⁵⁸, que permiten usar la estabilidad térmica del subsuelo para enfriar el aire que circula, siendo usado para la climatización. Esta técnica consiste en enterrar conductos a una profundidad entre 1,5 y 5m y permitir que el aire circule por ellos. De esta forma, el aire en contacto con las tuberías-conductos toma la temperatura del subsuelo, pre-enfriándolo.

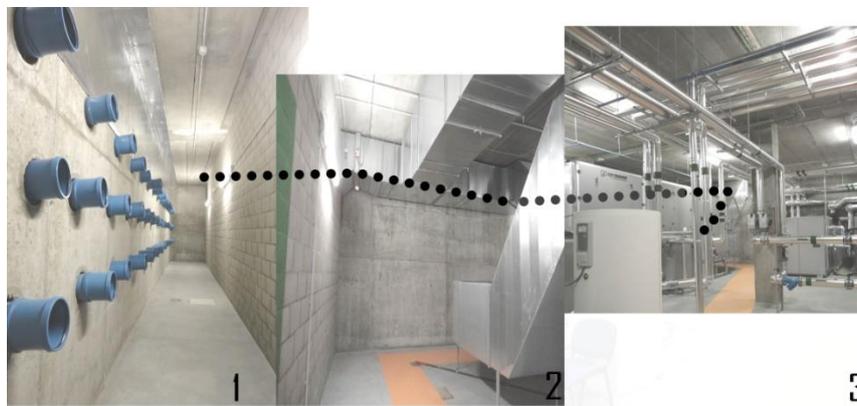


FIGURA 50. Pozos canadienses y cuarto de instalaciones. Imagen propia.

⁵⁸ Técnica que consiste en enterrar conductos a una profundidad generalmente entre 1,5m y 5m, y hacer circular aire. Este, en contacto con las tuberías, toma la temperatura del subsuelo y lo preenfria. Está formado por un punto de captación de aire, un punto de drenaje y un elemento de circulación del aire. Fuente: <http://www.sitiosolar.com/los-pozos-canadienses-y-provenzales-geotermia-de-baja-potencia/>. Fecha de consulta 25/ 08/ 2015.

IV.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA E INFORMES

IV.2.1. CERTIFICACIONES OBTENIDAS

El edificio se ha sometido a múltiples certificaciones, entre las que encontramos la certificación LEED, certificación VERDE y la certificación energética mediante CALENER-GT y la simulación energética eQUEST, que analizaremos a continuación:

CERTIFICACIÓN LEED

Este es un sistema, que siendo desarrollado por el Consejo de la construcción Verde de Estados Unidos⁵⁹, se emplea en la certificación de edificios sostenibles, siendo implantado en el año 1998. Es una certificación realizada voluntariamente y su funcionamiento está basado en los siguientes puntos:

- Sitios sustentables, emplazamiento del proyecto (24 puntos).
- Eficiencia en el uso del agua (11 puntos).
- Energía y atmósfera (33 puntos).
- Materiales y recursos (19 puntos).
- Calidad del ambiente interior (19 puntos).
- Innovación en el diseño (6 puntos).

En cada uno de estos apartados se puede obtener puntos, en función de si se cumple o no con los requisitos. En el caso del edificio LUCIA se obtuvieron 91 puntos, consiguiendo la calificación de LEED PLATINO, la certificación más alta⁶⁰.

En el punto llamado Energía y Atmósfera, se exige cumplir con los requerimientos mínimos de Standard ASHRAE 90.1-2007 para un uso eficiente de la energía. Para ello se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético desde el 12% al 48% (en comparación con el modelo estándar). En este punto es donde influyen con mayor importancia las características del cerramiento, no obstante en el informe no aparecen estos datos, por lo cual no podemos valorarlo.⁶¹

Por otra parte, la Unidad Técnica de la Universidad de Valladolid, ha redactado un informe donde aparece cómo se ha llevado a cabo la simulación de este edificio, cumpliendo los mínimos del Standard ASHRAE comentado, y que nos permite conocer la metodología empleada.

⁵⁹ LEED, acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design.

⁶⁰ Las certificaciones LEED se obtienen en función del número de puntos obtenidos, pudiendo ser LEED Silver, LEED Gold o LEED Platino, con una puntuación entre 80 y 110.

⁶¹ <http://www.catalogoverde.cl/certificacion-leed-2>. Fecha 18/08/2015

CERTIFICACIÓN VERDE

En este caso se trata de un método para la evaluación y certificación ambiental de edificios, creada por la asociación Green Building Council España (GBCe). Este dispone de unos criterios y reglas que definen los límites necesarios para la Certificación VERDE basándose en un sistema de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación y las Directivas Europeas.

La certificación VERDE, sigue un procedimiento de trabajo acorde con lo especificado por la normativa, donde existe un edificio objeto y un edificio referencia. Se obtiene una calificación de 4,25 puntos, indicándonos el impacto ambiental evitado con respecto al edificio de referencia.

CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA, CÁLENER

Mediante el programa informático CALENER se realiza el estudio del consumo de energía generando una Calificación Energética del edificio. Esta consiste en un porcentaje respecto al edificio de referencia catalogado en una letra, siendo la A la máxima calificación.

Además se genera un documento que describe las características energéticas del edificio y una relación de la eficiencia energética de sus componentes, entre los que se encuentra la envolvente y sus características técnicas. Este documento permite justificar la Calificación Energética, lo que resulta realmente útil para el presente trabajo, puesto que nos permitirá analizar las características de cada cerramiento de forma desglosada, viendo cómo influyen en el resultado final.

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	32.1	62.1	0.52	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	53.3	71.0	0.75	C
Emisiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	3.2	25.9	0.12	A
Emisiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	0.0	0.00	A
Emisiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	3.6	18.3	0.20	A
Emisiones Tot. (kg CO₂/m²)	6.8	44.2	0.15	A

TABLA 12. Indicador Energético del edificio LUCIA, extraído del Informe de Calificación del CALENER-GT.

En la tabla 12 se aprecia cómo el edificio objeto reduce casi a la mitad la demanda de calefacción y un 25% la demanda de refrigeración. Si bien es cierto que este resultado permite obtener una calificación energética, el valor de la demanda real de calefacción y refrigeración corresponde a muchos factores reales que no contempla el programa, como el clima, el uso por parte del usuario, etc.

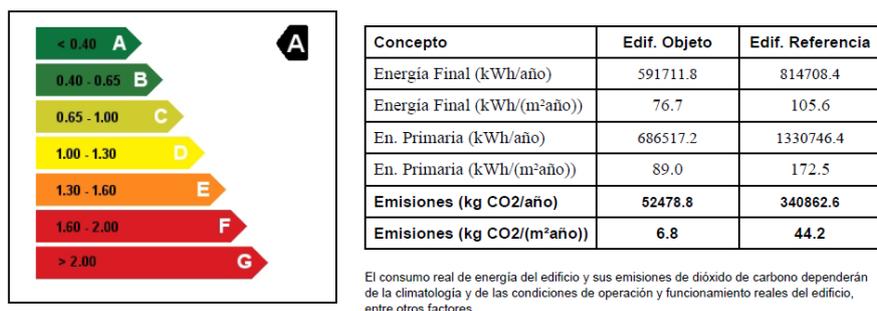


FIGURA 51. Calificación de eficiencia energética del LUCIA. Fuente, informe producido por el CALENER GT.

IV.2.2. SIMULACIONES ENERGÉTICAS LLEVADAS A CABO

SIMULACIÓN ENERGÉTICA, eQUEST 3.64 y CALENER GT

La metodología para el caso del eQUEST tiene como fin la certificación LEED que, como ya hemos visto, propone un sistema basado en la comparación entre el edificio objeto y un edificio ficticio o de referencia con las características del ASHRAE. Las **características comunes** entre ambos modelos son:⁶²

- Horarios y ocupación. El edificio está ocupado todos los días menos el mes de agosto y seis días de invierno, estando ocupado desde las 9:00 hasta las 22:00, con ocupaciones variables.
- Horarios de iluminación, teniendo en cuenta los sistemas de control de demanda de iluminación exterior.
- Equipamiento interior del edificio. Estos son aquellos no debidos a iluminación, calefacción o ventilación.
- Ventilación. En este caso, se han tomado las determinadas por el RITE para este tipo de edificios, siendo necesaria una ventilación de 12,5 l/s en las estancias por cada ocupante.
- Temperaturas interiores. Para el edificio ocupado se consideran 21 grados para calefacción y 26 par climatización. Sin ocupación serían 18 y 29 grados respectivamente.
- Condiciones climáticas exteriores.
- Emplazamiento, localización y clima.

Los parámetros restantes, como los cerramientos, la potencia y eficiencia de equipos entre otros, son las **características comparadas** entre los dos modelos.

A continuación se analizarán los valores comparados entre el modelo referencia del CTE, el modelo con las exigencias de la ASHRAE y las características técnicas del proyecto LUCIA.

⁶² Simulación Energética Edificio Lanzadera Universitaria de entro de Investigación Aplicada- Lucía- del ICCL, página 29, Punto 4. Se especifican numerosos puntos sobre las diferencias de cálculo entre el LIDER+CALENER Y el modelo del ASHRAE.

Comparación de modelos				
		CTE DB HEI-CALENER GT	ASHRAE 90.1-2009	PROYECTO LUCÍA
Parámetros generales	Superficie	5920,47 m ²	5920,47 m ²	5920,47 m ²
	Nº plantas	3 sobre rasante 1 bajo rasante	3 sobre rasante 1 bajo rasante	3 sobre rasante 1 bajo rasante
	Orientación	= proyecto	4 rotaciones de 90º	= proyecto
Aislamiento	Fachadas	0,66 W/(m ² ·K)	0,36 W/(m ² ·K)	0,17 W/(m ² ·K)
	Cubiertas	0,38 W/(m ² ·K)	0,27 W/(m ² ·K)	0,15 W/(m ² ·K)
	Soleras	0,49 W/(m ² ·K)	0,22 W/(m ² ·K)	0,16 W/(m ² ·K)
Acristalamiento	Porcentaje			
	Aislamiento	0,66 W/(m ² ·K) Sur 0,38 W/(m ² ·K) Norte 0,49 W/(m ² ·K) Otras	2,84 W/(m ² ·K)	1,1 W/(m ² ·K)
	Factor Solar	50%	40%	62%
Elementos de sombreado	Sur	Ninguno	Ninguno	-Aleros -Fachada Fotovoltaica de doble piel -Fachada autosombreada
	Lucernarios			
	Aislamiento	2,2 W/(m ² ·K)	3,92 W/(m ² ·K)	2,2 W/(m ² ·K)
	Factor Solar	31%	39%	10%

TABLA 13. Comparación de modelos CALENER GT, EQUSET y el proyecto LUCIA. Fuente: Simulación Energética Edificio Lanzadera Universitaria de entro de Investigación Aplicada- Lucía- del ICCL.

En la TABLA 13 aparece la comparación de parámetros constructivos entre el modelo del CTE, el del ASHRAE y el edificio LUCIA, excluyendo para este análisis los valores de instalaciones de climatización, ventilación e iluminación artificial puesto que salen de nuestro ámbito de estudio de los cerramientos.

Por regla general vemos cómo los requisitos del ASHRAE son más exigentes que los que plantea el Código Técnico de la Edificación, excepto los lucernarios horizontales, donde la transmitancia térmica del CTE es de 2,2 frente a los 3,92 W/ (m²·K) del ASHRAE.

