



Universidad de Valladolid

**ESTUDIO CONSTRUCTIVO DE BÓVEDAS TABICADAS
EL CASO DEL COLEGIO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO
LINARES DE RIOFRÍO, SALAMANCA**

AUTOR

SANTIAGO RODRÍGUEZ MARCOS

TUTORES

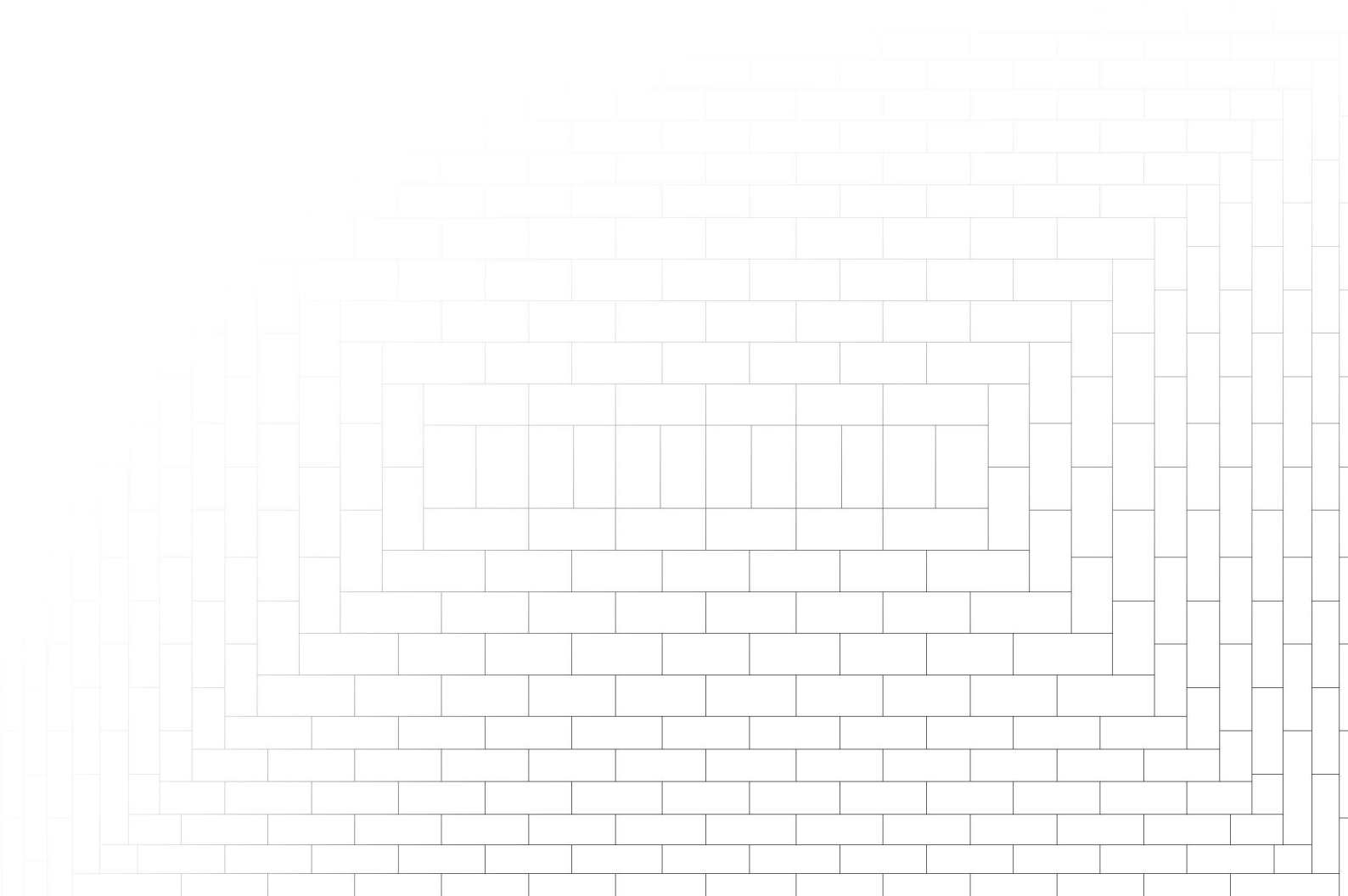
LUIS ALFONSO BASTERRA OTERO
CATEDRÁTICO DE CONSTRUCCIÓN

MARÍA SOLEDAD CAMINO OLEA
PROFESORA TITULAR DE CONSTRUCCIÓN

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

JULIO 2019

*"A mis padres y hermana,
por su amor y dedicación"*



AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda que han aportado las personas y entidades para la redacción de este trabajo.

A mi familia y amigos:

- Eduardo Pérez Calvo
- Irene Rodríguez Izquierdo
- Javier Ropero Giralda
- Javier Santa Martina Marcos
- Jesús Santa Martina Marcos
- Juan Víctor Rodríguez Serrano
- Teresa Marcos García

A los constructores en vida del Colegio, por sus declaraciones:

- Adrián Calvo Pérez
- Santiago Asensio Hernández

A mis tutores, por guiar el trabajo:

- Alfonso Bastera Otero
- María Soledad Camino Olea

Al Ayuntamiento y Colegio de Linares de Riofrío, por su confianza.

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado trata sobre las bóvedas tabicadas, un sistema constructivo realizado mediante la unión de piezas cerámicas, huecas o macizas, con yeso y/o mortero, con una determinada curvatura. Primero se estudian de forma genérica y en segunda instancia, de forma particular en un edificio: el antiguo Colegio Nuestra Señora del Rosario de Linares de Riofrío. Para ello, se investiga qué han dicho los tratadistas más destacados a lo largo de la historia, se define el sistema constructivo y se aplica a las bóvedas del edificio mencionado.

PALABRAS CLAVE

Bóveda / Tabicada / Esquifada / Empuje / Lengüeta / Peralte / Apoyo

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	METODOLOGÍA	14
3.	ANTECEDENTES	15
3.1.	TRATADISTAS	16
3.2.	TABLA RESUMEN	41
3.3.	CONCLUSIONES	42
4.	DEFINICIÓN DE LAS BÓVEDAS TABICADAS	44
4.1.	DESCRIPCIÓN	44
4.2.	CARACTERÍSTICAS	45
4.3.	CONSTRUCCIÓN	49
5.	DOCUMENTACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL EDIFICIO	67
5.1.	EMPLAZAMIENTO	67
5.2.	DOCUMENTACIÓN	68
5.3.	HISTORIA	69
5.4.	DESCRIPCIÓN	69
5.5.	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	71
5.5.1.	ESTRUCTURA	71
5.5.2.	ENVOLVENTE	83
6.	CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS BÓVEDAS TABICADAS DEL EDIFICIO	86
6.1.	BÓVEDA ESQUIFADA	88
6.1.1.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE MUROS	91
6.1.2.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE ARCOS DE LADRILLO Y MUROS	92
6.1.3.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA Y MURO	93
6.1.4.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE CUADRAL DE VIGUETAS	98
6.1.5.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA Y PILAR O MACHÓN	101
6.1.6.	BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGA Y PILAR	102
6.2.	BÓVEDA CIRCULAR REBAJADA	103
6.2.1.	BÓVEDA CIRCULAR SOBRE MURO	104
6.2.2.	BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y PILAR O MACHÓN	106
6.3.	BÓVEDA DE CAÑÓN PARABÓLICA	112
6.3.1.	BÓVEDA DE CAÑÓN SOBRE MUROS DE FACHADA	117
6.3.2.	BÓVEDA DE CAÑÓN SOBRE MUROS INTERIORES	118

7. ESTUDIO DETALLADO DE LA TORRE OESTE	121
7.1. DESCRIPCIÓN DE LA TORRE	121
7.2. LEVANTAMIENTO	123
7.2.1. OBJETIVOS DEL LEVANTAMIENTO	123
7.2.2. TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO. HERRAMIENTAS	123
7.2.3. METODOLOGÍA	125
7.2.4. REPRESENTACIÓN	127
7.3. ANÁLISIS	128
7.3.1. ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO SIMPLE	128
7.3.2. ANÁLISIS DE LA RESTITUCIÓN FOTOGRÁFICA	141
7.3.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES	145
7.4. DIAGNÓSTICO	149
7.4.1. HIPÓTESIS DEL "ASIENTO DIFERENCIAL"	150
7.4.2. HIPÓTESIS DEL "GIRO"	152
7.4.3. HIPÓTESIS DEL "SUMATORIO DE EMPUJES HORIZONTALES"	154
8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN LA TORRE OESTE	159
8.1. DECISIONES DE PROYECTO	159
9. CONCLUSIONES	163
10. BIBLIOGRAFÍA	165
ANEJO 1. PLANOS	167
ANEJO 2. ALZADOS RECTIFICADOS	180
ANEJO 3. DOCUMENTOS HISTÓRICOS	184

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Prueba de carga de Rafael Guastavino. (Huerta, 2001, pág. 96)	26
Ilustración 2. Rafael Guastavino sobre un arco tabicado. (Moreira, 2019)	28
Ilustración 3. Cálculo gráfico de Gaudí para las columnas del Parque Güell. (Huerta, 2001, pág. 102)	30
Ilustración 4. Ejemplo de cálculo por estática gráfica realizado por Esther Redondo, alumna de Santiago Huerta. (Martínez, 2013)	40
Ilustración 5. Ejemplo de bóveda tabicada. Oyster Bar (Nueva York) diseñado por Guastavino. (Barba, 2014)	44
Ilustración 6. Apoyo de la rasilla en una roza o "galze" abierta en la pared. (Truño, 2004, pág. 25)	49
Ilustración 7. Apoyo de bóvedas en vuelo. (Blanco, 1947, pág. 24)	50
Ilustración 8. Arista en el testero de arranque de la bóveda. (Truño, 2004, pág. 29)	50
Ilustración 9. Preparación para la construcción de bóveda sobre arcos. (Blanco, 1947, pág. 13)	51
Ilustración 10. Apoyo de bóveda sobre vigueta "tumbada". (Blanco, 1947, pág. 40)	52
Ilustración 11. Apoyo en deslizamiento (Blanco, 1947, pág. 47)	53
Ilustración 12. El albañil "enllarda" la rasilla colocando yeso en el canto y la testa. (Truño, 2004, pág. 17)	55
Ilustración 13. Albañil colocando piezas del senzillado. (Truño, 2004, pág. 21)	56
Ilustración 14. Plantilla de madera y cordeles de ayuda. (Blanco, 1947, pág. 11)	57
Ilustración 15. Replanteo mediante plomada. (Blanco, 1947, pág. 14)	58
Ilustración 16. Proceso de construcción del doblado. (Blanco, 1947, pág. 10)	60
Ilustración 17. Proceso de construcción de lengüetas. (Blanco, 1947, pág. 21)	61
Ilustración 18. Formación de pendiente mediante lengüetas. (Blanco, 1947, pág. 31)	62

Ilustración 19. Formación de superficie planta mediante lengüetas. (Truño, 2004, pág. xlix)	63
Ilustración 20. Zuncho cuadrado formado con perfiles de acero unidos con pletinas. (Blanco, 1947, pág. 40)	66
Ilustración 21. Antigua fotografía del Colegio y su implantación en el entorno.	67
Ilustración 22. Fotografía aérea del edificio en relación con el pueblo. Fuente: Google Earth, 2017	69
Ilustración 23. Fotografía de la fachada principal. Fuente: el autor, 2019	70
Ilustración 24. Parte superior de una bóveda esquifada con su segunda vuelta incompleta. Fuente: foto del autor.	89
Ilustración 25. Espesor del tablero horizontal sobre las lengüetas. Fuente: foto del autor.	90
Ilustración 26. Bóveda esquifada sobre muros de planta sótano. Fuente: foto del autor	91
Ilustración 27. Bóveda esquifada sobre arcos de planta baja. Fuente: foto del autor.	92
Ilustración 28. Bóveda esquifada sobre viguetas de planta sótano. Fuente: foto del autor.	93
Ilustración 29. Bóveda sobre cuadrado de viguetas de planta segunda en la torre oeste. Fuente: foto del autor.	98
Ilustración 30. Bóveda rebajada de piso con zuncho metálico girado. (Guastavino, 1893, pág. 126)	99
Ilustración 31. Bóvedas esquifadas sobre vigueta y pilar en el rellano de planta primera. Fuente: foto del autor.	101
Ilustración 32. Bóveda esquifada sobre viga y pilar en planta baja. Fuente: foto del autor.	102
Ilustración 33. Bóveda circular rebajada en planta sótano. Fuente: foto del autor.	104
Ilustración 34. Bóveda circular rebajada sobre viguetas y tornapuntas. Fuente: foto del autor.	106
Ilustración 35. Bóveda circular rebajada sobre viguetas, pilares y machones. Fuente: foto del autor.	107
Ilustración 36. Bóveda circular rebajada sobre vigueta y machones. Fuente: foto del autor.	108

Ilustración 37. Geometría de varias bóvedas parabólicas. (Blanco, 1947, pág. 23)	112
Ilustración 38. Proceso de construcción de bóveda cañón. (Blanco, 1947, pág. 16)	113
Ilustración 39. Proceso de construcción de luneto. (Blanco, 1947, pág. 17)	115
Ilustración 40. Bóveda de cañón parabólica en salón de actos. Fuente: foto de Javier Roperó Giralda.	117
Ilustración 41. Bóveda de cañón parabólica sobre "transepto". Fuente: foto del autor.	118
Ilustración 42. Vigüeta agrietada con nivel láser vertical. Planta primera. Fuente: foto del autor.	146
Ilustración 43. Ampliación. Vigüeta partida y desplazada respecto de la referencia del láser. Fuente: foto del autor.	146
Ilustración 44. Vigüeta con suela desprendida. Fuente. Foto del autor.	147
Ilustración 45. Vigüeta agrietada formando un ángulo agudo. Planta baja. Fuente: foto del autor.	148
Ilustración 46. Dcha. Hundimiento del terreno. Grieta en vértices de huecos. (Rodríguez, 2004, pág. 51)	150
Ilustración 47. Izq. Asiento diferencial en esquina. Desprendimiento de témpano. (Rodríguez, 2004, pág. 35)	150
Ilustración 48. Comparación entre grieta por asiento y grieta de la torre. Dibujo del autor.	151
Ilustración 49. Agrietamiento de fachada por giro. (Rodríguez, 2004, pág. 36)	152
Ilustración 50. Comparación entre grieta por giro y grieta de la torre. Dibujo del autor.	153
Ilustración 51. Fuerzas actuantes en la Torre Oeste. Dibujo del autor.	158
Ilustración 52. Fuerzas actuantes tras la intervención. Dibujo del autor.	162
Ilustración 53. Unión de vigüetas mediante zuncho de hormigón. Dibujo del autor.	162

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene por objeto el estudio de las bóvedas tabicadas, primero, de forma genérica y, en segunda instancia, de forma particular en un edificio.

Los **motivos** de la elección de éste tema son dos:

- En primer lugar, el interés por el estudio de dicho edificio: el antiguo Colegio Nuestra Señora del Rosario, actual CEO Alto Alagón, situado en Linares de Riofrío (Salamanca). Éste edificio tiene un importante valor sentimental para el autor, ya que en él se formó y en él intervino su abuelo en la construcción.
- En segundo lugar, el interés por el estudio de las bóvedas tabicadas, un sistema constructivo que parece olvidado y que, sin embargo, tiene muchas posibilidades como se comentará durante el desarrollo del trabajo.

Los **objetivos**, por tanto, son también dos:

- Primeramente, el estudio del sistema constructivos basado en las bóvedas tabicadas.
- Seguidamente, la aplicación del precedente estudio al edificio mencionado, con dos finalidades:
 - Analizar y clasificar las diversas bóvedas tabicadas presentes en el edificio en base a su forma y construcción.
 - Determinar su estado de conservación y, en consecuencia, realizar una breve propuesta de intervención de una parte del edificio.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para alcanzar los objetivos es la siguiente:

1. **Antecedentes:** en primer lugar, se procede a la consulta de bibliografía específica con la finalidad de conocer qué han dicho sobre el tema los autores más relevantes a lo largo de la historia.
2. **Definición** de las bóvedas tabicadas: tras la investigación, y en base a la misma, se describen las características de las bóvedas tabicadas, así como su proceso de construcción y sus condiciones de contorno (tipos de apoyos, construcciones auxiliares, etc.)
3. **Documentación** y estado actual del edificio: simultáneamente, se procede a la búsqueda de información del edificio objeto de estudio.
4. **Clasificación** y análisis de las bóvedas tabicadas del edificio: una vez presente la documentación del edificio, se clasifican los diversos tipos de bóvedas y se analizan en cuanto a forma y construcción se refiere.
5. **Estudio detallado** de la Torre Oeste: después de la clasificación de las bóvedas en todo el edificio, el estudio se centra en la Torre Oeste, la que presenta más lesiones ligadas a las bóvedas tabicadas.
6. **Propuesta** de intervención en la Torre Oeste: tras el estudio pormenorizado de ésta parte del edificio, se realiza una breve propuesta de intervención, estableciendo una posible restauración.
7. **Conclusiones:** finalmente, se escriben líneas a modo de conclusiones y valoraciones de lo que ha sido y supuesto el trabajo en su conjunto.

3. ANTECEDENTES

Para el conocimiento de las bóvedas tabicadas, es importante realizar un recorrido a lo largo de la historia para entender cómo concebían las bóvedas tabicadas los principales tratadistas y técnicos que se dedicaron en mayor o menor medida a su estudio.

La finalidad que se persigue es la comprensión del sistema constructivo y la elaboración de un seguimiento de la evolución del pensamiento relativo a éstas bóvedas y la relación con su época histórica. De éste modo, se descubrirá la heterogeneidad de opiniones y el constante debate al que ha dado lugar este tipo de construcciones.

De esta forma, en las siguientes líneas se citarán por orden cronológico los autores tratados, exponiendo de cada uno de ellos una breve historia, algunas de sus declaraciones y el método empleado por ellos para dimensionar el sistema de bóvedas tabicadas, en el caso que lo propusieran. Al final de cada autor se resumirá, a modo de conclusión, cómo entiende él mismo este sistema constructivo.

Finalmente, y tras el análisis, se tratará de establecer una serie de comparaciones y conclusiones que ayuden al posterior estudio.

Los primeros textos relativos a este tipo de bóvedas datan de los siglos XIV y XV y es ya, en el siglo XVI, cuando son empleadas de manera habitual. (Huerta, 2001). A partir de éste momento se encuentran algunos tratadistas como los siguientes:

3.1. TRATADISTAS

Fray Lorenzo de San Nicolás (1593 - 1679) es considerado el primer gran tratadista de este tipo de construcciones. Con su escrito datado en 1639 hace un recorrido por los principales tipos de sistemas abovedados construidos hasta la fecha, dividiéndolos en: bóvedas de cañón, de media naranja, de capilla "bayda", de capilla esquifada y de capilla por arista; y en función de los materiales empleados: de yeso tabicado, de rosca y de cantería, diferenciando las tabicadas de las de rosca de ladrillo argumentando que las segundas requieren cimbras más robustas y costosas. (Luna & López Bernal, 2007)

Es el primero en establecer de forma clara una serie de reglas a aplicar en las bóvedas tabicadas, reglas puramente geométricas y basadas en la experiencia. Por todo ello ha influido, de una u otra manera, en la elaboración de estos sistemas hasta principios del siglo XX y en autores como García Berruguilla (1747), Plo y Carmín (1767) o Benito Bails (1796) (Huerta, 2001).