Como indica el Informe titulado *Simulación Energética Edificio Lanzadera Universitaria de entro de Investigación Aplicada- Lucía- del ICCL* (Instituto de la Construcción de Castilla y León) ⁶³, "...el edificio de referencia ASHRAE no puede sombreado a sí mismo, se simula un equivalente del edificio en el caso de producirse esta situación...". Esto obliga a hacer varias rotaciones en la orientación como se puede observar en la tabla.

⁶³ *Simulación Energética Edificio Lanzadera Universitaria de entro de Investigación Aplicada- Lucía- del ICCL*, página 29, Punto 4. Se especifican numerosos puntos sobre las diferencias de cálculo entre el LIDER+CALENER Y el modelo del ASHRAE.

IV.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO, LA ENVOLVENTE

Las demandas energéticas y las calificaciones obtenidas tanto por el CALENER como con el eQUEST han partido de datos, como la transmitancia de los cerramientos, que tienen una solución constructiva real que vamos a estudiar para ver cómo se comportan realmente la envolvente.

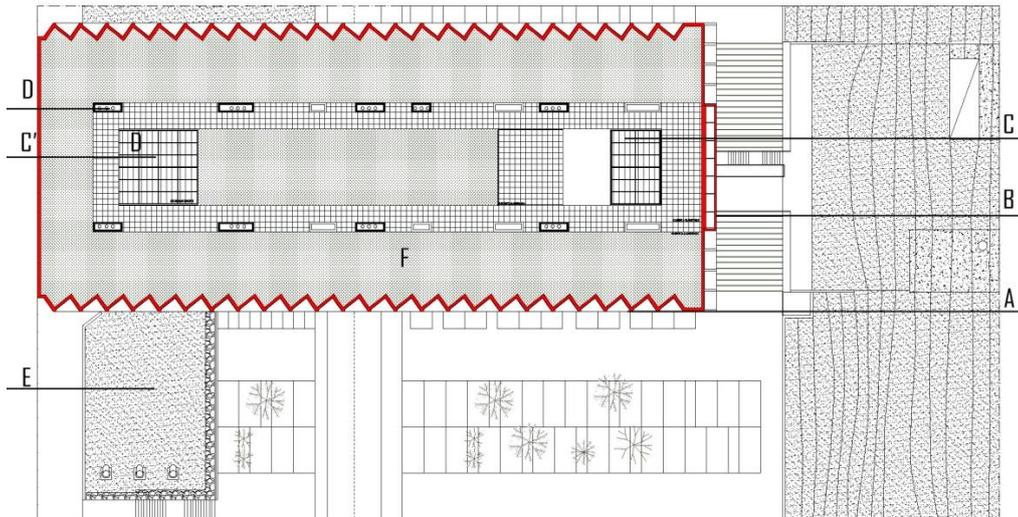


FIGURA 52. Planta de cubierta, indicación de los cerramientos a estudiar. Fuente: documentación gráfica del proyecto.

Los cerramientos que vamos a estudiar son los siguientes:

- A. La fachada orientada, compuesta por paneles de hormigón prefabricado y por la zona acristalada.
- B. La doble piel fotovoltaica.
- C. Los lucernarios.
- D. Los pozos de luz dispuestos por la cubierta.
- E. Pozos canadienses.
- F. Cubierta vegetal extensiva.

IV.3.1. LA FACHADA ORIENTADA

La decisión de re-orientar la fachada conlleva unas soluciones constructivas que buscan, no solamente conseguir la mínima transmitancia térmica, sino alcanzar el máximo confort en los espacios interiores. Como indica F. J. Neila (2004)⁶⁴, en la búsqueda del *bienestar ambiental global*, no se puede hablar de estímulos aislados (temperatura, humedad, iluminación...) sino de un conjunto de todos ellos, siendo la *sinestesia*, ciencia que “estudia los efectos provocados por la combinación de un grupo variable de estímulos”.

Las condiciones de diseño luminoso, es uno de estos grupos de estímulos. Mientras que en los pueblos nórdicos apenas se dispone de horas de luz invernales como indica Neila, en nuestro caso se produce el fenómeno diametralmente opuesto. La luz (y radiación solar) acaba siendo un fenómeno del cual protegerse. Esta idea se puede apreciar en la arquitectura popular, como lo describe G. Fernández Balbuena en el libro de Ponga Mayo (2000)⁶⁵, la posición ante el clima es de protección, “ante la facilidad de producir energía calorífica en invierno contrapuesto a la dificultad de producir energía frigorífica en situaciones de verano”, materializándose con grandes muros con gran inercia térmica y escasez de ventanas.

Frente a esta idea, el LUCIA ha conseguido crear espacios de trabajo para laboratorios con niveles de luz natural muy controlados sin renunciar a la resistencia térmica de los cerramientos y al sombreado. En mi opinión, el ahorro energético de electricidad, que ya hemos visto en el apartado de simulaciones, no es el único aspecto importante; sino el hecho de haber dado la suficiente importancia al *bienestar ambiental global* de los espacios de trabajo.

Por otra parte, los materiales empleados para el cerramiento parten, con un gran consumo de energía primaria en su fabricación. Estos son el aluminio y el hormigón. (ANEXO I).

$$E. \text{Primaria Hormigón} = 1,64 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \cdot 2.500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 4.100 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

$$E. \text{Primaria Aluminio} = 215,00 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \cdot 2.750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 591.250 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

⁶⁴ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería. Págs, 177-178.

⁶⁵ PONGA MAYO, J. CARLOS, *Arquitectura popular en las comarcas de Castilla y León*. Junta de Castilla y León (2000). Pags. 131-135.

PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO

El **cerramiento ciego** (FIGURA 48) de fachada se resuelve mediante paneles de hormigón armado aligerado prefabricados, fachada pesada por superar los 200Kg/m^2 . Tienen un espesor multicapa de 160mm (50-60-50 mm) con un alma de poliestireno expandido con una densidad de 20 Kg/m^3 . En el documento de la Memoria Constructiva (2011)⁶⁶ aparece cómo estos paneles deben abarcar de forma continua las tres plantas. Finalmente, en la ejecución del proyecto los paneles prefabricados no son continuos, sino que se dividen en dos unidades por una junta horizontal en el segundo forjado, como se puede apreciar en la FIGURA X. Como veremos a continuación, este será uno de los puntos críticos en el aislamiento de la envolvente.

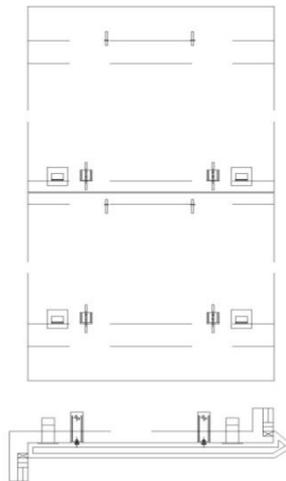


FIGURA 53. Anclajes mediante angular y anclaje de retención. Fuente: documentación gráfica del proyecto y fotos de obra proporcionadas por la Unidad Técnica de la UVa

Las **fijaciones** de los paneles se montan con un angular y tacos tipo Hilti, anclados a los forjados junto con anclajes de retención en el forjado superior e inferior. Los paneles de hormigón integran chapones unidos a los angulares, dispuestos como en la FIGURA 49.

En la **cara interior** se ejecuta un trasdosado autoportante mediante perfiles verticales de chapa de acero galvanizado de 140mm embutidos en perfiles superior e inferior

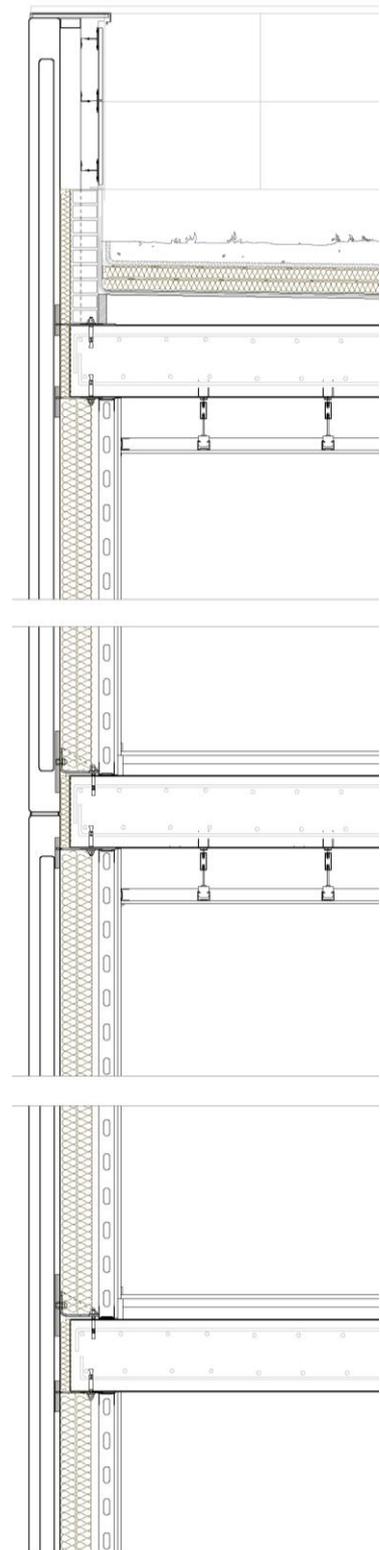


FIGURA 54. Sección constructiva por paneles prefabricados de hormigón. E. 1:30. Elaboración propia.

⁶⁶ FRANCISCO VALBUENA GARCÍA, *Memoria constructiva Edificio LUCIA*. Valladolid, julio de 2011.

fijados al forjado. Se disponen los montantes cada 60cm para introducir un aislante natural de fibra de madera de densidad $50\text{Kg}/\text{m}^3$ y 140mm de espesor, sobre este entramado se atornilla una doble placa de yeso laminado de 15mm. Se dejará una cámara para el paso de instalaciones. En el paso de forjado se introducirá con una placa de XPS de 40mm.



FIGURA 55. Imagen de obra. Colocación de los paneles prefabricados de hormigón. Foto cedida por la Unidad Técnica de la Universidad de Valladolid.

Como se puede observar en el detalle aparece un punto de debilidad térmica en la unión vertical de los dos paneles en el forjado segundo. Esto es debido a que se juntan dos factores:

- El cerramiento pesado no permite hacer unos anclajes placa-forjado con mucho vuelo (de forma económica), lo que genera que en los cantos de los forjados haya un punto con menos aislamiento que en el resto de superficie.
- Los paneles de hormigón prefabricado con alma aligerada en los extremos existe una zona rígida de hormigón sin aislante, que coincide con el canto del forjado, consecuencia del punto anterior.

De haberse ejecutado los paneles prefabricados continuos en las tres alturas, como se indicaba en la Memoria Constructiva, esta situación se hubiera compensado al ser el aislamiento del panel continuo. Por otra parte, las ventajas del uso de este sistema, como indica Alfonso del Águila García (2003)⁶⁷ son entre otros:

- Las posibilidades plásticas de creación de texturas, en nuestro caso, un acabado con nervaduras de tipo rugoso, dispuestas en diferentes sentidos en los paneles y con dos pigmentaciones en los acabados diferentes. Puesto son creados en fábrica, alto control de calidad.
- Puesta en obra rápida.
- Aislamiento térmico y acústico, además de una buena resistencia a fuego por el material empleado (hormigón). Aunque no así mismo en sus anclajes de acero.

⁶⁷ MONJO CARRIÓ, J. (2003). *Tratado de construcción-Fachadas y cubiertas*. Madrid: Munilla-Lería. Capítulo 9. Los paneles de fachada de hormigón arquitectónico. Pág. 318.

El **aislamiento térmico** usado en fachada es el de origen natural, instalando corcho negro aglomerado. Este material, desde el punto de vista medioambiental, implica un bajo coste de energía según el *Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*⁶⁸. En el caso de Corcho negro, su materia prima es la corteza de alcornoque, aglomerado usando su propia resina natural. En el caso de ser incinerado no desprende sustancias nocivas (Neila, 2003)⁶⁹



FIGURA 56. Remate superior de los paneles prefabricados de hormigón. Imagen propia, 21 de julio a las 11:30h.

EL MURO CORTINA CON ZONAS ACRISTALADAS

El **cerramiento en zonas acristaladas** (FIGURA 51) se comporta de igual forma que un muro cortina. Dispone de un cerramiento opaco delante de los frentes de forjado. Consisten en unos paneles sándwich de aluminio con aislamiento, con un total de 10 cm de espesor. En los cantos de forjado queda embutida una placa de XPS de 4cm.

De igual forma que en los prefabricados de hormigón dispone de un trasdosado interior con perfiles de chapa de acero galvanizado de 46mm de alma con dos placas de PYL de 15mm.

⁶⁸ El ACV, Análisis del Ciclo de Vida, es una técnica que analiza los aspectos relativos a la energía, contaminación, consumo de agua, etc., de los materiales. Se contempla desde la extracción de la materia prima, pasando por su puesta en obra hasta su deconstrucción (reutilización o destrucción).

⁶⁹ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería. Pág. 351.

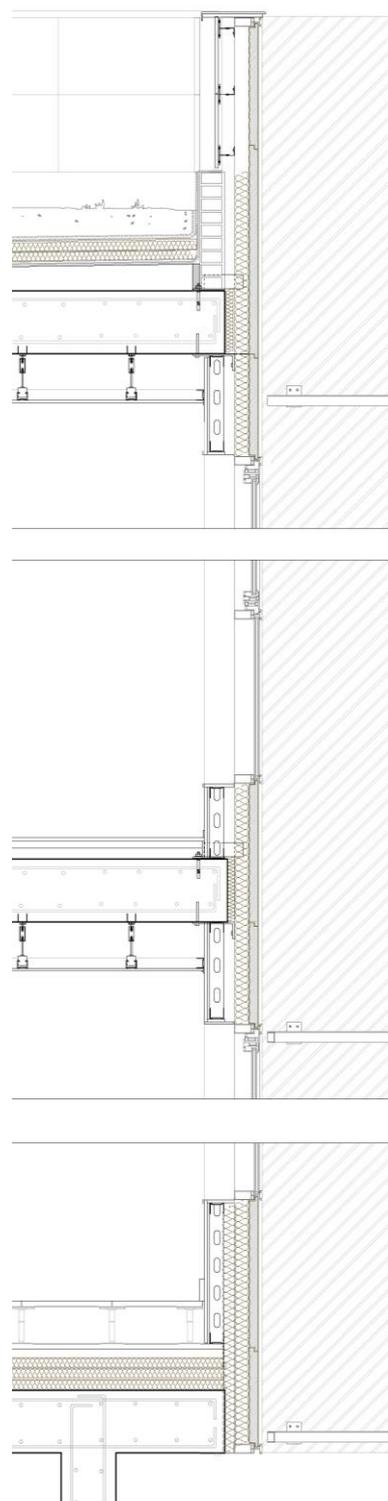


FIGURA 57. Sección constructiva por paneles prefabricados de hormigón. E. 1:30. Elaboración propia

Las **carpinterías** son de aluminio anodizado de tipo Technal. Tiene hojas abatibles y perfiles con rotura de puente térmico. El acristalamiento se compone de un vidrio exterior laminado de 3+3mm bajo emisivo, cámara de aire deshidratada de 16mm y vidrio laminado de 3+3mm al interior. El factor solar F_s (relación entre la energía total que entra por un acristalamiento y la energía solar que incide sobre el mismo) es de 0,60. Es decir, el 60% de la radiación que incide sobre la luna del vidrio lo atraviesa.

En mi opinión la elección de un vidrio con $F_s = 0,60$, relativamente alto, es una decisión acertada. En situación de verano el autosombreamiento y los sistemas de protección solar protegen los huecos de un exceso de radiación y un exceso de ganancias térmicas que afectarían significativamente a la demanda de refrigeración. En situación de invierno, sin embargo, con un acimut menor los parasoles arrojarán menor sombra y la radiación incidente será mayor sobre los huecos que con un factor solar bajo.

Para la **protección solar** del hueco, se fijan unos parasoles triangulares de chapa galvanizada perforada a los paneles prefabricados de hormigón mediante unos anclajes de acero galvanizado en L.

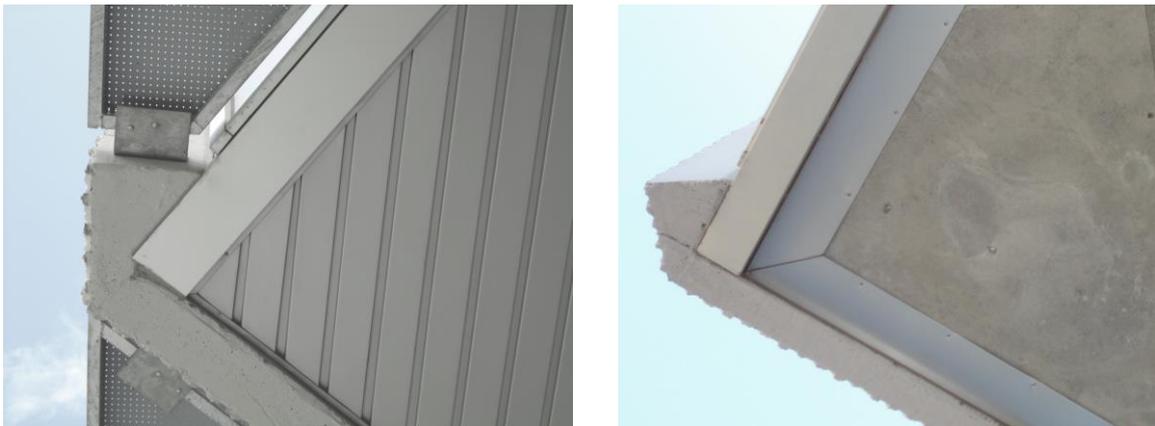


FIGURA 58. Vista de los dientes de sierra desde la parte inferior. Zona con chapa y con hormigón visto. Imagen propia.

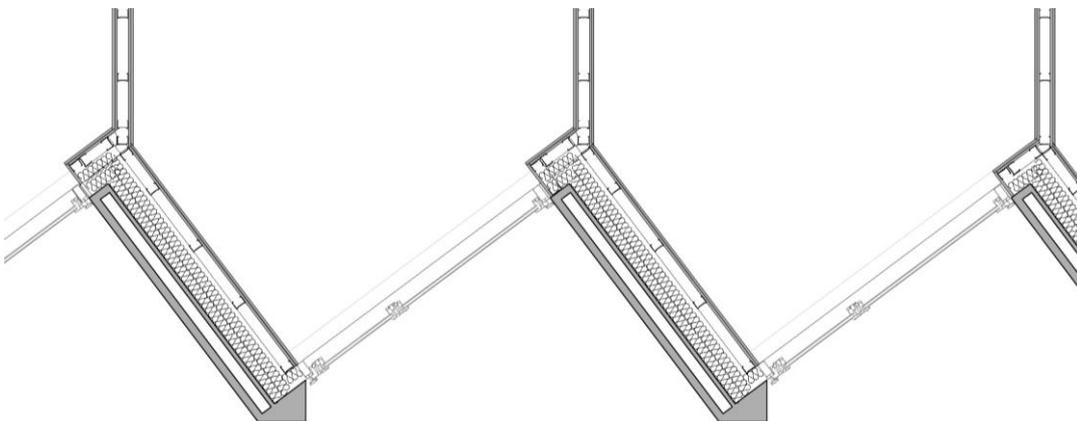


FIGURA 59. Sección horizontal tipo de las costillas y los huecos. Elaboración propia.

Elemento constructivo	e (m)	λ (W/mK)	$R = e/\lambda$ (m ² K/W)	$U = 1/R$ (W/m ² K)
P. hormigón	0,050	1,900	0,026	
EPS ⁷⁰	0,060	0,036	1,667	
P. Hormigón	0,050	1,900	0,026	
Corcho aglomerado	0,140	0,036	3,890	
Cámara de aire n/v	0,050	0,180	0,278	
Placa cartón yeso	0,015	0,250	0,060	
Rsi	-	-	0,130	
Rse	-	-	0,040	
			6.117 m ² K/W	0,163 (W/ m²K)

La transmitancia, como se ha demostrado, reduce de forma significativa lo especificado por el CTE DB HE-1, limitada en 0,66 (W/ m²K).

IV.3.2. LA CUBIERTA VEGETAL EXTENSIVA Y LOS CAPTADORES DE LUZ

LA CUBIERTA VEGETAL EXTENSIVA

La **cubierta vegetal** es una cubierta plana invertida donde se disponen dos áreas, uno de ajardinamiento extensivo y otro de tránsito para mantenimiento. Esta se compone de los siguientes elementos, ordenados de interior a exterior:

- Formación de pendiente, capa de hormigón no estructural aligerado con una densidad menor a 1000 Kg/m³ y resistencia a compresión de 200kPa. Dispone de una capa superior de mortero M-05 con acabado fratasado.
- Capa de antipunzonamiento, para evitar posibles daños entre la lámina impermeable y el soporte. Consiste en una lámina separadora de tipo geotextil a base de poliropileno y polietileno de 125 gr/m².
- Membrana impermeable, doble lámina flexible de PVC-P, armada con un fieltro sintético de fibra de vidrio, espesor 1,2mm.
- Capa separadora, entre la lámina de PVC-P y el aislamiento de XPS (Poliestireno Extrudido) que será de 35 Kg/m³ con un espesor total de 20cm. Los bordes ensamblados permiten ciertos movimientos.
- Capa drenante formada por una membrana geotextil de polipropileno unida a una lámina nodulada perforada de poliestireno, permitiendo retener el agua.
- Capa vegetal, sustrato de 10 cm de espesor. Se han plantado variedades de Sedum autóctono, donde aparecen una mezcla de variedades con diferentes épocas de florecimiento.⁷¹

⁷⁰ EPS, poliestireno expandido, interior de los paneles prefabricados.

⁷¹ Encontramos la Sedum Album (flor blanca de florecimiento en verano y altura de 20cms), Sedum Acre (flor amarilla, florece entre mayo y junio, de 12cms), Sedum Spurius (flor rosa, florece de junio a agosto con 15cm), Sedum Hispanicum (flor rosa palo, de verano y 10cm), Sedum Montanum y delosporma cooperi.

- El sistema drenante se compone por un conjunto de sumideros y tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE).



FIGURA 60. Imagen de la cubierta ajardinada extensiva con los captadores solares. Imagen propia tomada el 21 de julio a las 11: 35.

Este tipo de cubierta, aunque su origen proviene de países del norte de Europa como indica J. Neila (2003)⁷², presentan una muy buen comportamiento en condiciones de verano con el objetivo de evitar el sobrecalentamiento. Por una parte la hoja y el vegetal generan un sombreadamiento. Además, como se indica en el libro de *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible (pag 300)*, una cubierta de este tipo puede llegar a dispar cerca de 3 kWh/m² en una tarde de verano.