En cuanto a las reglas mencionadas, se refiere a la forma de construcción de las bóvedas tabicadas y a mecanismos que contribuyen a su mejor trabajo y transmisión de las cargas. De este modo afirma lo siguiente:

... y así como vayas tabicando, la irás doblando y macizando las embecaduras hasta el primer tercio, y esto ha de ser en todas las bóvedas, echando sus lengüetas a tres, que levantan el otro tercio, para que así reciban todo el empujo o peso de la bóveda.
(Huerta, 2001, pág. 88)

Es decir, como se comentará en el apartado de "*Construcción*", deben rellenarse las enjutas¹ hasta el primer tercio de la altura de la bóveda² y disponer lengüetas³ hasta el segundo tercio de la misma, como mínimo, puesto que si éstas sirven de soporte al paramento horizontal, en el caso de formar parte de la estructura horizontal, o al paramento

¹ Los senos de la bóveda, es decir, el espacio que hay inmediatamente superior al arranque de la bóveda.

² Ésta es el peralte de la bóveda y no la altura desde el paramento suelo hasta la clave.

³ Tabiquillos situados en la parte superior de la bóveda.

inclinado, en el caso de formar parte de la cubierta, tendrán necesariamente que sobrepasar la altura de la bóveda.

Pero no solo establece estas reglas, sino que, además, dimensiona los estribos para los diferentes tipos de bóvedas, lo que le permite compararlas y establecer conclusiones.

Si bien es verdad que estas consideraciones las hace en base a la construcción típicas de la época como es la iglesia de una nave con bóveda de cañón de medio punto y lunetos. (Huerta, 2001)

Así pues, en la siguiente tabla resumen, se dimensionan los espesores de diferentes estribos en función de la luz y el material con el que está construida la bóveda:

Material	Muro de sección constante	Muro +	Contrafuerte
Piedra	L/3	L/6	L/3
Rosca de ladrillo	L/4	L/7	L/3
Tabicada	L/5	L/8	L/4

Tabla 1. Espesor de estribos en función de la luz y el material según Fray Lorenzo de San Nicolás (Huerta, 1990)

En su tratado también compara de forma similar los diferentes tipos de escaleras realizados con piedra, rosca de ladrillo y tabicadas, demostrando su conocimiento tanto teórico como práctico en todo el ámbito de estas construcciones.

Conclusión: en definitiva, tras realizar estas comparaciones llega a la conclusión de que las bóvedas de piedra empujan más que las de rosca de ladrillo y estas a su vez empujan más que las tabicadas, pero todas ellas tienen un empuje horizontal en mayor o menor medida.

Melchor Callejón, en 1622, enunciaba las ventajas de este sistema en comparación con los sistemas dovelados de piedra. Argumenta lo siguiente:

Solo los arcos mayores fuesen de cantería y las lunetas de los entremedios a lo ligero y la tabla de la bóveda de tabiques doblados con ladrillos gruesos hechos a propósito, en la forma que los templos modernos se fabrican, que tienen fortaleza y poca costa, (...) y las paredes en que restriban trabajan menos trabajan menos, por cuya causa las de este edificio⁴ se fundaron, no con la fortaleza que se requiere para ser todo de cantería, de que podría resultar vicio en la obra y aún riesgo, y mucha mayor costa. (Huerta, 2001)

Conclusión: de este modo, está defendiendo que las bóvedas de ladrillo si empujan, aunque menos que las de fábrica de piedra, la misma conclusión que Fray Lorenzo de San Nicolás.

Félix François. Conde d'Espie (1708 - 1792): fue un noble ilustrado francés que fue influenciado por estas construcciones, en concreto por su cualidad resistente al fuego.

Previamente, cabe describir de forma breve la trayectoria de las bóvedas tabicadas en Francia:

Inicialmente, existía una tradición tabicada de influencia española en la región del Rosellón que, posteriormente, pasó al Languedoc hacia 1700, donde el duque de Belle Isle construyó varias bóvedas tabicadas en su castillo. Ante la novedad se sometió a crítica:

La construcción de estas bóvedas tan ligeras causó gran sensación en aquel momento y fueron discutidas en la Académie Royale d'Architecture tras una memoria presentada el 19 de junio de 1747 por un tal M. Tavenot (Lemmonier, 1920). La Académie no aprobaba esta nueva (para ellos) práctica constructiva. (Huerta, 2001, pág. 89)

⁴ Se refiere a la construcción en 1526 del patio interior del Palacio de Carlos V en Granada.

A pesar de ello, el Conde d'Espie decidió viajar para visitarlas y recoger sus experiencias en un escrito publicado en 1754 el cual tuvo una repercusión importante como lo corrobora su traducción al inglés en 1756, al alemán en 1760 y al español en 1776. Así mismo repercutió en tratadistas como Laugier (1755), Riegier (1763), Blondel/Patte (1771) o Rondelet (1802). (Huerta, 2001)

Dicha traducción al español fue realizada por Joaquín de Sotomayor en su libro titulado "Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el costo de su construcción" en el cual, a la par, va realizando comentarios sobre el tratado del Conde d'Espie, introduciendo nuevas consideraciones como la siguiente:

Los materiales precisos para hacer éstas Bóvedas son el ladrillo y el yeso. (Pero al segundo se podrá sustituir por la cal, y con gran ventaja, así por ser más general su abundancia que la del yeso, y menor por consiguiente su precio, como porque aumentará la solidez de la Obra). (Luna & López Bernal, 2007, pág. 317)

No solo aboga a favor del uso de la cal por su mayor abundancia, sino porque considera al yeso expansivo y causante de deformaciones en la bóveda una vez fraguado, afirmaciones criticadas por Fortea Luna y López Bernal al argumentar que, el sencillado⁵, es preciso realizarlo con yeso puesto que fragua más rápido que la cal⁶ y no tiene tal carácter expansivo. (Luna & López Bernal, 2007)

Además, el Conde d'Espie realiza experimentos sobre las bóvedas tabicadas, como agujerearlas o golpearlas, y consulta con otras personas interesadas en la materia concluyendo lo que en las siguientes líneas se resume:

Conclusión: decidió estudiarlas por su carácter incombustible, su ligereza y adaptabilidad. Sin embargo, acaba defendiendo el monolitismo de estas construcciones, es decir, argumenta que las bóvedas tabicadas no empujan horizontalmente sobre los estribos o muros sobre los que se apoyan.

⁵ Primera capa de las bóvedas tabicadas. Ver apartado "Construcción"

⁶ Y de éste modo los albañiles no tienen que sujetar la rasilla por un mayor tiempo "en el aire".

Benito Bails (1731 - 1797): miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, donde se dedicó a las matemáticas, la docencia y sobre todo a la traducción de escritos debido a su conocimiento del francés.

Algunos de ellos son de J.F. Blondel, Frézier, Palladio, Milicia o Patte, en cuyas traducciones estudia las bóvedas tabicadas, haciendo afirmaciones como la siguiente:

Si fuese posible trabar con mezcla las dovelas de una bóveda de modo que formasen un todo de partes tan adherentes unas con otras, que se pareciese a una tapadera o cobertura de puchero, es constante que no tendrían ningún empujo⁷, y no necesitarían las paredes en que estribasen más grueso que el competente para aguantar el peso de la bóveda. (Luna & López Bernal, 2007, pág. 319)

A esto añade la advertencia de que el yeso es un material que hincha y, por tanto, es importante prever su empujo.

Finalmente, establece las siguientes recomendaciones⁸:

1. No labrarlas en sitios descubiertos.
2. Comprobar la calidad del yeso y del ladrillo y que éste tenga 21 líneas⁹ de grueso.
3. Hacer una zarpa de 5 pulgadas¹⁰ 3 líneas alrededor de las paredes.
4. Hacer cimbras sólidas para que las bóvedas descansen un tiempo sobre ellas.
5. No hacerlas extremadamente rebajadas, darles como mínimo 1/8 de la luz.
6. Asegurarse contra los efectos de la hinchazón del yeso dejando holgura para ello.

⁷ Empuje

⁸ Sintetizadas a partir de (Luna & López Bernal, 2007, pág. 319).

⁹ Medida de longitud que equivale a cerca de 2 milímetros.

¹⁰ Medida de longitud que equivale aproximadamente a 25,5 milímetros.

7. Hacer las lengüetas en forma de arcos de botarete para mayor seguridad.
8. Llenar las embocaduras de grava, granzas¹¹ y tierra.
9. Asentar en el espinazo¹² llantas de hierro¹³ en aspa que hagan oficio de tirantes.
10. Después de quitar las cimbras dar un jaharro¹⁴ al interior de la bóveda.

Para Fortea Luna y López Bernal "estas no son las recomendaciones más idóneas" y así lo explican:

El punto primero carece de sentido ya que en muchos casos las bóvedas sostienen la cobertura y, por ende, han de estar cierto tiempo al descubierto; el cuarto punto tampoco es cierto puesto que en la construcción de las bóvedas tabicadas no se emplea cimbra; el punto sexto es también criticado por ambos, al considerar despreciable la expansividad del yeso; y finalmente, el punto noveno muestra la contradicción habitual de abogar por el monolitismo de las bóvedas y posteriormente colocar tirantes.

Como seguidor de Benito Bails podemos establecer a Fornés y Gurrea, sobre todo es apreciable en la repetición del término "cobertura de puchero" para hacer alusión a la ausencia de empujes de las bóvedas tabicadas.

Conclusión: reúne la condición de monolitismo del Conde d'Espie, aunque recomiende colocar tirantes, y la expansividad del yeso propuesta por su coetáneo Joaquín de Sotomayor, con el que coincide en pensamiento, parafraseando algunos de sus textos.

¹¹ Restos de la construcción.

¹² La carrera más alta de dovelas de una bóveda, que compone su clave. (Bails, 1802)

¹³ Pedazo de hierro de alguna longitud, mucho más ancho que grueso. (Bails, 1802)

¹⁴ Guarnecido.

Manuel Fornés y Gurrea (1777 - 1856): fue un arquitecto valenciano dedicado en parte a la enseñanza. Reformó la Iglesia del Santísimo Cristo del Salvador en Valencia y escribió un tratado en 1841 sobre bóvedas tabicadas que posteriormente se reeditó en 1857.

En dicho tratado aparecen algunas declaraciones contradictorias como la afirmación de que las bóvedas tabicadas empujan en función de su forma: "Después de ordenar el grueso de las paredes sobre las cuales han de apoyar las bóvedas con relación a su capacidad y mayor o menor monte, pues de esta dimana la demarcación de sus empujes" (Gurrea, 1841, pág. 18).

Es consciente de que las bóvedas tabicadas empujan en menor medida que las doveladas, pero como se ve, cree en la necesidad de dimensionar el grueso de los muros.

Sin embargo, unas páginas más adelante aparecen las siguientes afirmaciones:

...y el ladrillo doble se asentará con yeso claro bien batido a juntas encontradas del tabicado; de cuyo modo, y el de construir las bóvedas, cubierta la otra y paredes enjutas, su fábrica se reduce a un cuerpo sólido, igual por ejemplo a una cobertura de puchero, sin más empuje que el de su peso. (Gurrea, 1841, pág. 47).

Es decir, argumenta que una vez realizado el doblado y fraguado el mortero, la bóveda trabaja como la tapa de un puchero, es decir, de forma monolítica, únicamente imprimiendo empujes verticales al muro y no horizontales.

Conclusión: cae en la contradicción entre: primero considerar los empujes para dimensionar el muro y posteriormente, una vez acabada la bóveda, argumentar que deja de tenerlos y trabajar como la tapa de un puchero, algo similar a lo que le pasó a Bails y le pasará a Rafael Guastavino.

D'Oliver (1837) y **Fontaine** (1865): fueron los primeros en realizar pruebas de carga a gran escala y medirlas de forma precisa, a pesar de que las primeras se le atribuyen a Rafael Guastavino. Algunas de ellas son los siguientes:

Un ensayo se realizó sobre tres bóvedas tabicadas de 4 metros de luz y $1/10$ de la luz de peralte, entre perfiles en I de hierro forjado de 47 cm de canto y una luz de 6,25 metros, cubriendo una superficie de 72 m^2 , en el cual se llegó hasta la rotura tras alcanzar una sobrecarga de 1.250 Kg/m^2 . En otra prueba sometida a una bóveda tabicada de un solo vano de 3,75 metros y $1/10$ de la luz de peralte, se alcanzó la sobrecarga de 2.700 kg/m^2 , sin llegar a la rotura. (Huerta, 2001, pág. 91)

Es apreciable la magnitud de las pruebas de carga que se realizaron y los resultados obtenidos que demuestran la holgada capacidad portante de este sistema constructivo cuando trabaja de forma correcta.

Conclusión: veían la necesidad de conocer de forma empírica el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas para, posteriormente, aplicar los conocimientos a sus obras. Como se ha comentado, empleaban perfiles de hierro forjado para estribar y contener los empujes laterales.

Rafael Guastavino Moreno (1842 - 1908): fue un maestro de obras y arquitecto Valenciano formado en la Escuela de Barcelona. Es considerado como el primero en intentar formular una teoría científica que permitiera conocer el comportamiento estructural de las bóvedas tabicadas y calcularlas de forma segura. En su trayectoria podemos diferenciar tres etapas:

En la primera etapa fue alumno de los profesores Juan Torras y Elías Rogent quienes, se cree, estaban influidos por las teorías monolíticas del Conde d'Espie (Huerta, 2001).

Ya en estos momentos Guastavino se interesó por las bóvedas tabicadas, y desde 1860 empleó el sistema constructivo.

El segundo periodo se inicia con la construcción de la fábrica Batlló, en el año 1868, cuando empezó a usarlas tras un desencuentro con el

hormigón, hecho que le marcará y le hará impulsar más aún la construcción tabicada.

A partir de este momento, y hasta 1880, se dedicó a construir bóvedas de piezas cerámicas, como su casa de cuatro plantas u otras fábricas, todo ello basado en cálculos experimentales y no científicos como muestran sus propias declaraciones: "El espesor de las bóvedas se calculó por intuición, de la misma forma que un buen herrero el tamaño de las piezas que usa o que un buen marinero elige el grosor de una cuerda." (Huerta, 2001, pág. 92).

Su éxito se debe sobre todo al rápido crecimiento industrial de Cataluña, que requería un sistema constructivo que conjugara la economía con la seguridad contra incendios. Además, "El logro de Guatavino fue el de recurrir a un procedimiento vernáculo (...) y, mediante la incorporación de materiales actuales - fundamentalmente el cemento portland, en vez de los morteros de cal -, convertirlo en moderno sistema constructivo y desarrollarlo hacia otros horizontes." (Mosteiro, 2000, pág. 366)

La tercera etapa comienza cuando emigró a Nueva York en 1881, donde prácticamente partió de la nada¹⁵ y rápidamente retomó el éxito del que disfrutaba en España. El motivo, según Gutiérrez Mosteiro, se debe a lo siguiente: de manera incipiente, en 1883 ganó un concurso para la construcción del Progress Club, en 1885 un título que acreditaba la resistencia al fuego de sus construcciones, en 1887 inició diversos ensayos y finalmente en 1889 fundó la "Guastavino Fireproof Construction Company", entidad bajo la cual elaboraba un exhaustivo control de todas las fases del proceso constructivo de las bóvedas: diseño y patentes, ensayos, fabricación y manufactura de los distintos tipos de ladrillo, distribución y puesta en obra, controles de calidad y una activa colaboración con los arquitectos autores del proyecto. Todo ello le permitió el abaratamiento de las obras y una gran agilidad del proceso. (Mosteiro, 2000)

¹⁵ "con escaso capital, sin suficientes contactos y sin dominio del inglés." (Mosteiro, 2000, págs. 367-368)

El cálculo de las bóvedas "por intuición", como lo hacía en España, en su tercera etapa empezó a ser "poco científica", viéndose en la necesidad de profundizar más y formular una teoría que situara a las bóvedas tabicadas a la altura de los cálculos elásticos que en ese momento se estaban desarrollando¹⁶ y aplicando a estructuras de acero y madera.

Inicialmente cae en la cuenta de que las bóvedas y su carácter anisótropo las hace diferentes de las estructuras anteriormente mencionadas. De este modo, decide hacer una clasificación previa entre construcciones mecánicas y construcciones cohesivas:

- Las construcciones mecánicas son aquellas que trabajan gracias a la gravedad y la unión de piezas sin mortero y que pueden desmontarse y volverse a montar sin alterar sus condiciones. Por ejemplo, un arco de fábrica de piedra.
- Las construcciones cohesivas, en cambio, son aquellas que trabajan por cohesión de los elementos gracias a su unión mediante mortero y, al contrario que las anteriores, no pueden desmontarse y montarse sin alterar sus propiedades.

En este segundo grupo engloba las bóvedas tabicadas, realizadas con dos o más hojas¹⁷ entre las que se dispone mortero que confiere cohesión al sistema y, por lo tanto, es susceptible de resistir momentos flectores. Como se ve, esta clasificación le permite justificar la diferencia con otros tipos de bóvedas y adaptarse al movimiento elástico de su época.

Para defender sus teorías, inicia en 1887 una serie de ensayos sobre probetas y construcciones que le condujeron a la siguiente tabla resumen, donde recoge numéricamente la resistencia a compresión, tracción y cortante de las bóvedas tabicadas:

¹⁶ Tras las publicaciones de Navier en 1826, el siglo XIX se convirtió en un continuo desarrollo de la teoría elástica.

¹⁷ Puesto que las bóvedas tabicadas de una sola hoja las considera bóvedas doveladas y, por tanto, mecánicas. (Huerta, 2001, pág. 94)

Que, traducida por Santiago Huerta y adaptada a un lenguaje más actual queda en:

$$A\sigma = \frac{Wl}{8f}$$

Donde:

- A = área por unidad de longitud de bóveda transversal a la bóveda en la clave. (m²)
- σ_{rot} = tensión de rotura a compresión²⁰ (N/m²)
- W = carga total (peso propio más relleno y sobrecarga) que actúa en la bóveda por unidad de longitud transversal (N/m²)
- l = luz de la bóveda (m)
- f = peralte de la bóveda (m)

"Se trata de la conocida expresión del empuje de un arco parabólico sometido a una carga uniformemente distribuida, aunque la demostración de Guastavino es difícil de comprender." (Huerta, 2001, pág. 96).

El propio Guastavino pone un ejemplo de cálculo en su ensayo:

Calcular el espesor de una bóveda de l = 4,575 m; f = 1/10; que ha de soportar una carga uniformemente repartida de 12 kN/m² con un material que tiene una tensión de rotura de 14,6 N/mm². Considera que la tensión de trabajo es 1/10 la tensión de rotura, o lo que es lo mismo, un coeficiente de seguridad de 10. Entrando en la fórmula con la tensión admisible de 1,46 N/mm² se obtiene un espesor en la clave de 4,7 cm, es decir, unas dos hojas de ladrillo o rasilla de 2,5 cm de espesor. Como se ve, el coeficiente de seguridad es muy elevado y más adelante hace un comentario admitiendo que la tensión de rotura podría disminuirse 1/5 o 1/4 la tensión de rotura del material.

²⁰ En realidad, se introduce en la fórmula la tensión admisible de rotura, resultante de aplicar un coeficiente de seguridad a la tensión de rotura real obtenida en ensayos de laboratorio.