Las ventajas de esta cubierta frente a la cubierta del ENVITE (ajardinada con 50cm de espesor) son, en primer lugar, la diferencia de sobrecarga de peso reduciéndose hasta los 100 kg/m² frente a los 700-1200 kg/m² de la intensiva. Además, en la extensiva las plantas escogidas y seleccionadas permiten aguantar el clima con un mantenimiento casi nulo frente a las extensivas.

Elemento constructivo	e (m)	λ (W/mK)	$R = e/\lambda$ (m ² K/W)	$U = 1/R$ (W/m ² K)
Forjado h.	0,300	2,500	0,120	
H. Ligero, f. pendiente.	0,060	1,350	0,044	
Lam. Imp. PVC	0,002	0,250	0,008	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
XPS 35 kg/m ³	0,200	0,035	5,714	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Capa dren.	0,020	0,170	0,118	
Geotextil	0,002	0,170	0,009	
Sustrato veget.	0,100	0,520	0,192	
Rsi	-	-	0,100	
Rse	-	-	0,040	
			6.363 m ² K/W	0,157(W/ m²K)

⁷² NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería. Pág. 298-299.

LOS CAPTADORES DE LUZ

Los pozos de luz de tipo Solatube, son un sistema de iluminación natural formado por tres partes:

- Punto de captación de la luz solar, instalado en la cubierta. Se instalan 27 dispositivos.
- Canalización por una superficie reflectante. Se basa en un efecto óptico, sin necesitar ningún aporte de energía extra.
- Punto de emisión, formada por difusores con lentes ópticas integradas en el falso techo o en las paredes de los espacios interiores a iluminar.

Los puntos de emisión se sitúan en la parte interna de los despachos o laboratorios (en las diferentes plantas), aumentando la luz natural y disminuyendo la demanda de energía lumínica. Según las simulaciones realizadas, para el edificio referencia se necesitan 146.190 kWh anuales para electricidad (según la normativa ASHRAE), mientras que en el lucía se reducen a 74.790 kWh.

En la cubierta aparecen unos volúmenes, formados por un cerramiento de panel sándwich de 6cm de espesor de doble chapa de acero lacado y aislamiento en el núcleo. Este se atornilla y fija a una subestructura de perfiles tubulares de acero sobre un peto de medio pie de ladrillo, donde remata la impermeabilización y las capas de la cubierta. En la zona de tránsito para mantenimiento se coloca una baldosa de tipo Filtron de hormigón poroso, rugoso y antideslizante.

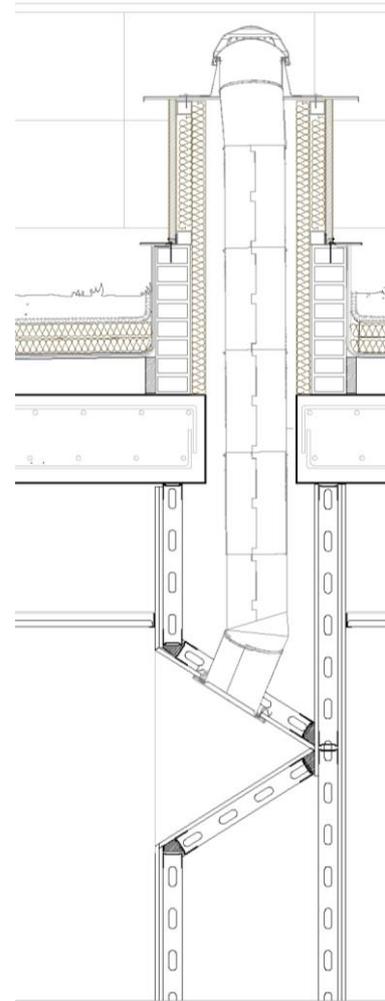


FIGURA 61. Sección constructiva solatube. E. 1:30. Elaboración propia.



FIGURA 63. Solatube tipo horizontal. Imagen propia.



FIGURA 62. Módulo en cubierta. Incorpora dos pequeños y uno grande. Imagen propia.

IV.3.3. LA DOBLE PIEL FOTOVOLTAICA Y LOS LUCERNARIOS

Uno de los esfuerzos realizados, desde el punto de vista del proyecto, es el de integrar en el diseño del edificio formas de energía renovables. Los lucernarios, por estar situados en cubierta; y la fachada Sur-Este se convierten en dos elementos perfectos para integrar en la envolvente paneles fotovoltaicos. Según los balances de producción energética obtenidos por el programa E-Quest, la fachada de doble piel produciría 5.000 kWh y los lucernarios 5.500 kWh, suponiendo un ahorro anual de 3.570 euros (según los datos dispuestos en la página web del LUCIA).

Para entender de una forma simplificada en que consiste la energía fotovoltaica acudimos al libro de Y. Paradera (2008)⁷³, donde explica las células fotovoltaicas como “dispositivos que convierten la radiación solar directamente en electricidad, basándose en las propiedades eléctricas de la unión entre materiales semiconductores”. Su rendimiento depende directamente del nivel de irradiancia, aunque se reduce con el aumento de su temperatura. Esta eficiencia se mide por el número de fotones convertidos en pares de electrones. Según este mismo texto la electricidad de origen fotovoltaico es “cinco veces más cara que la obtenida en centrales térmicas”.

En cuanto a la inclinación y orientación de los paneles, deben orientarse al sur tratando de evitar las sombras, con una variación admisible del acimut de 10°. De esto deducimos que los lucernarios tienen un rendimiento mayor que la pared vertical fotovoltaica.



FIGURA 64. Doble piel fotovoltaica. Izquierda, exterior con rejilla de ventilación inferior; derecha, interior de la doble piel. Imágenes propias tomadas el 21 de julio a las 12:15 y 11:45 horas respectivamente.

⁷³ YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería. Capítulo 12, Energía fotovoltaica, pag. 531.

LA DOBLE PIEL FOTOVOLTAICA

La **doble piel** incorpora la fachada fotovoltaica en la hoja exterior, creando un muro cortina serie MX de Trama Horizontal con contratapa continua, de tipo Technal⁷⁴. Los perfiles son de aluminio extruido anodizado con un espesor de 20 micras con un acabado lacado. Las tapas son de tipo recto clipadas sobre contratapas lineales.

La **estructura** se configura mediante perfiles verticales y travesaños unidos con embudos de aluminio con junta siliconada⁷⁵, garantizando el aislamiento térmico mediante un intercalario de poliamida colocado horizontal y verticalmente entre la estructura y la chapa de la estructura, garantizando la ruptura del puente térmico.

Los montantes son de aluminio extruido y son de 52mm de ancho y 60mm de profundidad, siendo de la misma dimensión que los travesaños.

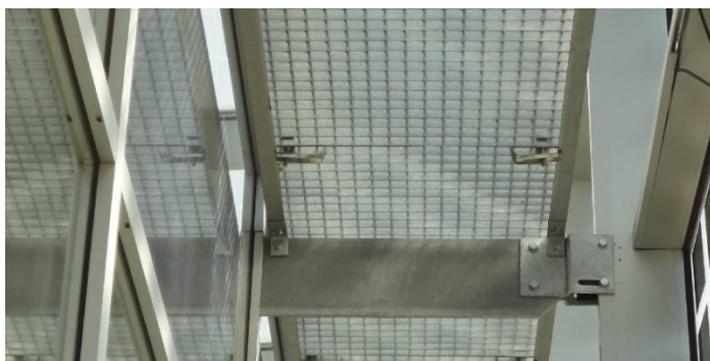


FIGURA 65. Anclaje de la doble piel fotovoltaica. Imagen propia.

El **acristalamiento** se fija en vertical mediante una pieza interior de aluminio extruido con una junta continua de EPDM. En horizontal se fijan perfiles horizontales de contratapas de aluminio extruido con las mismas juntas, y en vertical aparecen unas presillas de seguridad puntuales. Los vidrios son de tipo VEE con cantos pulidos.

Los **anclajes** son de acero laminado en caliente según la Memoria Constructiva, con acabado galvanizado para la fijación de los montantes provistos en cada forjado. Estos deben admitir una regulación en las tres dimensiones de 3cm.

⁷⁴ Serie MX de tipo Technal, marca de HYDRO.

⁷⁵ Esto garantiza la estanqueidad de la unión.

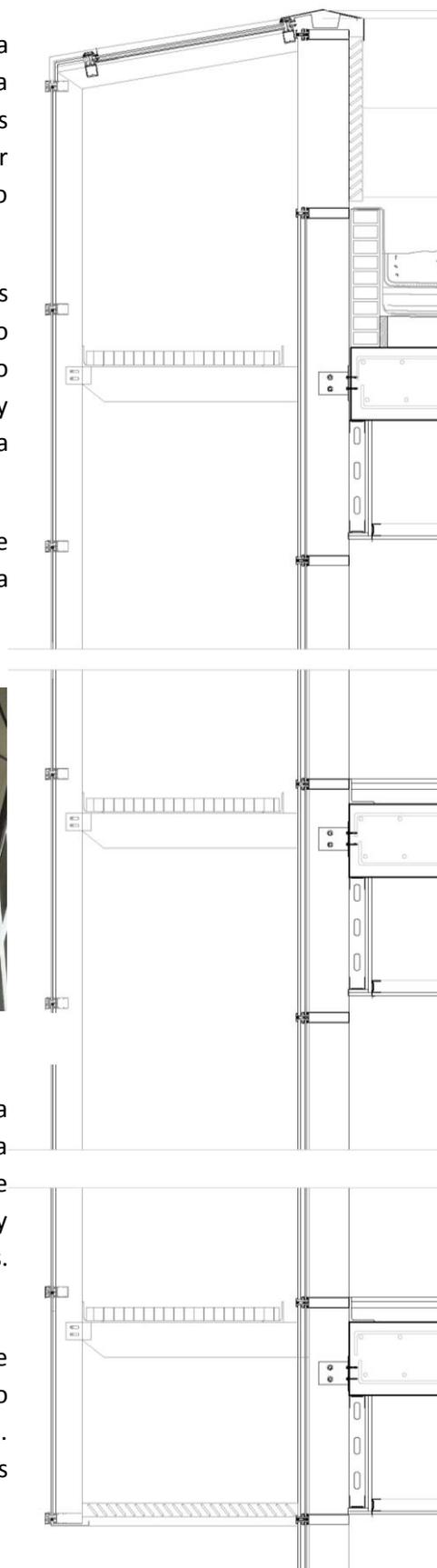


FIGURA 66. Sección vertical por doble piel fotovoltaica. E. 1:50. Elaboración propia.



FIGURA 67. Izquierda, lucernario fotovoltaico Sur; derecha, ventilación superior de la doble piel fotovoltaica.



FIGURA 68. Lucernario fotovoltaico Sur desde el espacio interior. Imagen propia, 11:30 h.

Además de generar electricidad, las células dispuestas ayudan a tamizar la luz (FIGURA X), lo cual es beneficioso en un espacio acristalado orientado al Sureste.

La cámara de aire encerrada entre las dos pieles necesita una ventilación para evitar crear un *invernadero* adosado. Esto, que puede ser una gran ventaja en situación de invierno, acaba siendo un gran problema en verano donde el aumento de las temperaturas del aire en la cámara aumentará las ganancias caloríficas y la demanda de refrigeración. Sin embargo, la disposición de unas rejillas mecánicas en la parte superior e inferior (FIGURA X) puede ayudar a la *ventilación por efecto térmico*, permiten evacuar el calor generado.

Esta ventilación natural (sin empleo de apoyos mecánicos) consigue generar el tiro o la diferencia de presiones mediante:

- La diferencia de temperaturas entre la columna interior de aire y el aire exterior genera una corriente de aire ascendente.
- La energía solar, apoya el calentamiento del aire interior de la chimenea mediante el efecto invernadero al aumentar la diferencia de temperaturas entre aire interior y exterior.

Este sistema se asemeja al generado por las *chimeneas solares* (Yáñez Paradera, 2008)⁷⁶, orientadas al sur, son conductos verticales con tramos de vidrio expuestos al exterior buscando generar un tiro térmico. Esta diferencia de presiones, mediante rejillas conectadas con los locales arrastra el aire interior renovando naturalmente el aire de las estancias.

⁷⁶ YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería. Capítulo 12, Energía fotovoltaica, pag. 163. Las chimeneas solares.

LUCERNARIOS FOTOVOLTAICOS

Los lucernarios, en primera instancia, son unos elementos arquitectónicos de diseño pasivo que incorporan lamas laterales para la ventilación de los espacios comunes interiores. Permitirán las ganancias térmicas en invierno y en verano, con la apertura de forma mecánica de las rejillas, se permitirá una ventilación diurna y nocturna, refrescando el ambiente interior.

Se localizan uno en la parte norte y otro en la parte sur del edificio. Ambos disponen de vidrios fotovoltaicos de silicio amorfo, compuestos por: triple vidrio laminado, cámara de aire y doble vidrio laminado interior. El *factor solar* de los vidrios es del 0,10 (deja pasar el 10% de la energía incidente).

El **lucernario Norte**, con unas dimensiones de 8,00 x 7,30m (63,35 m² de vidrio fotovoltaico), dispone de estructura configurada por perfiles tubulares de aluminio apoyados sobre un antepecho de hormigón armado perimetral al hueco. El soporte de los vidrios será la subestructura de los montantes y travesaños de aluminio.

El **lucernario Sur**, con unas dimensiones de 5,45 x 7,30 m, con una superficie de vidrio fotovoltaico de 40,55 m².



FIGURA 69. Lucernario norte. Izquierda: estructura del lucernario apoyado sobre un murete de hormigón visto. Sistema automático de apertura para ventilación. Derecha: superior del lucernario con el vidrio fotovoltaico sucio. Imágenes propias.

Sin embargo, creo necesario puntualizar dos aspectos determinantes en el rendimiento de la envolvente fotovoltaica:

- El primero, la dependencia de la situación climatológica influirá en el rendimiento, condicionado principalmente por la nubosidad. Por ello los rendimientos del sistema calculados mediante programas informáticos vuelven a alejarse de la realidad.
- El segundo, como se ha explicado, el rendimiento disminuye con el aumento de la temperatura. Por ello la importancia de colocar una cámara que se airee.
- En tercer lugar, la importancia del **mantenimiento**. El ensuciamiento de estas superficies disminuye el rendimiento, por lo cual es imprescindible una limpieza periódica. En nuestro caso los vidrios son *autolimpiables*, durante la visita pudimos observar a un operario limpiándolos por “*primera vez desde su construcción*”.

Para poder opinar de una forma más precisa sobre este tipo de **tratamientos autolimpiables**, acudimos a la página de SAINT-GOBAIN ⁷⁷. Su sistema (llamado SGG Bioclean) consiste en un doble acristalamiento con un vidrio autolimpiable, donde se *“ha depositado una capa de transparente de un material mineral fotocatalítico e hidrófilo”*. Según la información de este producto, los rayos del día descomponen la suciedad exterior y la lluvia la eliminará. Es decir, para la limpieza se necesita **sol y lluvia**. Según indica la información del producto, *“si no llueve, el acristalamiento ofrecerá una limpieza más sencilla”*.

La eficacia de este tratamiento depende de estos fenómenos climatológicos expuestos. Lo que vemos es, que para una superficie fotovoltaica como la del lucernario donde la mayor producción sería en verano (acimut mayor y más horas de sol), coincide con la época estival y de menos precipitaciones (Punto2,). Ante un periodo de bajas lluvias, la suciedad se acumula y merma el rendimiento de las células si no se dispone de un mantenimiento constante, FIGURA 63.

IV.4. LA MONITORIZACIÓN DEL LUCÍA

Las monitorizaciones del LUCÍA son llevadas a cabo por un grupo de técnicos que, diariamente, controlan los siguientes factores:

- El funcionamiento de la caldera.
- Funcionamiento de la energía de cogeneración.
- Control de la producción de energía eléctrica.
- Entrada en el sistema del aire de los pozos canadienses.
- Temperatura y humedad de cada sala.
- Control de la iluminación de cada sala.
- Etc.

En la actualidad el edificio está en periodo de evaluación, por ello es difícil cuantificar el rendimiento de las instalaciones cuando el edificio no trabaja a pleno rendimiento.

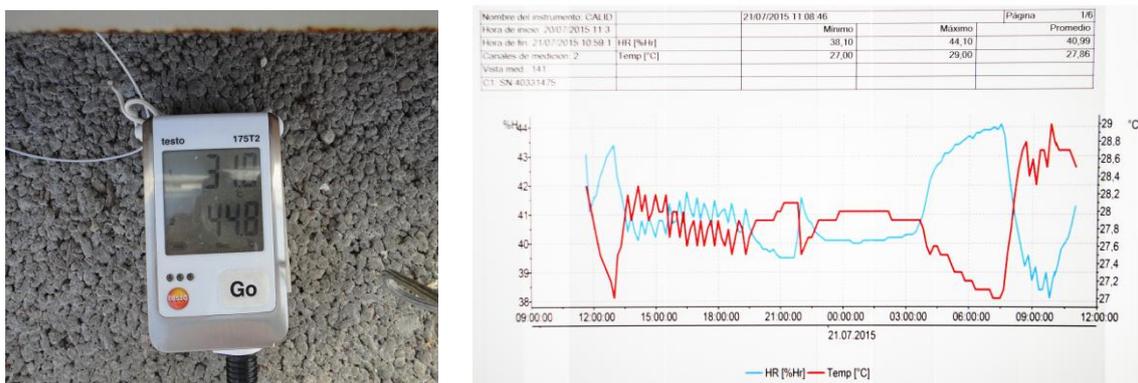


FIGURA 70. Izquierda, una de las sondas instaladas en el edificio (En concreto en el lucernario sur), mide la temperatura del material y la humedad del ambiente, imagen propia tomada a las 12:30h. Derecha, gráfica resultado diario de cada uno de las sondas instaladas.

⁷⁷ (Productos: Sgg Bioclean: SAINT-GOBAIN), <http://es.saint-gobain-glass.com>.

V. CONCLUSIONES

V.1. ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS

Los edificios considerados de alta eficiencia energética, en primer lugar, deben demostrar una especial atención al clima y a la orientación más adecuada para el aprovechamiento energético. De hecho, la exigencia básica DB HE-1 ya nos establece una *zona climática* que nos determinará la transmitancia mínima de las diferentes partes de la envolvente.

Por otra parte, debemos ser conscientes que a estas mismas solicitaciones, o similares, se han enfrentado diferentes arquitecturas a lo largo de la historia, como la arquitectura vernácula o la arquitectura islámica. Podemos encontrar *invariantes* (NEILA GONZÁLEZ, 2004)⁷⁸ en base lo expuesto anteriormente, planteando estrategias bioclimáticas que encontraremos en los edificios LUCÍA y ENVITE:

- Búsqueda de la protección de la radiación solar con el autosombreamiento, voladizos, patios con vegetación, etc.
- Uso de cerramientos con mucha masa e inercia térmica mediante muros gruesos y huecos pequeños y protegidos.
- Uso de enfriamiento evaporativo, mediante vegetación y agua mediante fuentes, estanques, etc.

En conclusión, todos buscan generar un **microclima** que reproduzcan el confort deseado empleando estrategias de protección, aislamiento y climatización pasiva. Así mismo tratan de evadirse de otros microclimas adversos generados por el hombre, como la isla de calor.

V.2. LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

La pretensión del presente trabajo, como se explicó en los objetivos, no es la de realizar una comparativa estricta de la eficiencia energética de los dos proyectos, pero sí la de evaluar cómo se han comportado las diferentes soluciones de fachada ante un mismo clima.

FACHADA PESADA Y FACHADA LIGERA

- En el caso del LUCIA, el gran aislamiento térmico apoyado sobre los forjados ha conseguido unos resultados excelentes en cuanto a la reducción de demanda energética del edificio según las simulaciones. El vuelo del muro cortina de los paneles prefabricados de hormigón armado ha permitido pasar aislamiento térmico cubriendo el canto de los forjados, aunque viendo reducido su espesor con respecto al resto. El problema ha aparecido cuando los

⁷⁸ NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.

paneles no abarcan toda la fachada en vertical, como estaba previsto en la memoria. Al ser despiezados en dos y situarse su unión en el canto del forjado acentúa el punto de debilidad térmico puesto que, en esa zona, el panel no dispone de aislamiento interno.

- El edificio ENVITE con su fachada ligera ha permitido que todo el aislamiento térmico quede embutido en la subestructura, manteniendo así una continuidad en el espesor de aislamiento térmico en toda la fachada, incluyendo cantos de forjado.

Como hemos visto, el cerramiento ligero ha conseguido solventar el problema del canto del forjado de una forma más eficaz. En el caso del LUCIA, conseguir separar más el panel prefabricado del canto del forjado para pasar el aislamiento térmico de forma continua implica unos sobredimensionamientos de los anclajes muy importantes (con repercusiones económicas en el proyecto).

Desde el punto de vista del *ciclo de vida del edificio*, el material más sostenible entre la madera y el hormigón, es la madera con un menor gasto de energía primaria en su fabricación ($1.800 \frac{MJ}{m^3}$) frente a los $4100 \frac{MJ}{m^3}$ del hormigón.

ACRISTALAMIENTOS VERTICALES

Hace referencia a los diferentes huecos que componen las fachadas en cuanto a su diseño, y sus características.

- En el caso del LUCIA el control de la iluminación, de las ganancias solares en invierno y de la protección en verano adquiere una gran atención. Fruto del esfuerzo de diseño en fachada se ha conseguido espacios interiores con una baja demanda de iluminación artificial, hecho que se ve apoyado con el diseño en cubierta de los *solatubes*. Sin embargo aparece un punto conflictivo, la unión entre el panel de hormigón y los bastidores del sistema de huecos, donde aparece una línea de puente térmico. Este problema se ve acentuado al repetirse el encuentro por toda la fachada. Por otra parte, la doble piel fotovoltaica ha permitido un control interior de la luz junto con la producción de electricidad.

- El ENVITE ha optado por una solución con huecos dispuestos longitudinalmente en la fachada sur, intercalada con los sistemas de *captación solar*, para funcionamiento en invierno con un sistema de parasoles que han interferido sombreando dichos captadores solares en la parte superior. La iluminación interior también ha sido confiada a los llamados *lucernaires*, funcionando de forma alternativa para generar frescor además de alimentar el sistema de refrigeración.

En mi opinión, la solución aportada por el ENVITE de integrar dos sistemas de cerramiento diferentes que, además de iluminación, complementen las instalaciones de acondicionamiento higrotérmico. Por ello, lo considero una estrategia muy adecuada al resolver de forma integral y con dos elementos diferentes la situación tanto de verano como de invierno.

LA CUBIERTA AJARDINADA

- El LUCIA ha instalado una cubierta ajardinada de tipo extensiva con niveles muy bajos de mantenimiento y gasto en riego. Esta solución ha reducido la transmitancia térmica exigida por el documento básico de ahorro de energía.