A pesar de todo esto, considera las bóvedas como monolíticas debido a su carácter cohesivo como muestran sus declaraciones:

Debemos repetir aquí que no pretendemos obtener una fórmula matemática absoluta, sólo una práctica que nos de la suficiente seguridad para la construcción segura. Estamos además considerando aquí las bóvedas no como doveladas, sino como una simple cúpula de fundición trabajando como una pieza simple. (Guastavino, 1893, pág. 72)

De éste modo, cae en una contradicción en si misma al reconocer también que las bóvedas tienen un muy ligero empuje, cuestión que corroboran los planos donde aparecen atirantamientos que asumen dichos empujes horizontales en sus obras.



Ilustración 2. Rafael Guastavino sobre un arco tabicado. (Moreira, 2019)

Conclusión: intenta adaptar sus bóvedas tabicadas a las teorías elásticas y por ello incurre en varias incoherencias en su tratado al defenderlas como elementos monolíticos y luego disponer contrafuertes o tirantes. Su éxito se debe al conocimiento geométrico de las bóvedas y no al matemático.

Juan Bautista Lázaro de Diego (1849 - 1919): fue un arquitecto destacado por la renovación de las técnicas constructivas "neomedievalistas", basadas en artonados de madera que se estaban empleado en Madrid, mediante la introducción de las bóvedas tabicadas, importadas de Cataluña tras su visita de la Exposición Universal de Barcelona de 1888.

Además de importar la técnica, trajo consigo albañiles de Cataluña especializados en esta construcción que posteriormente hicieron hereditaria. (Mosteiro, 1996)

Lluís Domènech i Montaner (1850 - 1923): fue compañero de Juan Bautista en la carrera y el constructor de una de las obras más significativas que emplean bóvedas tabicadas en el modernismo: el hospital de San Pablo de Barcelona²¹ donde usa complejos sistemas de tirantes, zunchos y pórticos con perfiles metálicos IPN y UPN usados para contrarrestar los esfuerzos, lo que él llama "encinchados". Para la obra se elaboró una exhaustiva memoria y planos donde incluso se contaban el número de tornillos. (González, Casals, Sanmartí, & Onecha, 2011)

El hecho de prestar cuidadosa atención a los estribados demuestra la preocupación del arquitecto por los empujes laterales que derivan de las bóvedas, a pesar de que este complejo sistema acaba embebido en los muros de carga y las cámaras de aire.

Para ello, y previo al diseño de los "encinchados", se realizaron planos detallados donde aparece el cálculo por estática gráfica de las cargas que soportan los muros y del empuje horizontal que generan las bóvedas. Como complemento, aparece un cálculo a mano de los pesos a tener en cuenta y de la componente horizontal resultante que deberá ser contrarrestada por los tirantes metálicos.

Conclusión: Lluís es consciente de la existencia de los empujes horizontales de las bóvedas tabicadas, los cuales calcula mediante estática gráfica y a los cuales da respuesta mediante complejos sistemas de "encinchados" metálicos.

²¹ Construido entre 1902 y 1930 a cargo, primero del propio Lluís y posteriormente de su hijo. Solo se edificaron el pabellón central y ocho más, de los 30 que se proyectaron. (González, Casals, Sanmartí, & Onecha, 2011)

Antoni Gaudí (1852 - 1926): como arquitecto, fue el máximo representante del modernismo catalán debido a sus formas naturalistas y la investigación con nuevos sistemas de materiales como el trencadís o la cerámica armada.

Empleó bóvedas tabicadas en sus obras por su versatilidad y adaptabilidad a las formas propuestas y, a pesar de que quedan constancia de pocos escritos, es conocido que para los cálculos empleaba la estática gráfica, es decir, trazaba las líneas de empuje de las bóvedas de forma gráfica y trataba de que estas estuvieran contenidas en el espesor, o se basaba en cálculos geométricos en los que las formas de sus bóvedas derivan de sistemas colgantes, las llamadas catenarias. Claro ejemplo es la Iglesia de la Colonia Güell. (Huerta, 2001)

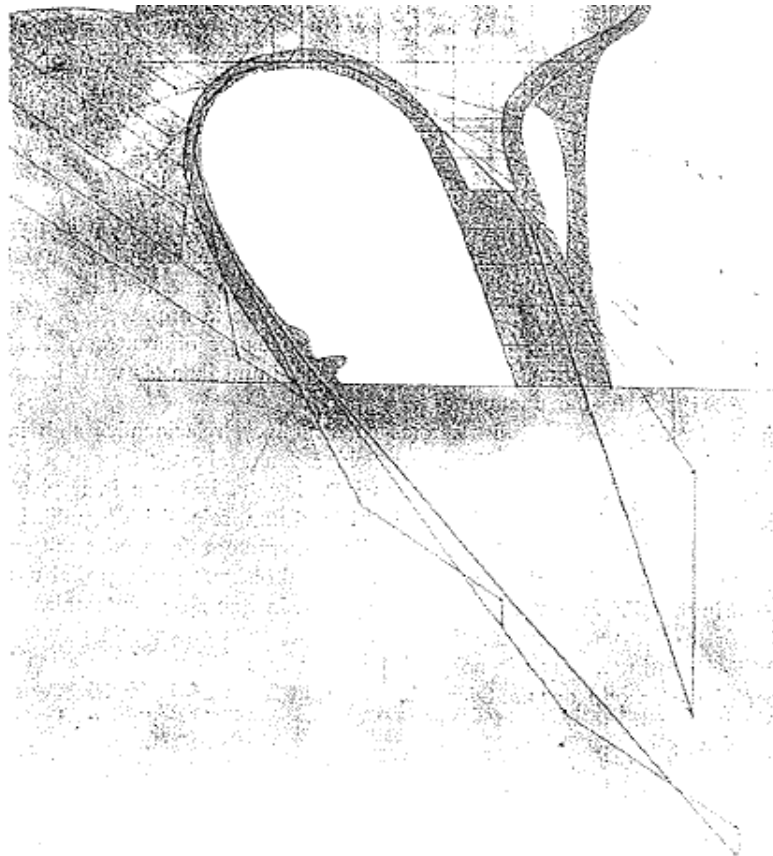


Ilustración 3. Cálculo gráfico de Gaudí para las columnas del Parque Güell. (Huerta, 2001, pág. 102)

Conclusión: como muestran la información que perdura, empleaba la estática gráfica para diseñar y dimensionar los arcos y bóvedas de sus construcciones.

José Dómenech Estapá (1858 - 1917): arquitecto catalán catedrático de Geometría Descriptiva que intervino en numerosas reparaciones de edificios como la Iglesia de San Andrés de Palomar.

Fue uno de los primeros autores españoles en discutir la necesidad de tener en cuenta la resistencia a flexión de las bóvedas tabicadas como muestra en su publicación de 1900 en la que afirma:

El secreto mecánico de la construcción de éstas bóvedas (...) está en no limitar el cálculo de los mismos a la resistencia al esfuerzo a compresión de los materiales empleados, sino aprovechar también las resistencias a la tensión y al esfuerzo transversal que ofrecen nuestros ladrillos auxiliados por los morteros de cal o cemento (...). Utilizando éstas dos resistencias, pudo atreverse el constructor catalán a sujetar sus bóvedas a cargas incomprensibles en otro (...) siempre con pequeño empuje horizontal en sus apoyos y hasta algunas veces reduciéndose éste a cero. (Huerta, 2001, pág. 103)

Parece una justificación posterior a un dibujo en el que representa la línea de presiones parabólica²² saliéndose del espesor de la bóveda y, por ende, sometiéndola a tracciones.

Conclusión: nuevamente aparece la teoría monolítica en la que se defiende la poca o nula presencia de empujes derivados de la bóveda debido a la cohesión de los materiales.

Luis Moya Blanco (1904 - 1990): arquitecto que retomó la construcción de la bóveda tabicada tras la Guerra Civil debido a la escasez de cemento y acero o, mejor dicho, a su elevado coste, a diferencia de en Europa donde se estaba empleando el hormigón armado.

El primer experimento con las bóvedas tabicadas lo desarrolló en 1942, en una serie de viviendas en hilera en el barrio madrileño de Usera, donde construyó este edificio de baja más uno. Para ello diseñó doce bóvedas iguales, las del forjado intermedio de directriz horizontal y las de la cubierta con la directriz inclinada para dar la caída requerida. Al construir las unas al lado de otras consiguió ir

²² Como consecuencia de cargas uniformemente distribuidas.

contrarrestando los empujes entre ellas, únicamente colocando contrafuertes en los dos extremos.

Posteriormente, diseñó el Museo de América junto a Luis Feduchi, donde se aprecia el avance en cuanto a complejidad formal de estas bóvedas tabicadas, por ejemplo, aparecen arcos de fábrica cruzados y trabados entre sí en aquellos puntos donde las cargas son mayores.

Significativo es éste autor y ésta construcción para la internacionalización de la bóveda tabicada, puesto que fue visitada por el alemán Max Rank en 1950 en su viaje a Madrid.

Max era un ingeniero hijo de Joseph Rank y sobrino de Ludwig Rank, dos de los fundadores de la famosa empresa constructora "Hermanos Rank". El primer contacto con las bóvedas tabicadas lo experimentó su tío Ludwig en 1911 en Sevilla²³ pero no fue hasta que Max visitó y leyó las obras de Luis Moya²⁴ cuando el sistema de bóvedas tabicadas se introdujo en Alemania (Bühler, 2017).

Los motivos de su utilización en Alemania son los mismos que en España: la necesidad de encontrar un sistema económico para reconstruir las ciudades tras la II Guerra Mundial en el caso de Alemania y la Guerra Civil en el de España.

Así mismo influyó, en numerosos arquitectos españoles como, por ejemplo, Francisco de Asís Cabrero quien tenía en su biblioteca su libro publicado en 1947. Se encargó de la construcción de la Feria de Campo de Madrid y desde los primeros croquis, datados de marzo de 1948, ya aparece el sistema tabicado como medio de cubrición de los espacios de las naves proyectadas. Por ejemplo, la plaza circular "consistía en una ingeniosa adaptación a la planta radial de las bóvedas de generatriz inclinada utilizadas por Moya en Usera." (Leicher, 2015, pág. 464)

Finalmente, la etapa culmen de Moya se vio influenciada por las bóvedas-membrana de hormigón armado como se aprecia en la Iglesia de

²³ Cuando se le encargó a la empresa constructora la construcción de un silo de hormigón como depósito de carbón. (Bühler, 2017)

²⁴ No hay documentos escritos que demuestren la relación directa entre ambos, pero en las fotos sacadas por Max Rank sobre el Museo de América aparece Luis Moya, además, en su biblioteca está presente el libro publicado por éste, así como el de Buenaventura Bassegoda. (Bühler, 2017)

Santa María Madre de la Iglesia (1966 - 1969), con una bóveda cilíndrica de 24 metros de diámetro construida con cuatro tableros de rasilla donde, la sencillez del procedimiento consiguió rebajar su coste a menos de la tercera parte de la equivalente bóveda en hormigón armado, "según apreció una comisión del Instituto Eduardo Torroja y técnicos Norteamericanos durante la construcción." (Mosteiro, 1996, pág. 237)

Conclusión: considera que las bóvedas empujan, como se aprecia desde su primera experiencia en Usera, sin embargo, lo que hace resaltar su obra es la adaptación a las modernas formas, derivadas de las membranas de hormigón, mediante la construcción de bóvedas tabicadas, abaratando notablemente los costes y adaptándose a la coyuntura económica.

Manuel Fortea Luna: profesor del Grado en Edificación en la Escuela Politécnica de Cáceres, director de talleres experimentales de construcción de bóvedas tabicadas y redactor de varios documentos relativos a estos sistemas de fábrica de ladrillo.

En el artículo "Bóvedas tabicadas: Mitos", escrito junto con Vicente López Bernal para el Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, establecen una crítica frontal a las ideas de Joaquín de Sotomayor y Benito Bails relativas al monolitismo y la expansividad del yeso.

En cuanto a la primera idea, que hace alusión a la ausencia de empujes horizontales de las bóvedas tabicadas, argumentan lo siguiente:

La teoría de Bails (tapadera de puchero, que es similar a la de Guastavino, Fornes Albarran, etc.) sería válida si toda la bóveda fuera una pieza cerámica cocida al tiempo y de una vez. La prueba de que este modelo no sirve es la siguiente, si sometemos a una tapadera de puchero a una carga excesiva se romperá en mil pedazos, sin pasar previamente por un estado de agrietamiento, como sabemos que sucede en las bóvedas. (Luna & López Bernal, 2007, págs. 321 - 322)

Es decir, que para que una pieza sea capaz de resistir tracciones de forma continuada, debe estar cocida simultánea y uniformemente, "como lo hace una tinaja llena de líquido".

En lo relativo a la segunda idea, la expansividad del yeso, dicen lo siguiente:

El yeso no hace subir las bóvedas por su efecto expansivo en su endurecimiento porque nunca se opera con una cimbra cubriendo el 100% de la superficie de la bóveda, ni la hoja se ejecuta de modo uniforme e instantáneo sino disponiendo siempre de suficiente margen para la expansión del material aportado en las juntas, que siempre es mínima frente a la dimensión de la bóveda. (Luna & López Bernal, 2007, pág. 322)

Conclusión: se posiciona en contra de las teorías monolíticas y la expansividad del yeso, presentes en autores como Sotomayor o Bails, defendiendo el empuje horizontal de las bóvedas tabicadas.

Santiago Huerta Fernández (1955-): graduado por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, donde es actualmente profesor, investigador de Historia de la Construcción y director de publicaciones del Instituto Juan de Herrera.

En su tesis y numerosas publicaciones se centra en el análisis estructural de los arcos y las bóvedas, tanto de fábrica de piedra como de ladrillo. Realiza un recorrido histórico sobre estas construcciones, comentando las aportaciones que cada autor ha hecho y, a la par, va expresando sus consideraciones.

Como se verá en las siguientes líneas se posiciona claramente del lado de la estática gráfica, para ello trata de desmontar las teorías basadas en el monolitismo, la cohesión, el cálculo elástico y el Método de Elementos Finitos:

Contra el monolitismo

Cuando describe el comportamiento de una fábrica de piedra, en resumen, dice lo siguiente:

Los arcos y bóvedas se construyen apilando piezas unas al lado de otras sobre una cimbra o estructura auxiliar (generalmente de madera). Cuando ésta es retirada, dichas piezas tienden a caer empujándose unas sobre otras y contrarrestándose entre sí, transmitiendo los empujes hacia los apoyos que, a su vez, si no

tienen suficiente capacidad, pueden ser ayudados por otros mecanismos (contrafuertes, arbotantes, estribos, tensores, etc.).
(Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas, 2004, págs. 1, 2)

Ésta afirmación, podría dar lugar a una posterior dicotomía entre las estructuras de fábrica de piedra y las de ladrillo y mortero, sin embargo, más adelante afirma: "Una fábrica es cualquier construcción o parte de ella hecha con piedra o ladrillo y argamasa" (Huerta, 2004, pág. 11). Es decir, las considera iguales a todos los efectos.

Por lo tanto, una bóveda tabicada no tiene un carácter monolítico, más bien, se aproxima a un sistema dovelado de piezas de piedra.

Contra la cohesión

Es consciente de que el sistema es capaz de asumir esfuerzos solicitantes a tracción, pero no los considera por seguridad: "La resistencia a tracción que dan los ensayos no es despreciable en relación con la de compresión, pero ningún constructor sensato se fiaría de ella". (Huerta, 2001, pág. 106)

Es decir, la resistencia a tracción está presente, pero no es esencial a la hora de estudiar el comportamiento estructural de una bóveda tabicada, puesto que trabaja principalmente a compresión y, a lo largo de su vida, esta se agrieta por diversos motivos, pudiendo perder aquella supuesta resistencia a tracción, hecho que corrobora de la siguiente forma:

El carácter cohesivo no es una cualidad fundamental del material en cuanto a su comportamiento estructural. La cohesión sólo se emplea durante la construcción. Es el empleo de morteros de fraguado rápido y ladrillos ligeros lo que permite que las bóvedas tabicadas se puedan construir sin cimbra, al aire, usando sólo formas para controlar la geometría. Terminada la bóveda, ésta empuja, se agrieta, funciona exactamente igual que una bóveda de fábrica. (Huerta, 2001, pág. 107)

Por tanto, el monolitismo y la cohesión quedan descartados como comportamiento en las bóvedas tabicadas, ya que están formadas por diferentes piezas y además empujan horizontalmente.

A continuación, se enfrenta al cálculo elástico y de elementos finitos para, finalmente, defender la estática gráfica, lo que él denomina el Teorema Fundamental de la Seguridad.

Contra el cálculo elástico

Previamente hay que definir qué es el análisis estructural elástico: consiste en determinar la tensión presente en cada elemento o parte de una estructura para, posteriormente, comprobar o dimensionarlos en base a las tensiones admisibles obtenidas en ensayos de laboratorio. Es decir, se centra en la resistencia de los materiales.

Para Santiago Huerta, el método elástico no es pertinente a la hora de estudiar bóvedas tabicadas, puesto que, "en el caso de las estructuras de fábrica el requisito de la resistencia juega un papel secundario" (Huerta, 2004, pág. 12) dado que las piezas trabajan por debajo de su tensión de rotura a compresión. La condición principal a la que hay que atender es a la forma y la estabilidad, ya que, una ligera deformación o el incorrecto diseño²⁵, puede derivar en el colapso mucho antes que por fallo a compresión de las piezas.

Por tanto, hay que entender las propiedades mecánicas de las fábricas y de sus componentes dejando a un lado el análisis estructural elástico, lo que Huerta denomina "liberarse del corsé del enfoque elástico" o el profesor Heyman "la camisa de fuerza de Navier", esto es, tratar de comprender la estructura en su conjunto.

Además de esto, establece una rotunda diferenciación entre las estructuras de fábrica y las empleadas hoy en día, como son el acero, la madera o el hormigón armado²⁶: "La fábrica es, pues, un material esencialmente discontinuo y anisótropo." (Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas, 2004, pág. 11). Es decir, no es un material continuo e isótropo como los otros, por lo que no tiene las mismas características ni se comporta de igual forma, todo ello derivado de su naturaleza constructiva.

²⁵ Directriz, espesor o peralte.

²⁶ Sobre las que si se aplican las teorías elásticas (módulo de Young y de Poisson).

Desde el enfoque cronológico, podemos comprender cómo se han calculado estas estructuras a lo largo de la historia y cuando empezaron a emplearse las teorías elásticas, para lo que realiza las siguientes afirmaciones:

La primera teoría científica de bóvedas que se desarrolló en los siglos XVII al XIX consideraba la fábrica como un material rígido unilateral (que no resiste tracciones). Los análisis eran de equilibrio o de rotura, pero siempre la condición era que la línea de empujes, la trayectoria de las cargas, debía estar contenida con suficiente seguridad dentro del arco. No se hacían suposiciones sobre condiciones de contorno, tales como empotramiento de los apoyos, etc. (...) En estas condiciones, la posición de la línea de empujes quedaba determinada y se aplicaba, como método de garantizar la seguridad, la condición de poder encontrar una línea de empujes en equilibrio con las cargas contenida dentro del tercio central (ver, por ejemplo, Rankine 1858). (Huerta, 2001, pág. 102)

Actualmente, los cálculos de estos empujes se basan en la teoría de las estructuras, es decir, aplicando las leyes de la mecánica y de la resistencia de materiales. Éste tipo de cálculo es relativamente reciente, nace a finales del siglo XVII y su empleo sólo se generaliza a lo largo del siglo XIX, por lo tanto, las obras como el Panteón de Roma, Santa Sofía o las catedrales góticas son anteriores, basadas en la experiencia y el método "prueba-error". (Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas, 2004, pág. 2)

Para Huerta, éste último método si es válido para estructuras continuas, pero en el caso de las bóvedas de fábrica no es útil por la propia condición heterogénea del sistema, elaborado por piezas más pequeñas dispuestas sucesivamente unas al lado de otras, como se ha comentado anteriormente al rebatir el carácter monolítico. Por ello, considera correcta la forma de cálculo tradicional, basada en la contención de las líneas de empuje dentro del espesor de la bóveda, dando lugar a una estructura hiperestática:

En general, la estructura será hiperestática y, en consecuencia, se pueden encontrar infinitas líneas de empujes contenidas

dentro de la fábrica, que corresponden a las infinitas situaciones de equilibrio posibles (la línea de empujes no es más que una representación gráfica de las ecuaciones de equilibrio. (Huerta, 2001, pág. 107)

Contra el Método de Elementos Finitos (MEF)

Al tratarse las bóvedas tabicadas de estructuras hiperestáticas de fábrica, "la formación de grietas es inevitable, pues siempre habrá pequeños movimientos de los apoyos, variaciones térmicas, defectos de construcción o de fraguado, etc. Las tensiones de tracción sólo se mantienen en elementos isostáticos." (Huerta, 2001, pág. 106)

Argumento del que se sirve Huerta para desmontar a Gulli, el cual ha usado el Método de Elementos Finitos (MEF)²⁷ informatizándolo: ha considerado las bóvedas como un continuo al que atribuye ciertas propiedades elásticas y rígidas de contorno como los apoyos. El resultado o solución es única y según Santiago plantea varios problemas:

En primer lugar, la resolución del sistema es muy sensible a las pequeñas variaciones de contorno. Un descenso o giro, por ejemplo, en uno de los apoyos, aunque imperceptible a la vista, conducirá a una variación notable del sistema de esfuerzos internos. En segundo lugar, la fábrica tabicada dista mucho de ser un continuo y está, frecuentemente, agrietada. (Huerta, 2001, pág. 105)

Éstas sensibles variaciones, son perfectamente asumibles por el sencillo método de la estática gráfica, ya que, mientras que la línea de empujes se mantenga dentro del espesor de la bóveda, el sistema será estable.

Por lo tanto, el elaborado método informático basado en el MEF no es del todo correcto y Santiago concluye lo siguiente: "un sencillo

²⁷ Método de análisis estructural informatizado basado en la resolución de una matriz de rigidez previamente establecida a partir de la discretización de superficies o volúmenes continuos en pequeños elementos finitos de características establecidas y sometidos a las cargas exteriores.

análisis gráfico puede ser mucho más exacto que un análisis por ordenador" (Huerta, 2001, pág. 108)

El Teorema Fundamental de la Seguridad

Para el cálculo de las estructuras de fábrica propone el Teorema Fundamental de la Seguridad. Siendo oportuna su paráfrasis, dice lo siguiente:

Dada una estructura, si es posible encontrar una situación de equilibrio compatible con las cargas que no viole la condición de límite del material (esto es, que no aparezcan tracciones), la estructura no colapsará. Aplicado a las fábricas: si es posible dibujar una línea de empujes (o un conjunto de líneas de empujes) en equilibrio con cargas contenidas dentro de la estructura, la estructura no se hundirá.

La potencia del Teorema radica en que la línea de empujes, es decir, la situación de equilibrio, puede ser elegida libremente. Escogida una línea, podremos aplicar las condiciones de seguridad a cada una de las secciones que atraviesa y obtener, de esta forma, un límite inferior para el coeficiente de seguridad geométrico (Heyman, 1982): sabemos que la estructura tiene al menos ese coeficiente de seguridad - en general, sería posible encontrar una línea de empujes que diera una situación más favorable. (...)

Es posible analizar y proyectar estructuras de fábrica simplemente empleando las ecuaciones de equilibrio y sin tener que hacer afirmaciones dudosas sobre el material y las condiciones de contorno. (...) si hay movimientos, éstos serán pequeños, de manera que las ecuaciones de equilibrio escritas antes y después de la deformación sean las mismas. (Huerta, 2001, págs. 107, 108)

Estas afirmaciones corroboran lo anteriormente anunciado y proponen una alternativa de cálculo, basada en la estática gráfica que, según Santiago Huerta, es la correcta.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

ANÁLISIS REBANADA 1 METRO. BÓVEDA CIRCULAR REBAJADA $F=L/6$
 ESPESOR BÓVEDA 10cm, ESPESOR MURO $L/9$
 MACIZA HASTA $1/3$ DE LA VUELTA
 LENGÜETAS HASTA $1/3$ MAS
 PESO ESPECÍFICO BÓVEDA Y RELLENO 18 kN/m^3
 PESO ESPECÍFICO MURO 18 kN/m^3

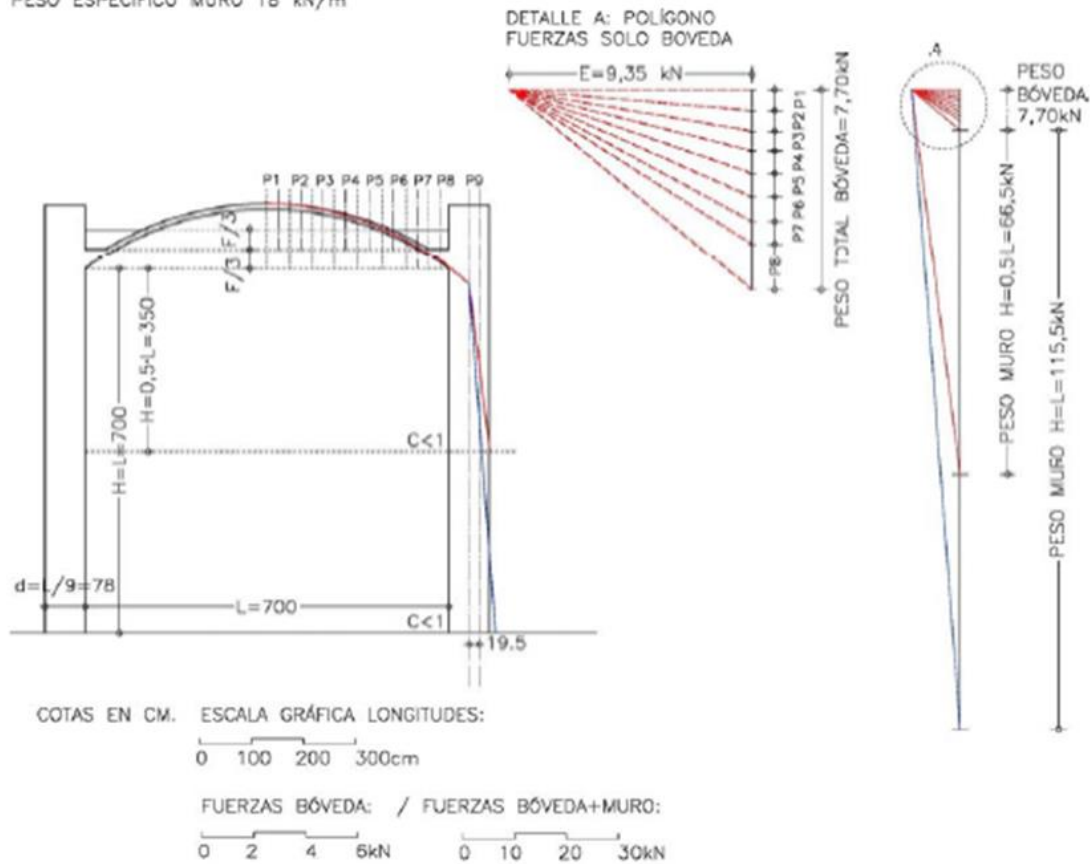


Ilustración 4. Ejemplo de cálculo por estática gráfica realizado por Esther Redondo, alumna de Santiago Huerta. (Martínez, 2013)

Conclusión: las bóvedas tabicadas "no son monolíticas, ni cohesivas. Pueden y deben calcularse con las mismas herramientas que cualquier bóveda de fábrica. No son menos duraderas si reciben el necesario mantenimiento." (Huerta, 2001, pág. 88)

3.2. TABLA RESUMEN

A continuación, se sintetiza mediante una tabla lo anteriormente expuesto.

Para su elaboración, se atiende a la dualidad establecida entre el monolitismo y la existencia de empujes, colocando en cada columna los autores que defienden una u otra teoría.

Rafael Guastavino se encuentra a medio camino, debido a la contradicción establecida entre algunas de sus afirmaciones y la práctica, es decir, entre lo que dice y luego hace.

Así mismo, se han ordenado los autores cronológicamente en función del año de publicación de sus textos relativos al tema estudiado. Hay excepciones: en los que no se han encontrado documentos con fecha, tienen el año de nacimiento y muerte.

A FAVOR DEL MONOLITISMO	A FAVOR DE LA EXISTENCIA DE EMPUJES
	Melchor Callejón (1622)
	Fray Lorenzo de San Nicolás (1639)
Félix François. Conde d'Espie (1754)	
Benito Bails (1731 - 1797)	
Manuel Fornés y Gurrea (1841)	
	D'Oliver (1837) y Fontaine (1865)
	Rafael Guastavino (1983)
	Lluís Domènech i Montaner (1850 - 1923)
	Antoni Gaudí (1852 - 1926)
José Dómenech Estapá (1900)	
	Luis Moya (1947)
	Jackes Heyman (1966)
	Santiago Huerta (2004)
	Manuel Fortea Luna (2007)
	Vicente López Bernal (2007)
	Esther Redondo Martínez (2013)

3.3. CONCLUSIONES

A lo largo de la historia, diversos autores se han dedicado al estudio y aplicación del sistema constructivo basado en las bóvedas tabicadas. Dicho sistema ha dado pie a diversas contradicciones relativas a su cálculo, proceso de construcción y comportamiento estructural. Algunas de ellas son las siguientes:

- **¿Transmiten o no transmiten empujes horizontales a sus apoyos?:** ésta es la dicotomía principal. Hay autores, como Benito Bails, que defienden que las bóvedas tabicadas se comportan como "tapas de puchero" debido a la cohesión entre sus partes (piezas unidas con mortero) y, por tanto, no transmiten empujes horizontales a los apoyos. Esto es rebatido por la mayoría de autores como, por ejemplo, Manuel Fortea Luna, quien argumenta que, para que esto suceda, la bóveda tiene que ser cocida como una única pieza y al mismo tiempo.
- **¿Se calculan por estática gráfica, cálculo elástico o MEF?** Hay autores como Guastavino que han pretendido asemejar el cálculo de las bóvedas tabicadas a piezas continuas elásticas, no obstante, Santiago Huerta establece las diferencias por las cuales las bóvedas tabicadas no pueden ser así consideradas: son discontinuas, anisótropas y su condición primordial no es la resistencia, sino la forma, la que le da estabilidad al conjunto. En contra del Método de Elementos Finitos argumenta que éste método parte de unos datos conocidos, pero que si sus condiciones de contorno varían, el modelo no sirve, es decir, que si se producen fisuras o asentos, el método deja de ser exacto.
- **¿El yeso tiene o no tiene expansividad en su proceso de fraguado?:** algunos, como Benito Bails, abogan por la propiedad expansiva del yeso en su proceso de fraguado, lo que provoca esfuerzos internos sobre las piezas, si no se prevén. Por ello, defiende el empleo de morteros de cal para evitarlo. Sin embargo, Fortea Luna y López Bernal se posicionan en contra al argumentar que la expansividad del yeso es despreciable y es correcta su utilización para que el sencillado "tire" de forma rápida.

- **Otras controversias** se establecen, por ejemplo, entre si las lengüetas o tabiquillos superiores actúan como arcos de descarga (Moreno-Navarro, 2000) o si se apoyan sobre la bóveda y es ésta la que lleva el esfuerzo.

En definitiva, las bóvedas tabicadas han dado pie a diferencias de opiniones, sin embargo, actualmente algunas ya han sido superadas.

Las **conclusiones**, por lo tanto, son las siguientes:

- Las bóvedas tabicadas transmiten empujes horizontales sobre los apoyos y tiene que ser contrarrestados por cualquiera de los medios conocidos: estribos, contrafuertes, arbotantes, zunchos, tirantes, etc. Concretando, las tabicadas empujan menos que las de rosca de ladrillo y éstas menos que las doveladas de piedra, pero no por la cohesión de los materiales, sino por el peso propio.
- Las bóvedas se pueden calcular por el Método de Elementos Finitos, siendo éste fiable, sin embargo, puede resultar tedioso el proceso de modelado e introducción de datos. Como método simplificado está la estática gráfica que consiste en garantizar que la línea de presiones²⁸ no sale del espesor de la bóveda, para lo cual, debe haber un previo diseño de su forma.
- La expansividad del yeso es despreciable, ya que, a medida que se va construyendo la bóveda, el yeso va fraguando rápidamente compensándose entre sí el posible aumento de volumen que, dudosamente afectaría a las piezas.

²⁸ Calculada con el peso propio de las piezas por rebanadas y las correspondientes cargas de la actual normativa.

4. DEFINICIÓN DE LAS BÓVEDAS TABICADAS

4.1. DESCRIPCIÓN

La bóveda tabicada es un elemento constructivo realizado mediante la unión de piezas cerámicas, huecas o macizas, con yeso y mortero, dotándola de una forma tal que le permite trabajar a compresión.

A diferencia de las bóvedas de fábrica de piedra, en las tabicadas se emplean dos o más "capas" de piezas a "matajunta" entre las que se dispone mortero.

Estas construcciones se han empleado a largo de la historia para la cubrición de espacios tanto de pequeñas como de grandes luces, funcionando como soporte de cubierta, como estructura entre plantas o como apoyo de escaleras.

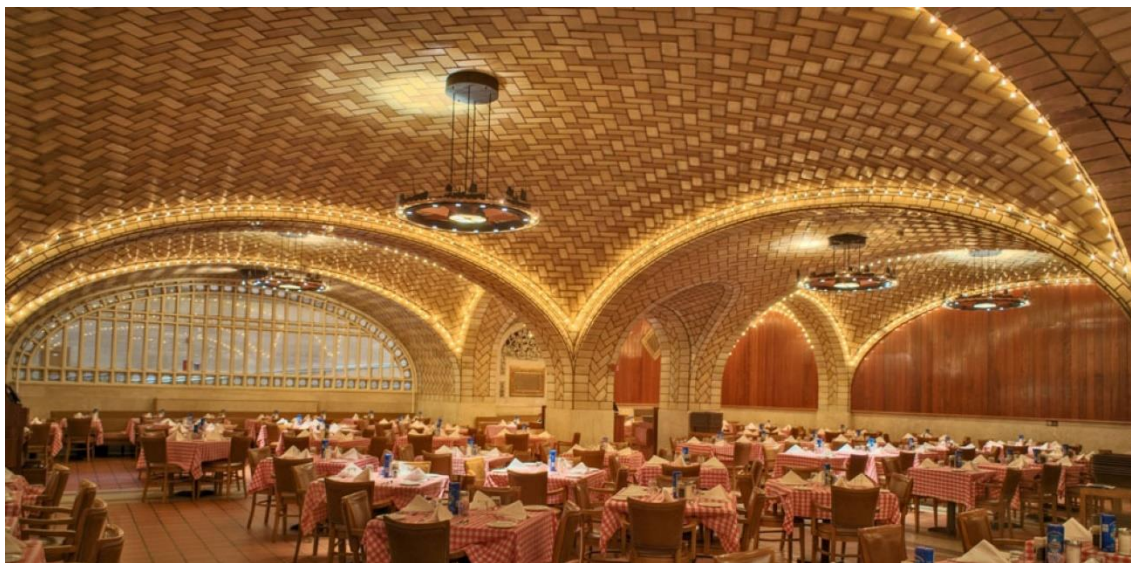


Ilustración 5. Ejemplo de bóveda tabicada. Oyster Bar (Nueva York) diseñado por Guastavino. (Barba, 2014)

4.2. CARACTERÍSTICAS

Las características de este tipo de bóvedas son muy diversas e incluso indefinidas y controvertidas en ciertos aspectos, cuestión por la que aparecen defensores y opositores de dicho sistema constructivo.

Por ello, las cualidades a favor y en contra que aquí se enuncian pretenden ser establecidas desde un punto de vista imparcial para, más adelante, ir profundizando con detalle en el tema.

4.2.1. A VAVOR

Como cualidades a favor, podemos identificar los siguientes puntos:

- **Económicas:** esta es una de las principales razones por las que se ha usado en España en el periodo de la postguerra: la escasez económica y de medios de dicha época, impulsó a los arquitectos a retomar esta práctica, en contraposición con el boyante movimiento moderno basado en el hormigón armado, el vidrio y el acero. Los motivos son claros: únicamente hace falta piezas de arcilla cocida y "el buen hacer", reduciendo el uso del costoso acero a los atirantamientos, a veces sustituidos por contrafuertes o robustos muros de fábrica.
- **Ligeras:** a diferencia de las bóvedas de fábrica de piedra, las bóvedas tabicadas son más esbeltas y habitualmente están realizadas por piezas huecas, por tanto, tienen menor peso propio, lo que se traduce en un menor empuje horizontal, cuestión que favorece a la anterior cualidad mencionada de no usar costosos materiales para disponer estribos, contrafuertes o atirantamientos que asuman dichos esfuerzos.
- **Incombustibles:** al tratarse de piezas cerámicas, las bóvedas tabicadas son idóneas para el comportamiento frente al fuego, a diferencia de los forjados y cerchas tradicionales de madera, que se utilizaban en las antiguas construcciones, o del moderno acero. Motivo que despertó el interés del Conde d'Espie y lo impulsó a realizar sus investigaciones.

- **Auto portantes**²⁹: debido a su forma curva, estas construcciones son capaces de soportar su propio peso, por ello, en la fase de construcción no suelen precisarse ningún tipo de cimbra, apuntalamiento o encofrado. A diferencia de los forjados convencionales, únicamente se emplea el andamiaje donde operan los albañiles, un sistema para subir el material hasta la cota requerida y una plantilla que garantice la forma, quedando de este modo la planta inmediatamente inferior libre para realizar otras fases constructivas como, por ejemplo, instalaciones de fontanería o calefacción.
- **Rápidas**: por la razón anteriormente mencionada, no es preciso gastar tiempo en encofrar, apuntalar, desapuntalar o poner y quitar cimbras. Como es de esperar, la rapidez depende de la geometría de la bóveda, por ejemplo, en una bóveda de cañón rebajada, si la bóveda tiene un metro de peralte, puede realizarse desde una misma cota de andamiaje, sin embargo, si su geometría es compleja y su peralte, mayor es necesario colocar un andamiaje a varias alturas. También influye en el tiempo el número de cuadrillas: si se emplea una cuadrilla para cada hoja construida simultáneamente y cada una de ellas está formada por un oficial y un peón, la construcción se completará de forma breve.
- **Adaptables**: a pesar de su aparente rigidez constructiva y del propio material, al tratarse de piezas pequeñas que pueden cortarse y adaptarse a formas complejas, dan lugar a soluciones muy diversas y expresivas como lo demuestran las construcciones del modernismo catalán, en particular la figura de Antoni Gaudí. Todo ello siempre y cuando se realice con el correcto conocimiento y cuidado de ejecución.
- **Canto reducido en la clave**: en el caso de forjados este aspecto no conduce a una reducción del canto total, puesto que éste es obtenido por la distancia entre el arranque y el suelo acabado superior, sin embargo, la curvatura aumenta la altura libre del espacio en las estancias inmediatamente inferiores, dando la

²⁹ Esta característica es relativa, puesto que previamente debe estar resuelto como se disiparán los empujes horizontales derivados de la bóveda.

sensación de una mayor amplitud de espacio, cualidad que un forjado horizontal convencional no aporta.