- El ENVITE, por otra parte, ha construido una cubierta ajardinada de tipo intensiva, esto ha permitido plantear un fitocalendario donde todo el año aparezcan plantaciones con mayor porte que las del LUCIA, eso sí, con una sobrecarga mayor sobre la estructura por su mayor peso propio.

Ambas soluciones han disminuido considerablemente la transmitancia térmica, con valores similares. Ahora bien, un factor que no puede contemplarse mediante el cálculo básico de las transmitancias térmicas empleado es el autosombreamiento provocado por las plantaciones y la evotranspiración. Estos factores ayudan a evitar el sobrecalentamiento en verano. En este caso, el mayor porte de las plantaciones que permite plantar el ENVITE influirá en que los fenómenos del autosombreamiento y evotranspiración sean mayores. Sin embargo esto va acompañado de un mayor mantenimiento durante todo el año, al contrario que en el LUCIA.

LOS CERRAMIENTOS TRASLÚCIDOS HORIZONALES.

En ambos casos estamos hablando de elementos que han servido para acondicionar espacios comunes en los edificios estudiados.

- El LUCIA ha empleado lucernarios incorporando células fotovoltaicas que, a mayores, ayuden a controlar su factor solar y la radiación que penetra al edificio. En sus laterales disponen de aberturas mecanizadas que favorecen la salida del aire caliente acumulada en el edificio en situación de verano.

- El ENVITE ha usado una técnica que, a efectos de funcionamiento tiene un objetivo similar, permitiendo la ventilación cruzada de las oficinas. El atrio bioclimático cuenta con unos paneles que permiten su apertura, favoreciendo esta ventilación.

En mi opinión los lucernarios fotovoltaicos, de una forma más sencilla, han conseguido aunar en un mismo elemento la ventilación, la captación de energía eléctrica y la iluminación controlada.

V.3. LAS MONITORIZACIONES

Aunque el tema principal del trabajo no trata sobre las monitorizaciones, es el único método para llegar de forma científica a definir uno de los dos ejemplos como el más eficiente energéticamente. En la realidad, es un método de medición donde aparecen múltiples situaciones que desde una *simulación energética virtual* no se pueden cuantificar.

Hay que tener en cuenta los periodos donde hay más o menos usuarios en el edificio o si, simplemente, el edificio no está a pleno rendimiento. En ocasiones los elementos de monitorización dan fallos; en unos casos debidos a los propios aparatos de medición y en otros por fallos constructivos (defectos en la envolvente por la ejecución) que pueden paralizar las monitorizaciones.

En mi opinión, el resultado de estas mediciones durante un periodo relativamente largo de la vida del edificio, puede arrojar luz sobre el verdadero rendimiento de algunos de los sistemas estudiados de la envolvente. De esta forma se podrá evaluar la viabilidad económica y energética apoyándose en la experiencia en estos dos ejemplos ya construidos y así, poder aplicarlos en futuros proyectos.

Creo que los datos que se recaben, si son **positivos** pueden ayudar a fomentar la construcción de este tipo de arquitectura, si son **negativos** ayudarán a continuar la búsqueda experimental de soluciones diferentes y que resuelvan la problemática de la eficiencia energética en la arquitectura actual.

V.4. EL PAPEL DEL USUARIO

Tras la evaluación de las dos envolventes, se ha podido apreciar cómo algunos elementos que componen el cerramiento (carpinterías, rejillas de ventilación, sistemas de cierres y aperturas...) se controlan de forma mecanizada y automatizada. La conclusión de este hecho rota entorno al **papel del usuario del edificio**. El esfuerzo y los medios materiales empleados en disminuir pueden verse anulados por un mal uso del edificio. Ejemplos podrían ser un mal uso de los sistemas manuales de ventilación, escasez de mantenimiento de la vegetación de cubierta, uso inadecuado de huecos practicables, etc.

La singularidad de los casos que tratamos (edificios de oficinas, despachos y laboratorios) hacen que el usuario nada tenga que ver con el de un edificio residencial, caso aparte de estudio. En nuestros ejemplos, hablamos de múltiples usuarios compartiendo trabajo y espacios con unos horarios determinados de estancia. Por lo tanto, un edificio de estas características no se puede permitir confiar la eficiencia energética al uso de los sistemas por parte de un usuario más o menos comprometido con su funcionamiento.

Aquí es donde entra la monitorización de los sistemas de calefacción, ventanas practicables bloqueadas y mecanizadas (ENVITE), sistemas automáticos de control lumínico de luminarias (LUCIA)... y sobre todo, la acción imprescindible de un técnico (o un equipo) encargado del mantenimiento y control. En este caso el edificio ENVITE planteó una estrategia interesante implantando un curso teórico relacionado con el uso correcto del edificio destinado a sus trabajadores.

VI. Bibliografía

- (IDAE), I. P. (2010). Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto.
- ASEFAVE, A. E. (2006). *Manual de producto-Fachadas ligeras*. Madrid: AENORediciones.
- E. MIGUEL MITRE, C. E. (2010). *Documentación de final de obra de edificio contenedor de industria, taller, almacén, oficina y comercio*.
- IDAE, I. p. (mayo de 2009). *CALENER-GT: Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico*. Madrid.
- MONJO CARRIÓN, J. (2003). *Tratado de construcción-Fachadas y cubiertas*. Madrid: Munilla-Lería.
- MONJO CARRIÓN, J. (2007). *Tratado de construcción-Fachadas y cubiertas (II)*. Madrid: Munilla-Lería.
- MORENO GARCÍA, M. D. (1999). *Climatología urbana*. Barcelona: Univ de Barcelona.
- NEILA GONZÁLEZ, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.
- OLGYAY, V. (1998). *Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.
- OLIVARES SANTIAGO, M., & ESCRIBANO OLMO, R. (1994). Los vidrios de baja emisividad. *Materiales de construcción*, Vol 44, nº 236, 52.
- PONGA MAYO, J. C. (2000). *Arquitectura popular en las comarcas de Castilla y León*. Junta de Castilla y León.
- Productos: Sgg Bioclean: SAINT-GOBAIN*. (s.f.). Recuperado el 24 de 08 de 2015, de SAINT-GOBAIN: <http://es.saint-gobain-glass.com/product/2164/sgg-bioclean%C2%AE>
- TAMAYO ALONSO, D. (s.f.). *Blog edificio Lucía*. Recuperado el 18 de julio de 2015, de edificio-lucia.blogspot.com.es
- VALBUENA GARCÍA, F. (2011). *Memoria Constructiva Edificio LUCIA*. Valladolid.
- YAÑEZ PARADERA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Mulilla-Lería.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual. Fuente Figura 2.4 DB HS-1.....	13
FIGURA 2. Zonas eólicas. Fuente Figura 2.5 DB HS-1.....	13
FIGURA 3. Encuentro de la cubierta con paramento vertical. DB HS-1 Figura 2.13.	14
FIGURA 4. Logos de los programas de simulación estudiados.	17
FIGURA 5. Mapa físico, cuadrante Noroeste Península Ibérica. Elaborado a partir de mapa físico extraído de: http://www.zonu.com/	19
FIGURA 6. Valladolid. Plano de situación con los dos edificios a estudiar. Fuente: PGOU.	22
FIGURA 7. Frente de fachada Oeste edificio ENVITE. Imagen propia.....	23
FIGURA 8. Imagen aérea esquina del polígono industrial El Carrascal. Fuente: IBERPIX, (PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).	23
FIGURA 9. Fachada Sur-Oeste del edificio LUCIA. Imagen propia.....	25
FIGURA 10. Imagen aérea esquina del polígono industrial El Carrascal. Fuente: IBERPIX, (PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).	25
FIGURA 11. Imagen aérea del campus Miguel Delibes. Fuente: IBERPIX, (PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).	27
FIGURA 12. Funcionamiento en verano (azul) y en invierno (rojo). Imagen propia.	28
FIGURA 13. Lucernaire y captador solar integrados en la fachada. Explicación de funcionamiento en invierno y en verano. Imagen propia tomada el 24 de julio a las 13:00.	28
FIGURA 14. Radiación solar en verano y en invierno. Elaboración propia.....	29
FIGURA 15. Interior del atrio bioclimático. Imagen propia tomada a las 13:00 del 20 de julio.	29
FIGURA 16. Funcionamiento de los lucernaires en situación de verano. Elaboración propia.	30
FIGURA 17. Cubierta jardín y rejillas de ventilación de atrio bioclimático. Imagen propia. Derecha, Esquema de estructura de la nave industrial, fuente: Documentación gráfica del proyecto.....	30
FIGURA 18. Indicador Energético del edificio, extraído del informe de calificación, resultado de la simulación del proyecto en el CALENER-GT.	31
FIGURA 19. Etiqueta de eficiencia energética generada por el programa CALENER GT.	33
FIGURA 20. Planta de cubiertas con los diferentes sistemas de envolvente a estudiar marcados. Fuente: documentación del proyecto.	33
FIGURA 21. Evolución del cerramiento según Alberto Ballarín Irbarren.	34
FIGURA 22. Subestructura de madera vista debido a mantenimiento, situado en el espacio perimetral al auditorio en cubierta. Imagen propia tomada durante la visita al edificio.	35
FIGURA 23. Sección constructiva del proyecto. Escala 1:30. Fuente: documentación del proyecto.	35
FIGURA 24. Sección constructiva del proyecto. Fachada Norte. Escala 1:30. Fuente: documentación del proyecto	36
FIGURA 25. Despiece de la subestructura en pórticos. Fuente: Documentación del proyecto.	37
FIGURA 26. Huecos de la fachada principal con la rejilla automática de ventilación. Imagen propia.	37
FIGURA 27. Sección tipo del muro con los parasoles. Documentación del proyecto.....	37
FIGURA 28. Interior del bloque de oficinas con el atrio bioclimático a la izquierda. Imagen propia.	37
FIGURA 29. Prototipo de captador solar de aire para la fachada Sur y sección tipo con captador solar. Fuente: memoria del proyecto ENVITE.....	40
FIGURA 30. Funcionamiento de un muro trombe, cuatro tipos de usos. En el ENVITE se emplea el primero para verano y el tercero para invierno. Imagen propia.....	40
FIGURA 31. Captador solar del edificio ENVITE. Imagen propia tomada a las 13:15 horas, julio. Derecha, sistema con muro Trombe, imagen propia.....	40
FIGURA 32. Parte inferior, interior y vista desde las oficinas de un lucernaire. Imagen propia.....	41