- **Pueden perforarse:** puntualmente estas bóvedas pueden perforarse con el fin de ser atravesadas por instalaciones como bajantes de saneamiento, sistemas de ventilación o climatización, todo ello dentro de unos márgenes razonables. Así mismo, son susceptibles de asumir lucernarios, cuidadosamente previstos, como los practicados por Guastavino en alguna de sus obras.

4.2.2. EN CONTRA

Sin embargo, hay varios aspectos en contra:

- **"Incalculables":** este tipo de bóvedas se han considerado a lo largo de la historia como incalculables debido a la falta de acuerdo entre los diferentes autores que las estudian. Actualmente, esto se ha superado, sin embargo, la desconfianza en el sistema hace que no se proyecten. Pero no solo esto, sino que "en la reutilización de un edificio histórico, la bóveda tabicada presenta un grave inconveniente si se desea conservar: no existen modelos de cálculo para determinar su capacidad portante"³⁰, como argumenta J. L. González Moreno-Navarro y concluye: "Son muchos los casos en los que, por esta razón, se han destruido o perdido autenticidad de su comportamiento mecánico." (Moreno-Navarro, 2000, pág. 437).
- **Anisótropas:** debido a su construcción por sucesivas capas de diferentes materiales, con distintas características mecánicas entre ellos, solo se puede hacer una estimación de lo que realmente resiste el conjunto como si se tratara de un muro de fábrica de ladrillo y mortero trabajando a compresión y siguiendo su directriz (la curva del arco), puesto que si se aplican esfuerzos en otra dirección que no se la anterior, por ejemplo horizontales, sus características se ven menguadas sustancialmente.

³⁰ La capacidad portante del estado de conservación, que no es la misma si fuera proyectada y construida como nueva, ya que influyen factores como asentamientos, fisuras, humedades, etc.

- **Esbeltas:** como se ha comentado, su ligereza se debe a su esbeltez, sin embargo, esta característica tiene contraindicaciones. Cuando la bóveda soporta cargas simétricas³¹ y trabaja a compresión, para lo que está diseñada, no hay problema, pero cuando existen acciones asimétricas como, por ejemplo, esfuerzos en un lateral debido al viento, o una fuerza puntual descentrada, las bóvedas ya no trabajan de igual forma y requieren de otros mecanismos como lengüetas o tirantes para evitar su deformación.
- **Mano de obra cualificada:** la complejidad y minuciosidad de este tipo de construcciones requiere de albañiles cualificados y con una dilatada experiencia que dominen la técnica de las bóvedas tabicadas. Esta habilidad, sobre todo, debe estar presente a la hora de realizar el "sencilado" o primera vuelta, puesto que es el momento clave de la elaboración de estas bóvedas, como se verá más adelante en el apartado de "*Construcción*".
- **Empujes horizontales:** las bóvedas tabicadas, debido a su forma, derivan sus cargas según su directriz curva y, por ende, al apoyarse en los arranques confieren a estos una acción horizontal que tiende a "abrirlos". Este esfuerzo depende de las cargas y de la forma de la bóveda y a veces puede requerir sistemas auxiliares para ser contrarrestados como atirantamientos.
- **Debilidad ante sismos:** su carácter frangible³² hace imposible soportar movimientos provocados por los sismos, al contrario de otras construcciones capaces de soportar este tipo de acciones, las bóvedas tabicadas tienden a deshojarse o colapsarse al igual que todo tipo de sistemas de fábrica no armados.
- **No pueden rozarse en el sentido transversal a la línea de descarga:** al igual que un muro de carga de fábrica de ladrillo, no puede realizarse una roza pronunciada a lo largo de su directriz puesto que debilitaría el sistema y lo pondría en riesgo de derrumbe.

³¹ Se entiende como cargas simétricas respecto de la directriz de la bóveda, siendo estas tanto puntuales como distribuidas.

³² Susceptible de quebrar o romper.

4.3. CONSTRUCCIÓN

El proceso constructivo de las bóvedas tabicadas es el siguiente:

4.3.1. ARRANQUE

Primeramente, se establecen los arranques de la bóveda y se replantea su forma. Generalmente se dan los siguientes casos:

- El arranque se encuentra en un **muro**:
 - Mediante una **roza** o "galze" con la curvatura (si la tiene en el punto de acometer contra el muro) y profundidad adecuada para no debilitar al muro, principalmente si recibe cargas superiores, además debe tener la altura suficiente para recibir las sucesivas hojas de la bóveda y una vez acabada se macizará el espacio restante.

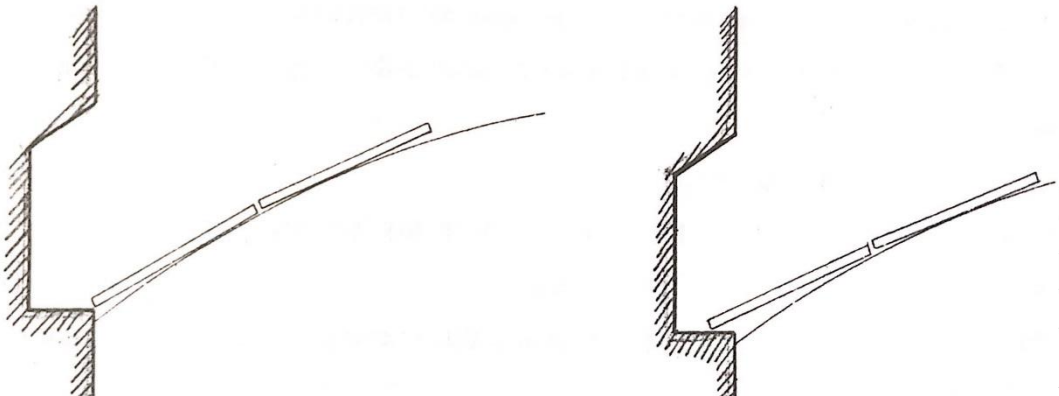


Ilustración 6. Apoyo de la rasilla en una roza o "galze" abierta en la pared. (Truño, 2004, pág. 25)

- Con piezas³³ en **vuelo**, cuyo espesor dependerá del cortante a soportar y cuya longitud no debe ser mayor de 30 cm para evitar colocar armaduras de tendel que disipen la flexión y el cortante. La otra forma es ir incrementando sucesivamente la sección del muro generando el voladizo a la par que se integra la curvatura para que, una vez acabado, no haya un pequeño vuelo a la vista (Blanco, 1947, pág. 24).

³³ Estos vuelos pueden ser de otros materiales como listones de madera atornillados al muro o molduras de escayola en casos con poco peso, generalmente destinados a decoración y no a estructura.

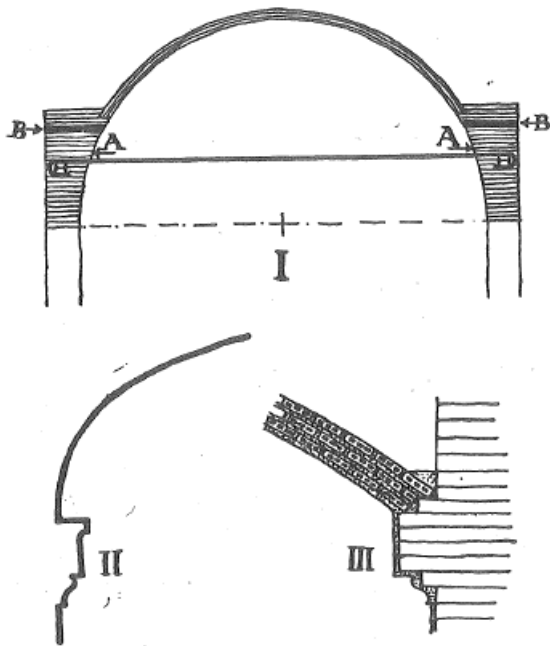


FIG. 16.—I: Bóveda de medio cañón, con arranque en voladizo.
 A: Hiladas de ladrillo macizo en voladizo.
 B: Piezas metálicas intercaladas entre las hiladas.
 II: Arranque de una bóveda maciza antigua, en que la imposta suele servir para apoyo de la cimbra.
 III: Arranque de una bóveda de rasilla sobre hiladas en voladizo para no debilitar el muro de los pisos superiores.

Ilustración 7. Apoyo de bóvedas en vuelo. (Blanco, 1947, pág. 24)

- En el caso de bóvedas de curvatura única que acometan en su testero contra un muro más o menos perpendicular a la directriz "es contraproducente disponer rozas de empotramiento en las zonas en las que no hay empujes, ya que siendo la bóveda elástica se inutilizan estos empotramientos al romperse la bóveda a lo largo de ellos" (Truño, 2004, pág. 25). Por esta razón basta con poner una **arista** de mortero que marque la forma de la bóveda y sobre la que se apoyan mínimamente las piezas.

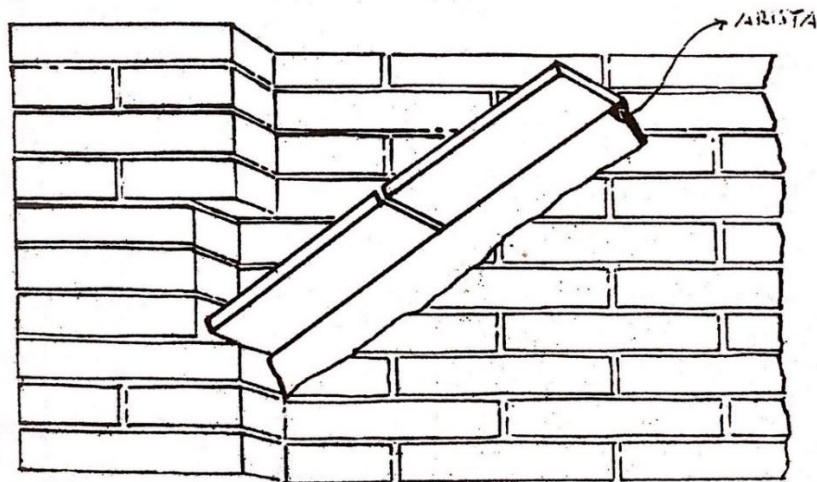


Ilustración 8. Arista en el testero de arranque de la bóveda. (Truño, 2004, pág. 29)

- Mediante una **maestra**: en el caso en el que el muro de carga sea de piedra o de un material irregular, es preciso disponer una **maestra**, generalmente realizada con las mismas piezas con las que se va a trabar la bóveda y unidas con mortero. La finalidad que se persigue es suturar las irregularidades presentes en el arranque de la bóveda derivadas de la propia amorfía del material con el que se realizó el muro.
- El arranque se encuentra en un **arco de fábrica**: en esta situación no es necesario realizar rozas, vuelos o aristas puesto que la bóveda se apoya en el mismo arco y además confiere la forma premeditada que tendrá, como por ejemplo las bóvedas de arista apoyadas en cuatro arcos perimetrales.

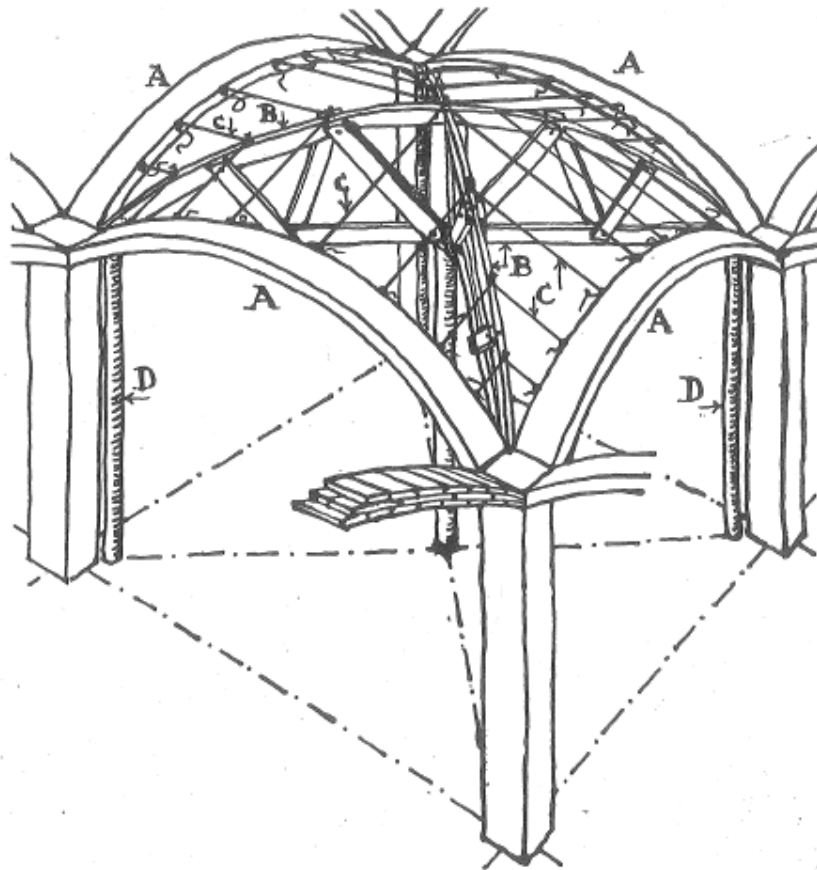


Fig. 6.—Preparación para construir una bóveda por arista peraltada:
AA: Arcos de cabeza.
BB: Cerchas diagonales.
CC: Cuerdas tensadas entre los arcos y las cerchas.
DD: Apoyo de cercha.

Ilustración 9. Preparación para la construcción de bóveda sobre arcos. (Blanco, 1947, pág. 13)

- El arranque se encuentra en una **viga o vigueta**: siendo esta de madera, de hormigón armado o de acero. Para considerarlas primero se debe establecer su posición:
 - **Cubriendo una luz**: en este caso, lo más normal es utilizar elementos prefabricados, tales como viguetas o vigas en doble T o similares, el apoyo se realiza en las alas y acomete en el alma. De este modo las bóvedas van de vigueta a vigueta formando forjados propiamente dichos.
 - **Embebidas en el muro**: a diferencia del caso anterior, ahora las vigas o viguetas ya no trabajan a flexión³⁴, por ello, si se trata de elementos prefabricados como los ya mencionados, se pueden "tumbar"³⁵ e iniciar el arranque en el alma y acometer contra el ala. Si se trata de un zuncho de hormigón armado realizado en obra, se realizará un chaflán perpendicular a la directriz de la curva de la bóveda en el momento del apoyo.

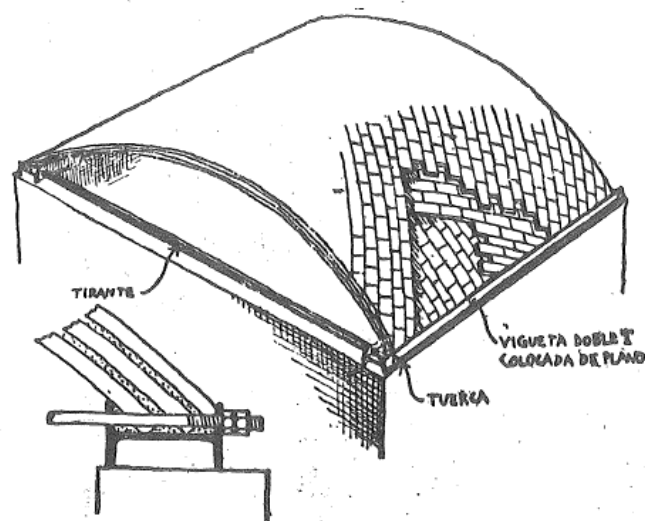


FIG. 37.—Bóveda cilíndrica sobre cuadrado o rectángulo, con estribo en los muros laterales y tirante oculto en los muros de testa. El estribo trabaja como una viga apoyada con carga uniforme, que es el empuje de la bóveda.

Ilustración 10. Apoyo de bóveda sobre vigueta "tumbada". (Blanco, 1947, pág. 40)

³⁴ Se entiende que, a flexión en el plano vertical, puesto que estos elementos soportan flexiones horizontales derivadas del empuje la bóveda.

³⁵ Colocando el alma de la vigueta en el plano horizontal.

- El arranque se encuentra en un **apoyo en deslizamiento**: generalmente, si la bóveda está protegida, es decir, si forma parte de forjados intermedios o está debajo de la cubierta, no presenta problemas de dilatación³⁶ para luces de menos de 15 metros, sin embargo, en cubiertas expuestas de grandes luces y recorrido como las de una nave industrial, se hace preciso la colocación de apoyos sobre rodamientos que permitan la variación de volumen libremente. Al apoyarse de esta forma, teóricamente solo se producen cargas verticales sobre el muro de soporte, no obstante, siempre hay algo rozamiento en los rodamientos y en el apoyo puede ser preciso colocar contrafuertes que arriostren dicho muro de apoyo. (Blanco, 1947)

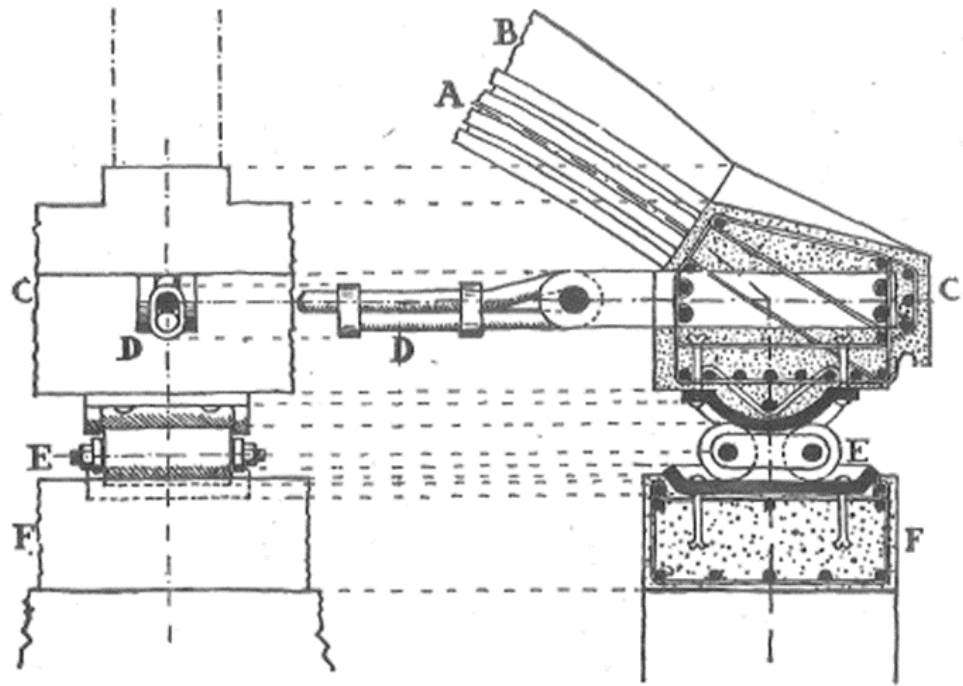


FIG. 45.—Apoyo de giro y deslizamiento (detalle de la fig. 46):

- A: Bóveda de rasilla.
- B: Costilla de rasilla.
- C: Estribo dispuesto para recibir cargas y empujes entre cada dos tirantes.
- D: Tirante con articulación.
- E: Rodillos, de los que corresponde un juego a cada tirante.
- F: Carrera sobre la cabeza del muro.

Ilustración 11. Apoyo en deslizamiento (Blanco, 1947, pág. 47)

³⁶ Se está considerando dilataciones perpendiculares a la directriz de la bóveda, en el caso longitudinal es preciso disponer juntas de dilatación cada 20 metros (Blanco, 1947)

- El arranque se encuentra en el **suelo**: entendiendo éste como cualquier plano horizontal, bien sea un forjado, una solera, etc. No es habitual que una bóveda tabicada arranque desde el terreno o solera debido a la posibilidad de humedad que, sobre todo, afecta al yeso y sus características, o arranque desde otro paramento horizontal sin que sea ayudado por un mecanismo para disipar sus esfuerzos (por ejemplo, un muro). Sin embargo, las bóvedas de escaleras si lo hacen³⁷, arrancan de forjados en cualquier punto del paño donde sea requerida, confirmando las cargas al forjado, generalmente reforzado para el caso mediante lengüetas o un mayor número de vueltas.

4.3.2. SENCILLADO³⁸

Es la construcción de la primera hoja, grueso o vuelta de fábrica y la que, por tanto, le da la forma a la bóveda.

- Las **piezas**, para la correcta ejecución, deben ser cuidadosamente cocidas y cortadas previamente en fábrica, para que posteriormente en obra queden perfectamente unidas formando un patrón o aparejo regular. En la fase de construcción solo se cortarán aquellas que sean estrictamente requeridas por el aparejo, como en los arranques o la clave. Si es preciso deben humedecerse ligeramente para que no resten agua al mortero, sobre todo en época estival.
- El **aparejo** habitual para la primera vuelta consiste en colocar las piezas paralela o perpendicularmente a los arranques, supuestos estos paralelos entre sí. Es crucial construir las hiladas formando arcos, esto es, en la dirección en la que descargan los empujes, y no de forma paralela a la directriz, con la finalidad de que no se desmorone en la fase constructiva al realizar el doblado, ya que en este momento comienza a aumentar su carga por peso propio.

³⁷ Si bien es cierto que hay ocasiones en las que se da una ligera curvatura lateral hacia el muro contiguo para que parte de sus cargas acometan sobre él y además conferirle mayor rigidez.

³⁸ Derivado del Catalán "senzillat" que significa estar formado por un solo elemento.

- La **unión** se realiza con pastas de fraguado rápido, la más habitual es la de yeso que debe ser conjugado con agua en correcta proporción para dar una mezcla ni muy blanda ni muy espesa y que el material esté "vivo" en el momento de la colocación. Esta pasta es colocada por un albañil auxiliar en la testa y el canto de la rasilla, a cuya operación se denomina enllardado³⁹.

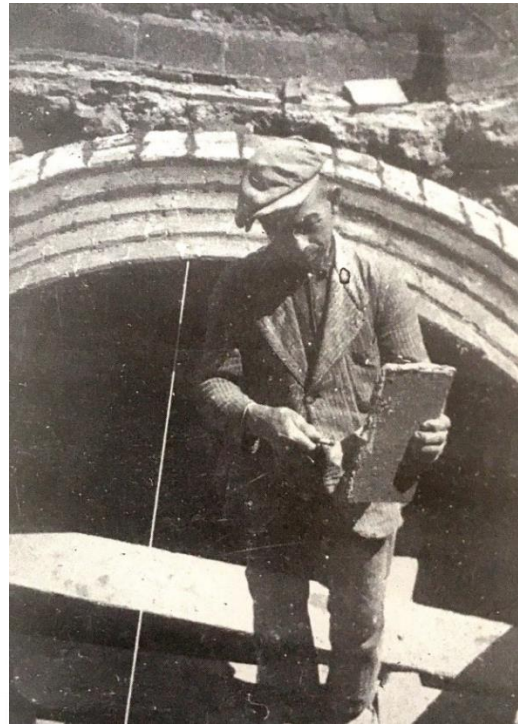


Ilustración 12. El albañil "enllarda" la rasilla colocando yeso en el canto y la testa. (Truño, 2004, pág. 17)

- La **colocación** es realizada por un albañil más experimentado que el anterior, puesto que debe hacerse con precisión. En caso de error se retirará la pieza y colocará de nuevo, no siendo posible la recolocación a restregón o con excesivos golpes de paleta. Una vez posicionada la pieza ha de ser sujeta durante unos 15 o 20 segundos hasta que el yeso tire y tenga la suficiente fuerza como para soportar el peso de la propia pieza. Cuando un arranque está a una cota inferior que el otro (o los otros) se inicia la colocación de las piezas por éste y cuando se alcanza la clave se inicia la construcción desde los otros arranques hasta llegar a la misma. (Truño, 2004)

³⁹ Derivado del Catalán "enllardat" que significa embadurnado con un material graso.



Ilustración 13. Albañil colocando piezas del senzillado. (Truño, 2004, pág. 21)

- La **plantilla** es una cercha bidimensional, generalmente de madera, que sirve de referencia para garantizar la forma de la bóveda en la fase de la construcción. Dependiendo de la complejidad y de la forma se pueden utilizar cordales tendidos de una a otra, se intersecan dos, como por ejemplo para el caso de bóvedas de arista o esquivadas, o bien, si es de curvatura única como en las bóvedas de cañón, es la misma la que se va deslizando en el sentido de la directriz por unas guías colocadas a la altura de los apoyos. Pueden incluso obviarse estas plantillas si la bóveda es de poca luz y el albañil tiene una dilatada experiencia.

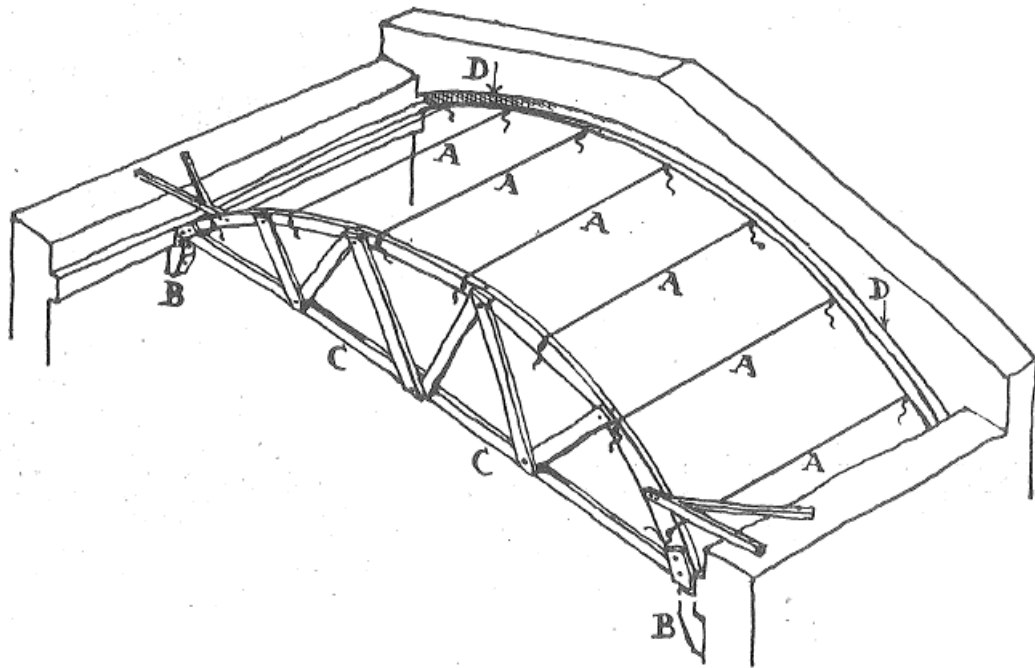


FIG. 3.—Preparación para construir una bóveda cilíndrica empleando cuerdas como guías.

AAA: Cuerdas tensadas paralelas al eje del cilindro.

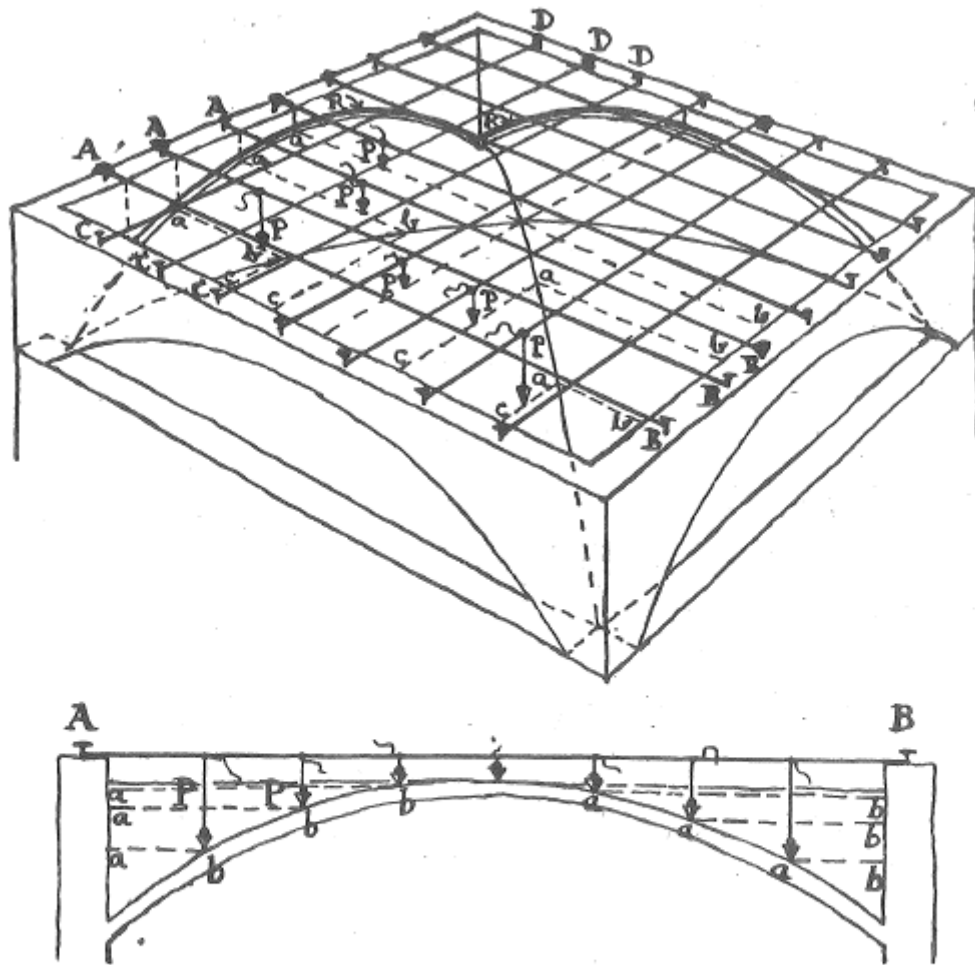
BB : Egiones para apoyo de la cercha.

CC : Cercha ligera en que se sujeta un cabo de cada cuerda.

DD : Roza en el muro de testa, en cuyo borde inferior se sujeta el otro cabo de cada cuerda. El resto de la construcción, como en la figura 1; las cuerdas molestan algo el trabajo.

Ilustración 14. Plantilla de madera y cordeles de ayuda. (Blanco, 1947, pág. 11)

- **Otros sistemas** son las cimbras, que únicamente se construyen para casos de mucha complejidad, o el replanteo mediante plomada: este método consiste en la configuración de un plano horizontal, superior a la bóveda que se va a construir, realizado mediante alambres paralelos entre sí y a los apoyos formando una retícula, para después descolgar de ellas equidistantemente un cordel con un plomo que marque la altura de la arista o de la directriz de la bóveda en varios puntos a seguir. (Blanco, 1947)



Figs. 7 y 8.—Preparación para construir la bóveda por arista mediante plomada:
 AB, AB: Alambres tensados entre clavos A y B, paralelos al eje de un cañón
 CD, CD: Alambres tensados como los anteriores, paralelos al eje de otro cañón.
 ab, ab: Generatrices de un cañón.
 ac, ac: Generatrices del otro cañón.
 P, P, P: Plomadas de longitud fija para cada generatriz.
 R, R: Rozas en los muros de testa.

Ilustración 15. Replanteo mediante plomada. (Blanco, 1947, pág. 14)

4.3.3. DOBLADO

Se trata de la construcción de la segunda y siguientes hojas, las que le dan mayor espesor a la bóveda y, por tanto, mayor resistencia.

- Las piezas utilizadas han de cumplir los mismos requisitos que las de la primera hoja. Habitualmente son las mismas, aunque hay casos en los que la primera vuelta se realiza con rasilla hueca, para que tengan menor peso y facilite la construcción, ya que en la fase en la que se le aplica el yeso quedan en vuelo; y las restantes con piezas macizas, de este modo se aumenta su resistencia a compresión.

- El **aparejo** se diversifica a partir de la segunda hoja, sin embargo, debe cumplir una regla: las hojas deben realizarse a "matajunta", es decir, no puede coincidir las juntas de mortero de la hilada anterior con la contigua. Generalmente, la segunda hoja se realiza utilizando el mismo aparejo que la primera, pero con un ligero desfase para cumplir la condición establecida. A partir de esta, los aparejos son diversos, siempre y cuando se adapten a la forma de la bóveda como, por ejemplo, el aparejo en "espina de pez"⁴⁰ (Blanco, 1947, pág. 20) o el aparejo a espiga.
- La **unión** se realiza con mortero de cemento rápido o mortero de cemento y cal, puesto que es el encargado de conferir a la bóveda mayor resistencia a compresión. Dicho mortero se vierte casi a la vez que el fraguado de los sucesivos arcos de la primera vuelta, formando una capa superior a ésta. Previamente, es importante humedecer en la cantidad justa el extradós de la primera vuelta, de tal forma que no absorba humedad del mortero y no reblandezca las juntas de yeso.
- La **colocación** de las piezas esta vez sí se realiza con un ligero restregón sobre la capa de mortero ya comentada, de forma que todas las caras queden cubiertas de cemento y procurando no tocar pieza con pieza. Una vez realizada la operación se raspa el mortero que haya rezumado por las juntas para facilitar la colocación de la siguiente vuelta si la hubiera. Como se ha comentado, la segunda vuelta y sucesivas, deben hacerse a la vez que el sencillado, con un ligero desfase para que le dé tiempo al yeso del arco anterior a fraguar. De este modo, un albañil puede realizar "tres hojas de rasilla con cemento, hechas a continuación de la primera con un retraso de 0,60⁴¹ metros como máximo" (Blanco, 1947, pág. 16), si hubiera más vueltas se realizaría por otra cuadrilla situada en un andamiaje en la parte superior de la bóveda sin apoyarse en ella. Es importante resaltar que "nunca se pasa un grueso sin que el arco inferior esté cerrado" (Truño, 2004, pág. 24).

⁴⁰ Consiste en colocar las rasillas en diagonal y contrapearlas respecto de la vuelta superior.

⁴¹ Se entiende ésta como la distancia máxima a la que un albañil puede alcanzar con el brazo sin apoyarse en la bóveda.

- La **última capa** se realiza para regularizar el extradós donde posteriormente se construirán las lengüetas, en su caso. Para ello, se vierte nuevamente otra tongada de mortero, como si se fuera a colocar otro grueso encima, y se fratasas.

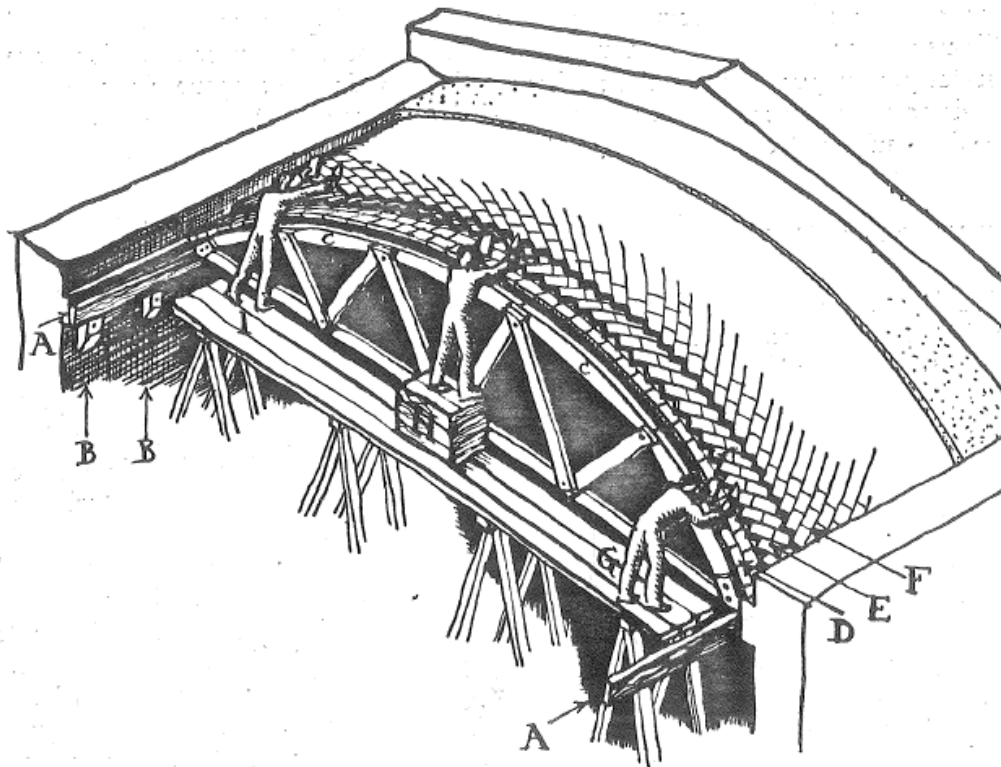


FIG. 2.—Construcción de una bóveda cilíndrica empleando cercha corredera:

- AA: Tablones que sirven de carriles.
- BB: Vigas para apoyo de los carriles.
- CC: Cercha ligera.
- D : 1.^a vuelta, de rasilla (con yeso).
- E : 2.^a ídem íd. (con cemento).
- F : 3.^a ídem íd. (con cemento).
- G : Oficial de la cuadrilla que hace la 1.^a vuelta.
- H : Ídem íd. íd. la 2.^a vuelta.
- I : Ídem íd. íd. la 3.^a vuelta.

Ilustración 16. Proceso de construcción del doblado. (Blanco, 1947, pág. 10)

4.3.4. LENGÜETAS⁴² O COSTILLAS

Consiste en la construcción de tabiquillos sobre la última capa de acabado de la bóveda en la dirección en la que descargan los esfuerzos.

- Las **piezas** dependerán de la carga que deban soportar y transmitir a la bóveda, de la esbeltez de la costilla y de la separación entre éstas, pudiendo utilizarse desde las propias rasillas de la bóveda

⁴² Término atribuido a Fray Lorenzo de San Nicolás tras su publicación de 1639.

(con las características ya comentadas) hasta tabiques de medio pie de ladrillo hueco o macizo.