FIGURA 33. Sección constructiva e. 1:30, Documentación gráfica del proyecto.	41
FIGURA 34. Subestructura de dos tipos de lucernarios. Fuente: documentación gráfica del proyecto.	41
FIGURA 35. Esquema de refrigeración por evaporación. Imagen propia.	42
FIGURA 36. Ábaco de Givioni. Efecto refrigerante de la evaporación del agua. Fuente, Y. PARADERA (2008), <i>Arquitectura solar e iluminación natural</i> , pág. 130.	42
FIGURA 37. Sección tipo de cubierta extensiva, capas en el orden de la explicación referentemente.	43
FIGURA 38. Imagen de la cubierta ajardinada con los lucernaires.	43
FIGURA 39. Cuerpo de oficinas, cerramiento del interior del atrio y cerramiento del exterior. Imagen propia.	45
FIGURA 40. Sección de proyecto a escala 1:30. Izquierda, cubierta jardín, derecha, atrio climatizado. Fuente: documentación del proyecto.	45
FIGURA 41. Detalle de unión de correa a peralte mediante un estribo y esquema de estructura. Fuente: documentación gráfica del proyecto.	46
FIGURA 42. Paneles móviles de cubierta y estructura de madera laminada. Imagen propia.	46
FIGURA 43. Sección por un la cubierta de tipo ligero. Fuente: documentación del proyecto.	48
FIGURA 44. Reorientación de los huecos de las fachadas. Imagen propia.	49
FIGURA 45. Interior fachada lado Este. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 10:30h.	49
FIGURA 46. Cubierta extensiva, vista hacia el sur. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 11:00 h.	51
FIGURA 47. Imagen del espacio de spin-off y la doble piel fotovoltaica. Imagen propia tomada el 9 de julio a las 10:40 h.	51
FIGURA 48. Lucernario norte, vista interior desde la tercera planta.	51
FIGURA 49. Lucernario Sur, vista interior desde la planta baja. Imagen propia.	51
FIGURA 50. Pozos canadienses y cuarto de instalaciones. Imagen propia.	52
FIGURA 51. Calificación de eficiencia energética del LUCIA. Fuente, informe producido por el CALENER GT.	55
FIGURA 52. Planta de cubierta, indicación de los cerramientos a estudiar. Fuente: documentación gráfica del proyecto.	57
FIGURA 53. Anclajes mediante angular y anclaje de retención. Fuente: documentación gráfica del proyecto y fotos de obra proporcionadas por la Unidad Técnica de la UVa.	59
FIGURA 54. Sección constructiva por paneles prefabricados de hormigón. E. 1:30. Elaboración propia. ...	59
FIGURA 55. Imagen de obra. Colocación de los paneles prefabricados de hormigón. Foto cedida por la Unidad Técnica de la Universidad de Valladolid.	60
FIGURA 56. Remate superior de los paneles prefabricados de hormigón. Imagen propia, 21 de julio a las 11:30h.	61
FIGURA 57. Sección constructiva por paneles prefabricados de hormigón. E. 1:30. Elaboración propia ...	61
FIGURA 58. Vista de los dientes de sierra desde la parte inferior. Zona con chapa y con hormigón visto. Imagen propia.	62
FIGURA 59. Sección horizontal tipo de las costillas y los huecos. Elaboración propia.	62
FIGURA 60. Imagen de la cubierta ajardinada extensiva con los captadores solares. Imagen propia tomada el 21 de julio a las 11: 35.	64
FIGURA 61. Sección constructiva solatube. E. 1:30. Elaboración propia.	65
FIGURA 62. Módulo en cubierta. Incorpora dos pequeños y uno grande. Imagen propia.	65
FIGURA 63. Solatube tipo horizontal. Imagen propia.	65
FIGURA 64. Doble piel fotovoltaica. Izquierda, exterior con rejilla de ventilación inferior; derecha, interior de la doble piel. Imágenes propias tomadas el 21 de julio a las 12:15 y 11:45 horas respectivamente.	66
FIGURA 66. Anclaje de la doble piel fotovoltaica. Imagen propia.	67
FIGURA 65. Sección vertical por doble piel fotovoltaica. E. 1:50. Elaboración propia.	67

FIGURA 67. Izquierda, lucernario fotovoltaico Sur; derecha, ventilación superior de la doble piel fotovoltaica.	68
FIGURA 68. Lucernario fotovoltaico Sur desde el espacio interior. Imagen propia, 11:30 h.	68
FIGURA 69. Lucernario norte. Izquierda: estructura del lucernario apoyado sobre un murete de hormigón visto. Sistema automático de apertura para ventilación. Derecha: superior del lucernario con el vidrio fotovoltaico sucio. Imágenes propias.	69
FIGURA 70. Izquierda, una de las sondas instaladas en el edificio (En concreto en el lucernario sur), mide la temperatura del material y la humedad del ambiente, imagen propia tomada a las 12:30h. Derecha, gráfica resultado diario de cada uno de las sondas instaladas.	70
FIGURA 71. Tabla de contenido de energía primaria de diversos materiales. Elaboración propia. Fuentes: http://www.tectonica-online.com ; Guía de la edificación sostenible, Instituto Cerdá, Ministerio de Fomento, IDAE, 1999.	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Elaboración de tabla de Transmitancias límite. Fuente: CTE DB-HE, Apéndice D.	12
TABLA 2. Elaboración de tabla de Transmitancias Límite de huecos. Fuente: CTE DB-HE, Apéndice D.	12
TABLA 3. Esquema de opciones para cumplir la DB HE-1, elaboración propia. Fuente RD 47/2007, de 19 de enero.	15
TABLA 4. Valores climatológicos Valladolid. Periodo 1981-2010. Fuente: http://www.aemet.es/	20
TABLA 5. Tabla con las superficies útiles del edificio ENVITE. Elaboración propia. Fuente: ENVITE, Documentación de final de obra de edificio contenedor de industria, taller, almacén, oficina y comercio, (2010).	24
TABLA 6. Tabla con las superficies útiles del edificio LUCIA. Elaboración propia. Fuente: Lucia, memoria descriptiva.	26
TABLA 7. Espacios con dimensiones y características. Elaboración propia a partir de las tablas del punto 7 del Informe de Eficiencia del edificio ENVITE, datos introducidos por el calculista para el CALENER-GT.	32
TABLA 8. Características de un panel de lana de roca de doble densidad de 90mm. Elaboración propia. Fuente: Rockwool.	36
TABLA 9. Tabla con la transmitancia térmica del muro del ENVITE. Elaboración propia.	38
TABLA 10. Tabla de transmitancias para la cubierta ajardinada del ENVITE. Elaboración propia.	44
TABLA 11. Sectores y carga de fuego, elaborado a partir del documento de la memoria del ENVITE.	47
TABLA 12. Indicador Energético del edificio LUCIA, extraído del Informe de Calificación del CALENER-GT.	54
TABLA 13. Comparación de modelos CALENER GT, EQUEST y el proyecto LUCIA. Fuente: Simulación Energética Edificio Lanzadera Universitaria de entro de Investigación Aplicada- Lucia- del ICCL.. ...	56

VII. ANEXO I energía primaria en materiales

Tabla de contenido de energía primaria de diversos materiales. Elaboración propia. Fuentes: <http://www.tectonica-online.com>; Guía de la edificación sostenible, Instituto Cerdá, Ministerio de Fomento, IDAE, 1999.

MATERIAL	Contenido de energía primaria MJ/Kg	Densidad Kg/m ³	Conductividad Térmica W/mK	Difusividad térmica m ² /s	Efusividad térmica W/m ² K
Madera	3,00	600	0,140	0,17	267
Madera laminada	7,69	465	0,120	0,6	382
Tableros de viruta orientada	8,86	650	0,080	0,07	299
Hormigón armado (2% de cuantía)	1,64	2.500	1,410	0,64	2.036
Hormigón aligerado	1,31	600	0,150	0,57	452
Aluminio primario	215,00	2.750	204,000	84,89	22.141
Aluminio 30% reciclado	160,00	2.750	204,000	84,89	22.141
Poliestireno expandido (EPS)	100,00	18	1.349	1,28	33
Poliestireno extruido (XPS)	100	33,00	0.033	0,55	38,00
Vidrio plano	9	2.500	0,950	0,46	1,703
Lana mineral	13,00	30-150	0,042-0,047	1,03-0,24	37-80
Corcho negro aglomerado					

VIII. ANEXO II certificaciones energéticas

CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA ENVITE

1. DATOS GENERALES

Nombre del Proyecto Edificio contenedor grupo Lince		
Comunidad Autónoma	Localidad Zona D3	
Dirección del Proyecto C/ Nitógeno 41		
Autor del Proyecto Jesús Antonio Tejedor Sánchez		
Autor de la Calificación Jesús Antonio Tejedor Sánchez		
E-mail de contacto tejedor.jesus@gmail.com	Teléfono de contacto 636927247	
Tipo de calificación Edificio existente	Ref. registro catastral 8571208UM5087B0001RZ	
Tipo de edificio Oficinas	Cobertura solar mínima CTE-HE 4 (%) 30.0	Energía eléct. con renovables (kWh/año) 111068.0
Superficie acondicionada (m ²) 1537.41	Superficie no acondicionada (m ²) 2065.87	Superficie de plenums (m ²) 0.00

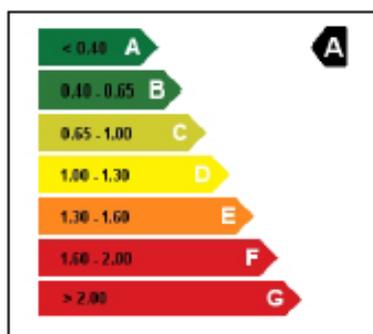
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	99.3	88.5	1.12	D
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	67.1	62.2	1.08	D
Energía Primaria (kW·h/m ²)	71.2	114.0	0.62	B

Emissiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	8.1	16.7	0.48	B
Emissiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	3.2	0.00	A
Emissiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	2.2	9.4	0.23	A
Emissiones Tot. (kg CO ₂ /m ²)	10.2	29.3	0.35	A

Nota: Los valores han sido obtenidos utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES



Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	218612.7	261735.8
Energía Final (kWh/(m ² año))	60.7	72.6
En. Primaria (kWh/año)	256390.9	410603.0
En. Primaria (kWh/(m ² año))	71.2	114.0
Emissiones (kg CO ₂ /año)	38880.4	106483.0
Emissiones (kg CO ₂ /(m ² año))	10.2	29.3

El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA LUCIA

1. DATOS GENERALES

Nombre del Proyecto Edificio LUCIA en Valladolid		
Comunidad Autónoma Castilla - León	Localidad Valladolid	
Dirección del Proyecto Valladolid		
Autor del Proyecto		
Autor de la Calificación		
E-mail de contacto		Teléfono de contacto (null)
Tipo de edificio Oficinas	Cobertura solar mínima CTE-HE 4 (%) 0.0	Energía eléct. con renovables (kWh/año) 115676.0
Superficie acondicionada (m ²) 6015.24	Superficie no acondicionada (m ²) 1700.51	Superficie de plenums (m ²) 0.00

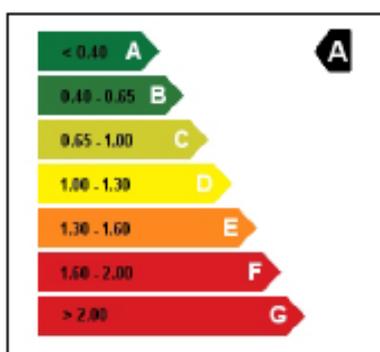
2. RESUMEN INDICADORES ENERGÉTICOS ANUALES

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calef. (kW·h/m ²)	32.1	62.1	0.52	B
Demanda Refri. (kW·h/m ²)	53.3	71.0	0.75	C

Emissiones Climat. (kg CO ₂ /m ²)	3.2	25.9	0.12	A
Emissiones ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0	0.0	0.00	A
Emissiones Ilum. (kg CO ₂ /m ²)	3.6	18.3	0.20	A
Emissiones Tot. (kg CO ₂ /m ²)	6.8	44.2	0.15	A

Nota: Las demandas y emisiones por metro cuadrado han sido obtenidas utilizando la suma de las superficies acondicionadas y no acondicionadas