- El **aparejo** empleado es el típico de la construcción de muros de una hoja y medio pie que consiste en sucesivas hiladas de piezas colocadas matando juntas, aunque puede haber situaciones que, para aligerar el peso propio, se configuren "tabiques palomeros".
- La **unión** de las piezas se realiza con mortero de cemento o pasta de yeso, en éste último caso se debe prestar especial atención si las costillas se encuentran debajo de la cubierta, puesto que deber estar correctamente impermeabilizada para que el agua no penetre y afecte a las características del yeso.
- La **colocación** de las piezas es la habitual de los muros, por ejemplo, en el caso de usar las mismas rasillas, pueden colocarse a panderete formando una lengüeta esbelta. Como es de esperar, la forma curva de la propia bóveda en el extradós, obliga a cortar las piezas o a compensar las hiladas para adaptarse a dicha curvatura. Situación análoga sucede cuando las costillas son las que forman la pendiente de la cubierta.

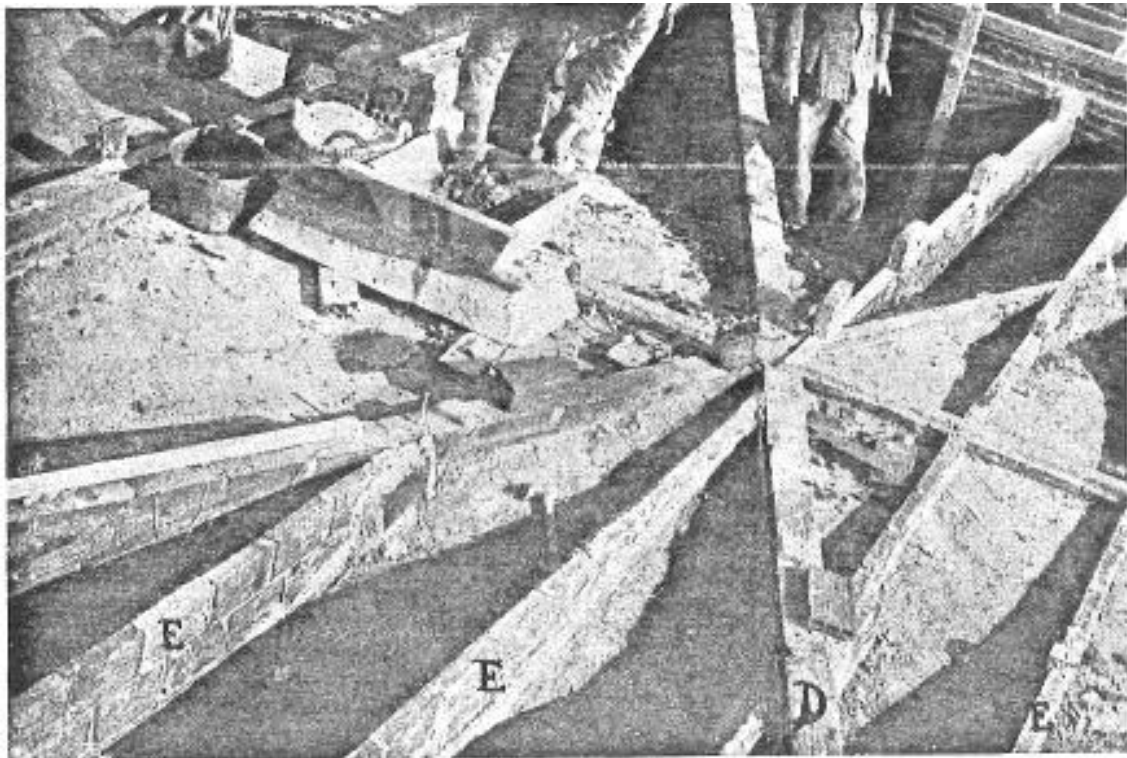


Ilustración 17. Proceso de construcción de lengüetas. (Blanco, 1947, pág. 21)

- Las **construcciones posteriores** para las que sirven las lengüetas:
 - **Dar pendiente:** para generar las vertientes de la cubierta situada sobre una o varias bóvedas tabicadas, es preciso realizar callejonados de tabiques paralelos a la escorrentía y perpendiculares a la directriz de la bóveda. Estos tabiques o lengüetas han de estar separados entre sí a una distancia tal que pueda ser asumida por las piezas que posteriormente las cubran (generalmente rasillas dispuestas a tabla), para posteriormente, asentar sobre esa superficie el material de cobertura, bien sean tejas o pizarra. Como es de esperar, éstas lengüetas confieren a la bóveda una elevada sobrecarga, sin embargo, Manuel Fornés y Gurrea propone una solución: "El método de aligerar se reduce a formar arcos en los mismos tabiques, que estriben sobre las paredes y trasdós de las bóvedas, por cuyo medio se puede suprimir una tercera parte de su peso y trabajo." (Gurrea, 1841, pág. 42).

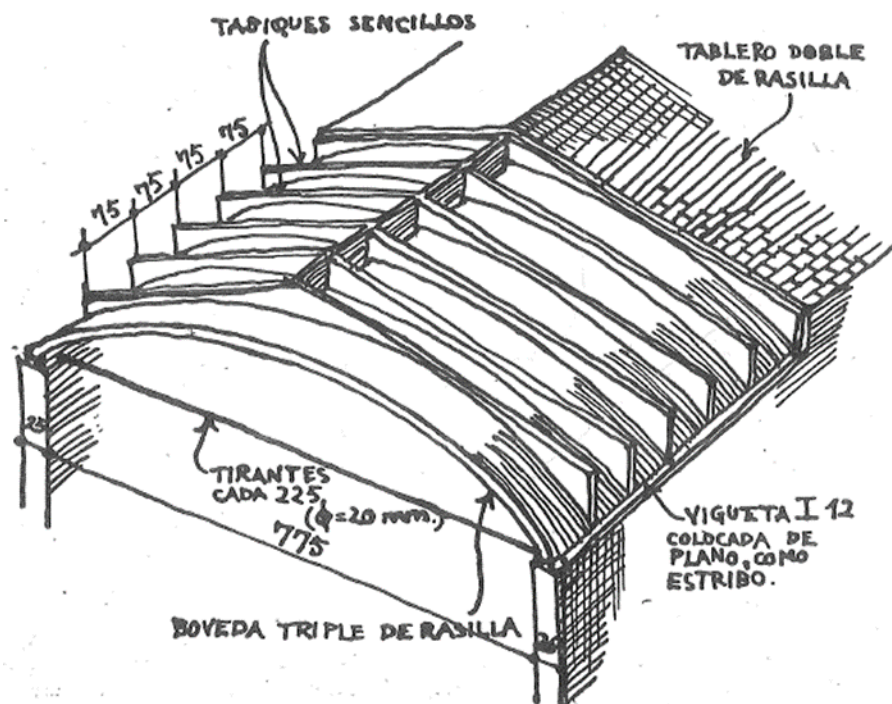


Ilustración 18. Formación de pendiente mediante lengüetas. (Blanco, 1947, pág. 31)

- **Generar una superficie plana:** de forma similar al caso anterior, las lengüetas sirven para proporcionar una superficie continua horizontal sobre la que asentar el acabado correspondiente. El sistema es el mismo: dos capas de

rasilla sobre las lengüetas con su respectiva tongada intermedia. La última tongada es de más espesor, para conferir mayor rigidez al plano, y sobre esta se dispone el sistema pertinente para la colocación del acabado.



Ilustración 19. Formación de superficie planta mediante lengüetas. (Truño, 2004, pág. xlix)

- Servir de apoyo a bóvedas secundarias: se trata de una variante de las anteriores, en la cual, aparece un paso intermedio. En estos casos, las bóvedas principales son de grandes dimensiones y cubren un gran vano. Son reforzadas con lengüetas perpendiculares a su directriz, como es habitual, y entre éstas, se disponen bóvedas de segundo orden para salvar la distancia⁴³ entre lengüetas. Posteriormente, y para dar lugar a una superficie plana (tanto inclinada como horizontal) se pueden colocar otras lengüetas auxiliares más juntas, perpendiculares a la directriz de las bóvedas secundarias, como en los casos precedentes, sobre las que ya sí se pueden tender las rasillas de forma horizontal. Otra opción sería rellenar las enjutas de las últimas bóvedas construidas mediante cascotes y escombro. Lo que se busca con este sistema es la jerarquización estructural.

⁴³ Esta distancia no sería asumible por piezas dispuestas a tabla, por ello se necesita una curvatura, la de la bóveda.

4.3.5. RELLENO DE ENJUTAS

Es la operación de macizar o rellenar el trasdós de la bóveda en los arranques para garantizar la correcta transmisión de cargas y evitar fisuras por deformación en los riñones de la bóveda.

- El **material** empleado de forma idónea sería el hormigón para macizar de forma correcta el arranque, sin embargo, no siempre se hace así, sino que se depositan los cascotes o ripios sobrantes de los recortes de los ladrillos o arena junto con cemento. Previamente y como en los demás casos en los que se emplea mortero u hormigón, es necesario humedecer ligeramente el soporte sobre el que se verterá.
- El **enlace** entre el material, la bóveda y el apoyo puede confiarse a la propia cohesión del material o, si se considera oportuno, y según las indicaciones de Ángel Truño, se puede generar un escalonamiento en el trasdós del arranque de la bóveda o embebiendo en la misma rasillas o ladrillos de canto. (Truño, 2004)
- La **altura** hasta la que se debe macizar el trasdós es la que argumenta Santiago Huerta, haciendo alusión a las afirmaciones de Fray Lorenzo de San Nicolás: "indica la necesidad de macizar el trasdós de los arranques hasta el primer tercio de la altura de la bóveda" (Huerta, 2001, pág. 88).
- La **opción alternativa** es la planteada por Ángel Truño: "es más aconsejable formar un voladizo al construir las paredes de apoyo, con lo cual se logra que esta masa de contrarresto no actúe como peso sobre la bóveda y por tanto no aumente el empuje" (Truño, 2004, pág. 36) como sucede en el caso propuesto por Fray Lorenzo.

4.3.6. MECANISMOS DE DISIPACIÓN DE EMPUJES HORIZONTALES

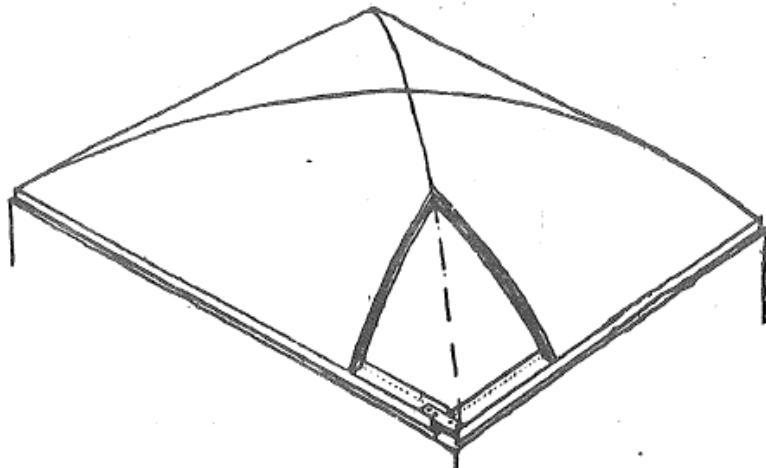
Para garantizar que la transmisión de empujes llega hasta el suelo de forma segura⁴⁴ y por tanto, no compromete la estabilidad global del sistema estructural, es necesario disponer de alguno de los mecanismos conocidos para contener los empujes horizontales que derivan de las bóvedas. Estos mecanismos son los siguientes:

- **Muros gruesos:** se trata del sistema más antiguo empleado para contener este tipo de esfuerzos. Consiste en sobredimensionar el espesor del muro para que la componente vertical de su peso propio se conjugue con la componente inclinada⁴⁵ de la bóveda, garantizando que la línea de presiones se mantiene dentro de dicho espesor hasta entrar en contacto con el terreno. Fue el mecanismo más estudiado por Fray Lorenzo de San Nicolás, como se aprecia en la tabla que proporcionó para dimensionar los espesores de los muros en función de las características de las bóvedas.
- **Contrafuertes:** los contrafuertes, bien sean adheridos al muro o bien sean separados con la ayuda de arbotantes y pináculos, permiten reducir el espesor del muro cumpliendo su misma función, esto es, recogiendo la componente diagonal del empuje de las bóvedas y transmitiéndolo dentro de su sección hasta el asiento. Ambos sistemas trabajan por un sistema basado en el peso propio de los cuerpos.
- **Zunchos o estribos:** se trata de mecanismos que ya no se basan en el peso propio, sino en la capacidad de los materiales de soportar esfuerzos de tracción y flexión. Para ello, tradicionalmente se han usado la madera, el acero o el hormigón armado. Para que el mecanismo funcione, hay que cumplir una condición: que las piezas colocadas estén unidas entre sí y trabajen solidariamente, garantizando que los esfuerzos derivados de la bóveda queden contenidos. Éstas piezas pueden trabajar de dos formas: a flexión, aquellas que reciben el apoyo de las bóvedas y están sometidas a una carga horizontal uniformemente repartida, o a tracción, aquellas

⁴⁴ Es decir, sin que la línea de presiones salga del espesor del sistema con un cierto grado de holgura.

⁴⁵ Suma de vectores horizontal y vertical.

piezas dispuestas perpendicularmente a las anteriores. De esta forma, los esfuerzos horizontales transmitidos a los apoyos son mínimos.



*Ilustración 20. Zuncho cuadrado formado con perfiles de acero unidos con pletinas.
(Blanco, 1947, pág. 40)*

- **Tirantes:** se trata de un mecanismo complementario a otro, es decir, los tirantes, por si mismos no forman el sistema, sino que necesitan de otros elementos a los que anclarse. Éstos otros elementos generalmente son vigas o zunchos sobre los que se apoyan las bóvedas y entre los cuales ya si se tienden los tirantes de acero. En consecuencia, el mecanismo es el conjunto de apoyo en viga o zuncho más tirante. Ver ilustraciones de los apartados "*Arranque en vigueta embebida en muro*" o "*Lengüetas, construcciones posteriores*".

5. DOCUMENTACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL EDIFICIO

5.1. EMPLAZAMIENTO

El edificio se encuentra en Linares de Riofrío, un pueblo situado a 50 kilómetros al sur de la ciudad de Salamanca. La dirección oficial es Calle Los Mártires, 9, CP 37760, sin embargo, en Google Maps está delimitado por la Avenida del Tornadizo y Calle la Esperanza, siendo ésta última la calle que coincide con la referencia catastral, cuyo número es el siguiente: 3262402TK5936S0001WP.

La parcela tiene 12.549 metros cuadrados y la superficie construida es de 5.460. Se erige en una pequeña elevación del terreno situada al sur del pueblo, siendo de esta forma un elemento de referencia visual, tanto para el pueblo como para los alrededores ya que su volumen y color contrasta con la vegetación circundante.

El entorno del pueblo es montañoso y con abundante y diversa vegetación. La altura es de 956 metros sobre el nivel del mar. Ambos motivos dan pie a que la humedad y las precipitaciones sean más abundantes que en la capital de provincia.

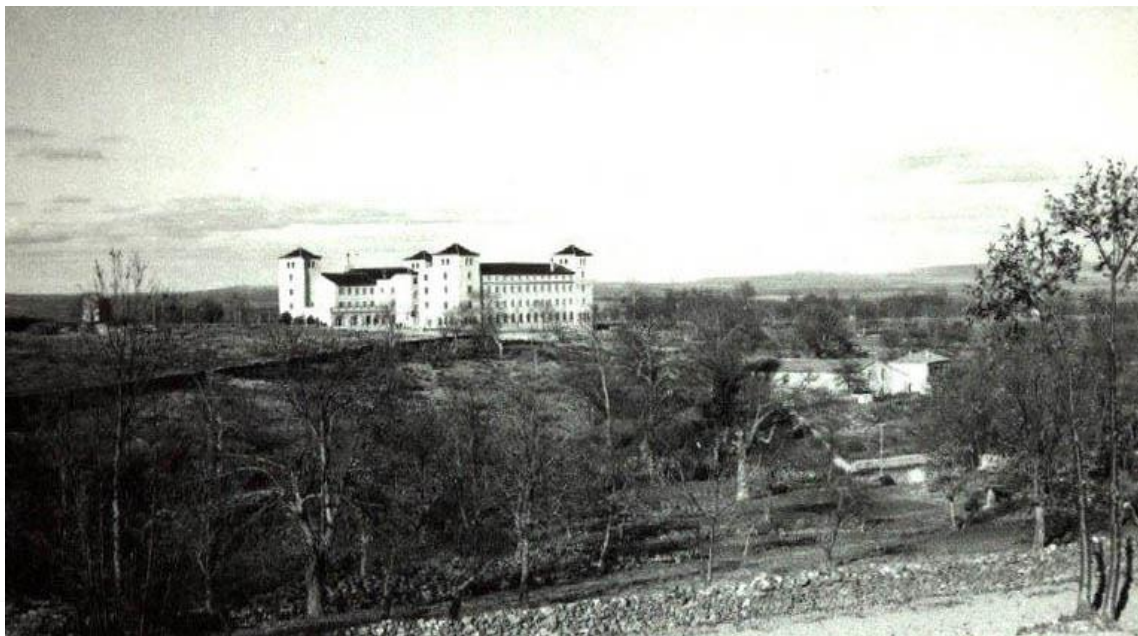


Ilustración 21. Antigua fotografía del Colegio y su implantación en el entorno.

5.2. DOCUMENTACIÓN

Siguiendo el procedimiento habitual de recopilación de información, se acudió al Ayuntamiento del municipio para solicitar una copia del proyecto, sin embargo, no constaba en el archivo ni había conocimiento de él, únicamente estaba el Acta de cesión del terreno, por parte del Ayuntamiento, previa a la construcción.

Desde ahí se derivó la consulta a la delegación de Educación de la Junta de Castilla y León presente en la ciudad de Salamanca. Allí se volvió a solicitar la documentación original del proyecto, nuevamente sin éxito. Únicamente estaba presente un levantamiento reciente del edificio en formato CAD (.dwg) que había realizado dicha institución. Se solicitó el documento tras la formalización del proceso pertinente.

La Arquitecta de la Junta derivó la investigación al Obispado, primer propietario del edificio. En la secretaría del archivo de la institución se repitió la negativa en cuanto a la localización del proyecto y se aconsejó buscar algún tipo de información en los boletines oficiales del obispado presentes en dicho archivo.

Tras la revisión de los "Boletines Oficiales Eclesiásticos de la Diócesis de Salamanca" de los años cercanos a 1950, se encontró documentación en la cual el Obispado solicitaba al Ministerio de Justicia una ayuda económica para la construcción de Seminarios Menores y demás necesidad. Esta ayuda fue concedida por un Decreto datado el 28 de marzo de 1947. (Giménez, 1947)

Después de esta consulta se decidió enviar correos al archivo de la Universidad Pontificia de Salamanca, al Colegio Oficial de Arquitectos de León y al de Castilla y León, siendo únicamente la primera institución la que respondió en cuanto a la posesión de documentos.

La Pontificia proporcionó documentos pertenecientes a otros Boletines en los cuales confirmaban el inicio de la construcción en el año 1948 y su finalización 9 años después, en 1957, fecha que fue "corroborada" al encontrar una esquila de dicho año al hacer una cata en una bóveda de cubierta de la última ala construida. Estos documentos están integrados en el Anejo "*Documentación histórica*".

5.3. HISTORIA

Tras su inauguración en 1957 por parte del Obispado, el edificio se estableció según lo previsto, un Seminario Menor de la Diócesis de Salamanca que junto con el Seminario Mayor de Calatrava, situado en la ciudad, formarían a los jóvenes.