3. ETIQUETA Y VALORES TOTALES

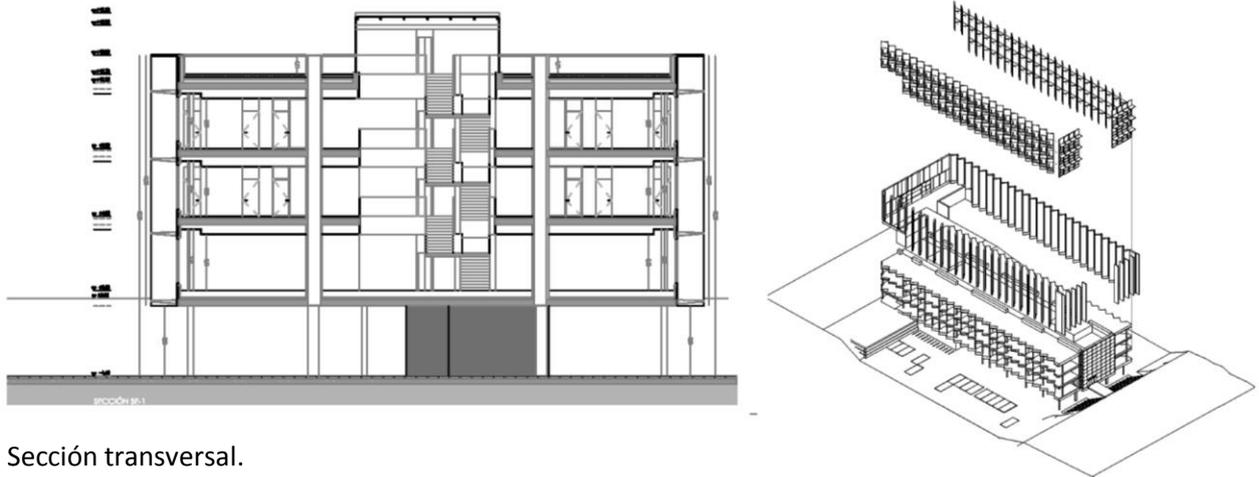


Concepto	Edif. Objeto	Edif. Referencia
Energía Final (kWh/año)	391711.8	814708.4
Energía Final (kWh/(m ² año))	76.7	105.6
En. Primaria (kWh/año)	686517.2	1330746.4
En. Primaria (kWh/(m ² año))	89.0	172.5
Emissiones (kg CO ₂ /año)	62478.8	340882.8
Emissiones (kg CO ₂ /(m ² año))	6.8	44.2

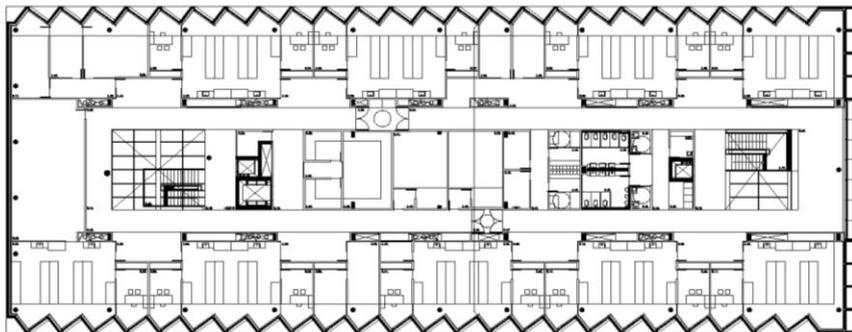
El consumo real de energía del edificio y sus emisiones de dióxido de carbono dependerán de la climatología y de las condiciones de operación y funcionamiento reales del edificio, entre otros factores.

IX. ANEXO III planos de proyecto

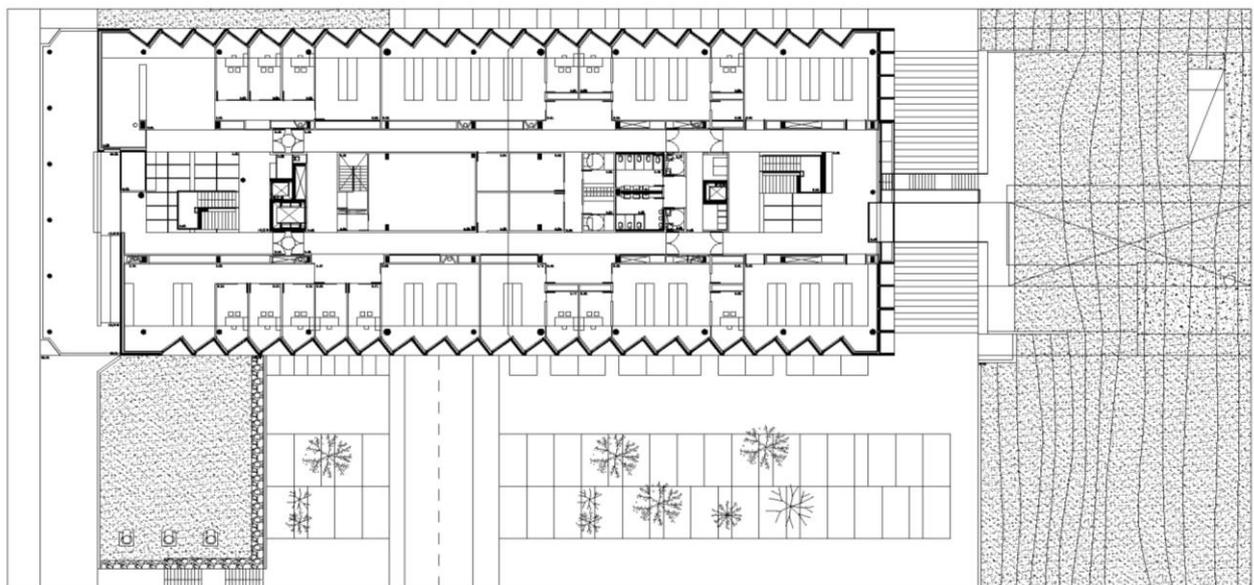
LUCIA (los detalles constructivos elaborados están en el CD adjunto)



Sección transversal.

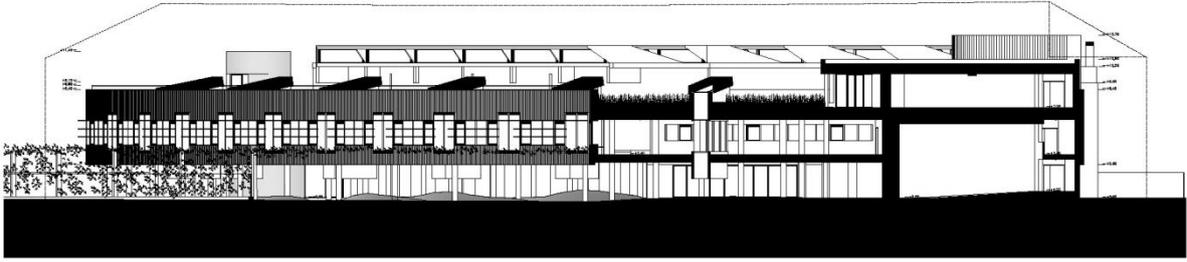


Planta tipo

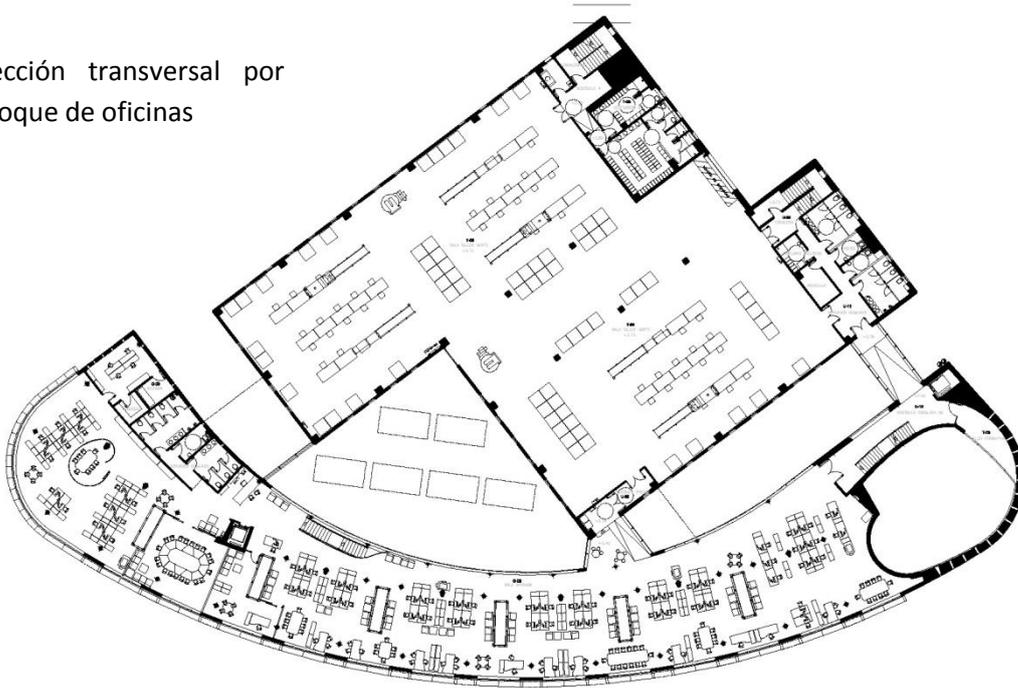


Planta baja

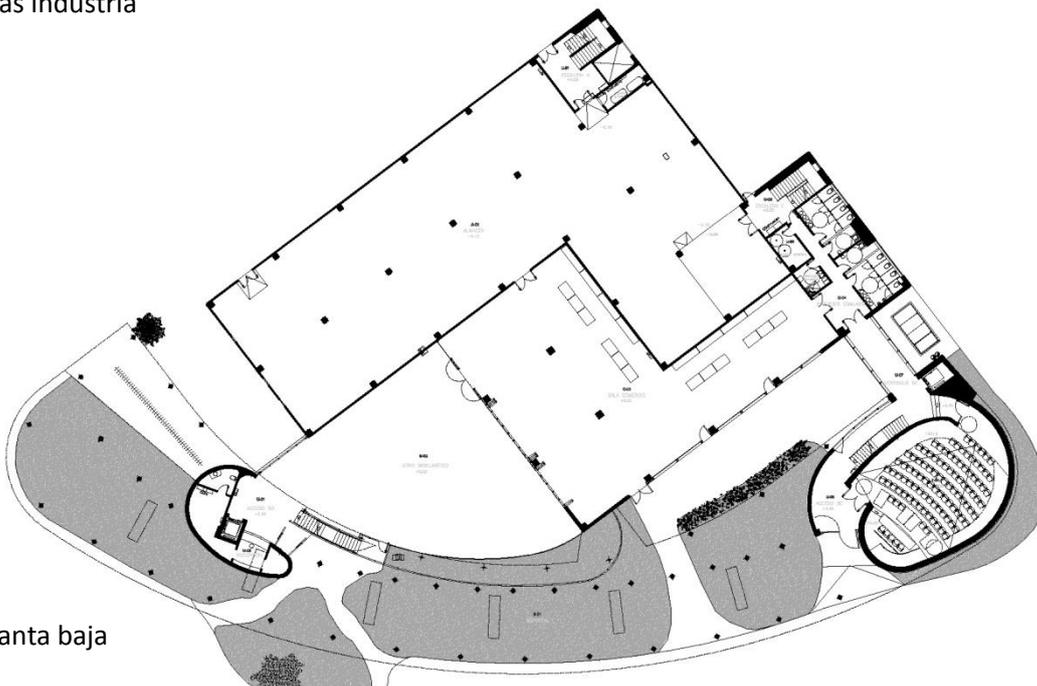
ENVITE



Sección transversal por
bloque de oficinas



Planta primera, oficinas
mas industria



Planta baja