En 1968 pasó a manos de la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, con la finalidad de convertir el edificio en un centro de ayuda para los necesitados y para jóvenes huérfanas. Se pasó a llamar Escuela-hogar y Colegio de Nuestra Señora del Rosario con una capacidad de 200 plazas.

Más adelante pasó a ser un colegio para los jóvenes del pueblo y comarca, función que llega hasta nuestros días, habiendo pasado por varios nombres como C.R.A. Alto Alagón (Colegio Rural Agrupado), siendo el actual C.E.O. Alto Alagón (Centro de Educación Obligatoria).

5.4. DESCRIPCIÓN

El edificio presenta una forma de "U" en planta, formada por 3 alas, a falta de una cuarta que, según los indicios de la construcción, pudiera haber sido proyectada pero no se llegó a ejecutar por motivos desconocidos. En cada vértice hay una torre de mayor altura.

Está orientado noroeste suroeste, es decir, girado 45 grados respecto de la orientación norte sur, quedando el ala no construida en la orientación suroeste.



Ilustración 22. Fotografía aérea del edificio en relación con el pueblo. Fuente: Google Earth, 2017

Las tres alas tienen planta baja más dos, planta tercera solo hay en el ala sureste y en la parte central del ala noroeste, mientras que planta cuarta solo hay en las torres. El ala noroeste tiene un crucero en su parte central, invadiendo parte del patio con un volumen que genera la escalera principal de subida a las plantas.

El patio interior es cuadrado y en planta baja está rodeado por una galería arqueada. En cuanto a la cubierta, es de pizarra negra, contrastando con los muros pintados de color blanco, mientras que la parcela, actualmente, presenta pistas de deporte, zonas ajardinadas y juegos para los alumnos del colegio.

Estéticamente es un edificio con limpieza de forma y claro ritmo de huecos tanto en las fachadas exteriores como en las que dan al patio interior formado por esa "U". La excepción se encuentra en la fachada principal donde el ornamento es mayor y se dispone un frontón con un grabado en su parte superior.



Ilustración 23. Fotografía de la fachada principal. Fuente: el autor, 2019

5.5. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los sistemas constructivos a continuación descritos son los que están ligados en mayor medida al estudio de las bóvedas tabicadas, es decir, la estructura portante que las sustenta y la envolvente que las reviste, descartando de esta forma las instalaciones y particiones no portantes, ya que no influyen en el comportamiento y las condiciones de contorno de dichas bóvedas.

5.5.1. ESTRUCTURA

La estructura del edificio está realizada con muros de carga, arcos de ladrillo macizo y bóvedas tabicadas de rasillas. Los ladrillos son de 24 x 11,5 x 5 centímetros, mientras que las rasillas son de 25 x 11,5 x 4,5.

Sin embargo, hay ligeras diferencias constructivas entre las tres alas como consecuencia del dilatado tiempo que tardó en ejecutarse, nueve años.

Por ello, en las líneas siguientes, se mencionará el método constructivo empleado para levantar cada ala y las cuatro torres desde los muros de carga y forjados hasta la cubierta, sin tener en cuenta esta diferenciación en la cimentación, puesto que, como se comentará, está realizada de igual forma.

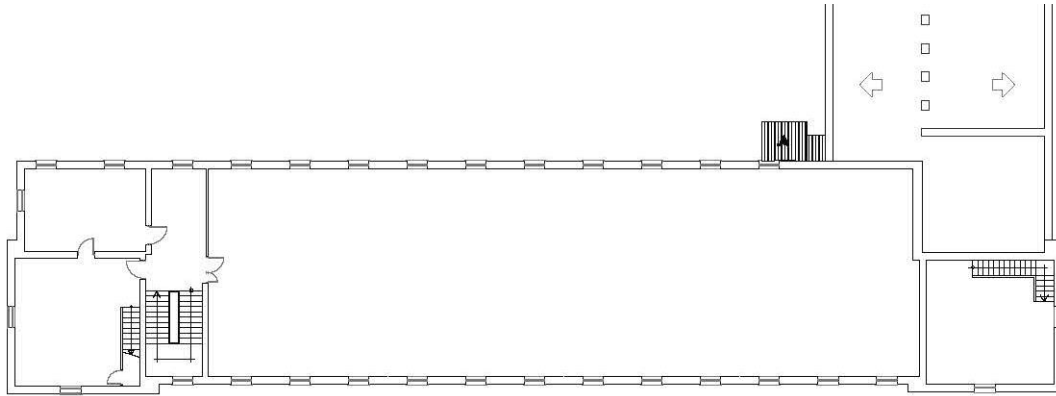
0. CIMENTACIÓN

El edificio está asentado todo él sobre una gran roca granítica. Esta roca presenta desniveles por su condición natural, cuestión que dará pie a diferentes profundidades de cimentación.

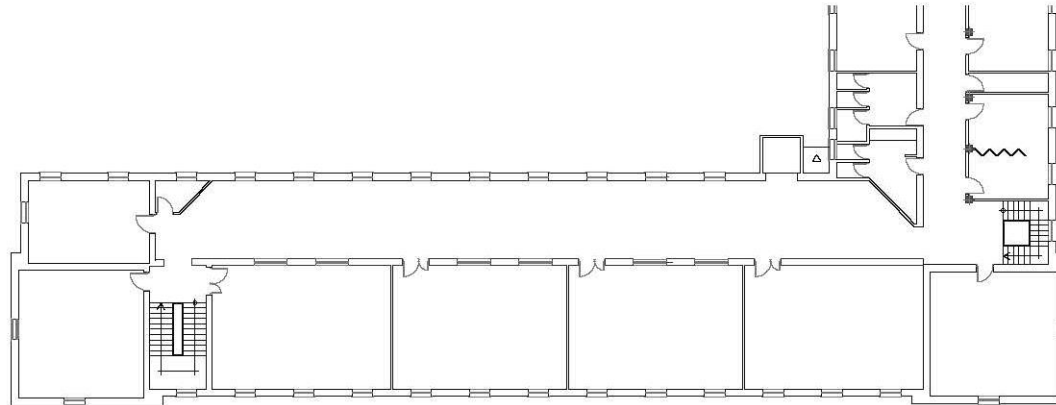
Dicho desnivel es apreciable en el semisótano, puesto que dos de las tres alas si lo presentan, quedando la otra, la sureste, inutilizada en su parte inferior debido a la cota más emergente de la mencionada roca. Esto es apreciable en las proximidades de ésta parte del edificio, donde la roca llega incluso a aflorar a la superficie.

En las zonas donde la roca estaba cubierta por tierra, para alcanzar su cota, se realizó una zanja a modo de zapata corrida mediante piedras de granito trabadas y recibidas con mortero bastardo desde donde arrancan los muros de carga.

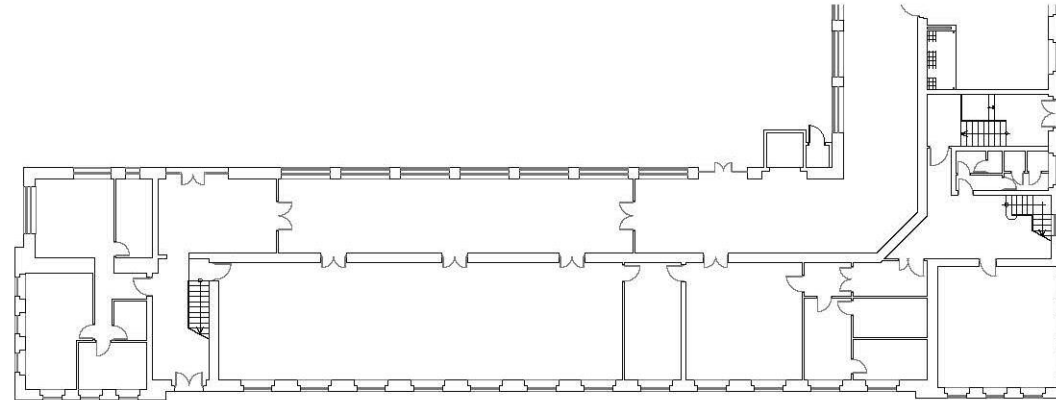
1. ALA SURESTE



PLANTA TERCERA

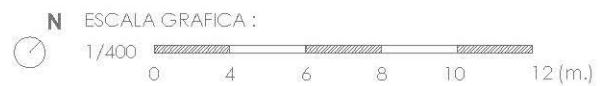


PLANTA PRIMERA Y SEGUNDA



PLANTA BAJA

PLANTA SÓTANO



El ala sureste tiene unas dimensiones de 41,55 metros de largo por 11,80 de ancho y presenta una altura de baja más tres, ya que el espacio de bajo cubierta es utilizado como un salón de actos.

Su estructura es la siguiente:

1.1. Muros de carga

Al no haber semisótano en éste ala, los muros de carga arrancan de la propia cimentación, asentada sobre la roca. Estos muros son tres: los dos de fachada y uno interior, generando dos crujiás.

El primer tramo de los muros de fachada, hasta el arranque de los arcos que forman los huecos de las ventanas y ventanales del patio, está realizado con piedra de granito unidas con mortero de cemento y cal, para evitar que el ladrillo esté en contacto con el terreno húmedo. Tiene un espesor de 70 centímetros.

En cuanto al muro de carga interior a ambos, está realizado con el mismo ladrillo macizo y tiene un espesor de 50 centímetro, es decir, dos astas.

A partir de la planta primera, los tres muros reducen su sección a 40 centímetros, un asta y media contando con los acabados. Para reducir el peso propio, el muro interior pasa a formar arcos de descarga, salvando cada uno una luz de 2,20 metros y dejando entre sí 0,90 metros de macizo, que sumado, da unos 3,10 metros. El mismo resultado da al sumar los huecos de los muros de carga de fachada: tienen un ancho de 1,00 metros y una distancia entre ellos de 2,10. Esto es así porque los huecos de fachada y los arcos interiores están alineados, dejando entre ellos un intereje macizo de 3,00 metros para el apoyo de las viguetas sobre las que se asientan las bóvedas.

La transición de los muros de carga de fachada entre la planta segunda y la tercera se realiza mediante un zuncho de hormigón armado dispuesto para recibir los tirantes que contrarrestan el empuje de la bóveda que cubre dicha planta, la cual es diáfana y no tiene apoyos intermedios, por lo que el muro interior de las plantas inferiores sube hasta el forjado de suelo de este nivel y no hasta la cubierta.

1.2. Estructura horizontal

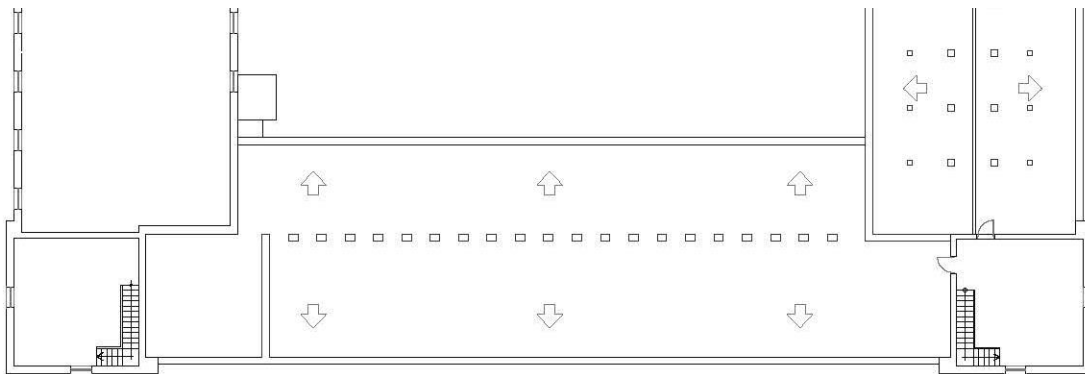
La estructura horizontal del suelo de planta baja se desconoce al no existir un nivel inferior que dé alguna pista.

La estructura de las tres plantas superiores es igual, hecha mediante bóvedas esquivadas tabicadas, apoyadas sobre viguetas prefabricadas que reposan sobre los muros de carga, lo que a todos efectos se podrían considerar forjados, ya que las bóvedas hacen la función de bovedillas solo que cubren una luz de 3 metros en lugar de 0,60.

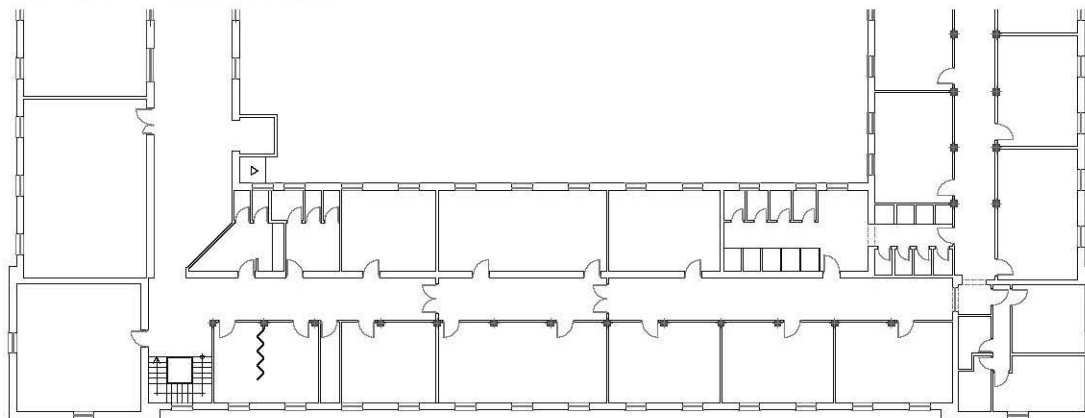
La cobertura de la planta tercera se realiza mediante una bóveda de cañón tabicada de directriz parabólica con lunetos.

Se realizará una descripción pormenorizada de las bóvedas en el apartado de clasificación y análisis de las bóvedas tabicadas del edificio.

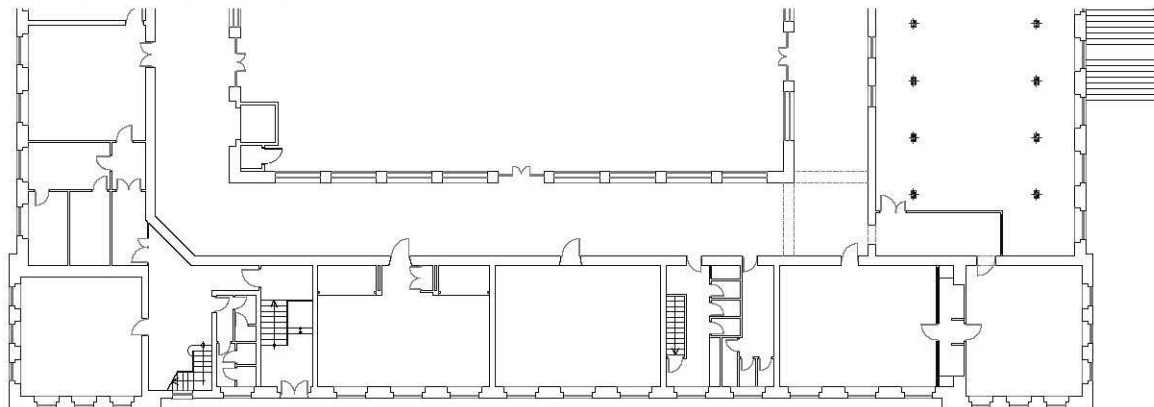
2. ALA NORESTE



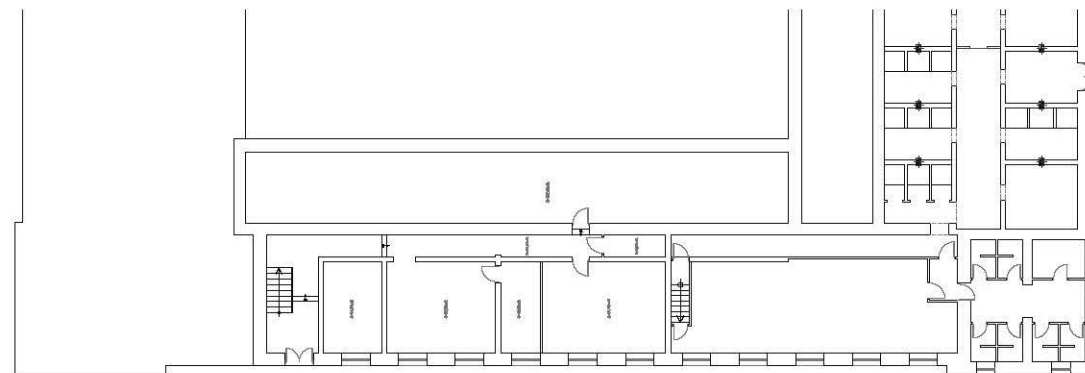
PLANTA TERCERA Y BAJO CUBIERTA



PLANTA PRIMERA Y SEGUNDA

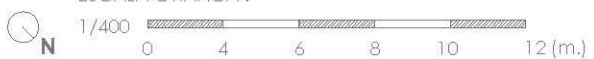


PLANTA BAJA



PLANTA SÓTANO

ESCALA GRAFICA :



El ala noreste tiene unas dimensiones de 42,5 metros de largo por 12 metros de ancho. Se trata del ala de conexión entre el acceso principal y el ala sureste.

2.1. Muros de carga y machones de ladrillo

La estructura vertical está configurada por muros de carga y machones de ladrillo.

Forman dos crujías separadas por un muro de carga interior. Esto es claramente apreciable en las plantas de semisótano y baja, sin embargo, en las sucesivas, se dispusieron posteriormente machones de ladrillo para reducir la luz de las viguetas, por lo que podría considerarse que las crujías son tres: dos extremas y una intermedia.

- Sótano

Los muros portantes arrancan desde la planta sótano. Al igual que en el resto de alas, son de fábrica de piedra de granito con juntas pronunciadas de mortero de cemento y cal, sin embargo, en esta ocasión acaban en la cota de los dinteles de las ventanas, a la altura del arranque de los arcos que sirven de apoyo a las bóvedas, no como en las otras que ascendían hasta planta primera.

- Planta baja

Los muros de carga de fábrica de dos pies y medio continúan ascendiendo de ladrillo como se ha comentado anteriormente.

En el caso del muro de carga intermedio se mantiene la sección de dos hasta y media, a diferencia del ala noroeste.

- Planta primera y segunda

En esta cota aparecen los machones de ladrillo de 40 x 40 centímetros, encargados de reducir la luz de las viguetas dobles de la crujía mayor. Sorprendentemente, descansan sobre los riñones de los arcos de planta baja, a modo de cargas puntuales.

En cuanto a los muros de carga, varían su sección, como es habitual en las otras alas, pasan de ser de dos pies y medio a ser de un pie y medio, todos ellos de fábrica de ladrillo.

2.2. Estructura horizontal

La estructura horizontal sigue estando formada por bóvedas tabicadas, sin embargo, cabe destacar ciertas singularidades a lo largo de las diferentes plantas.

- Planta baja y primera

La estructura del suelo de estas plantas es singular porque las bóvedas se apoyan sobre arcos en vez de sobre viguetas. Ésta disposición se mantiene en las dos plantas sin variaciones y coincidiendo los arcos en forma y dimensión en sendas alturas.

- Planta segunda y tercera

En ésta cota aparece nuevamente el empleo de viguetas de hormigón prefabricadas autoportantes, sobre las que se apoyan las bóvedas tabicadas, por lo que se pueden volver a llamar forjados. Hay dos crujiás: en el tramo mayor las viguetas son dobles⁴⁶, mientras que en el tramo corto son simples.

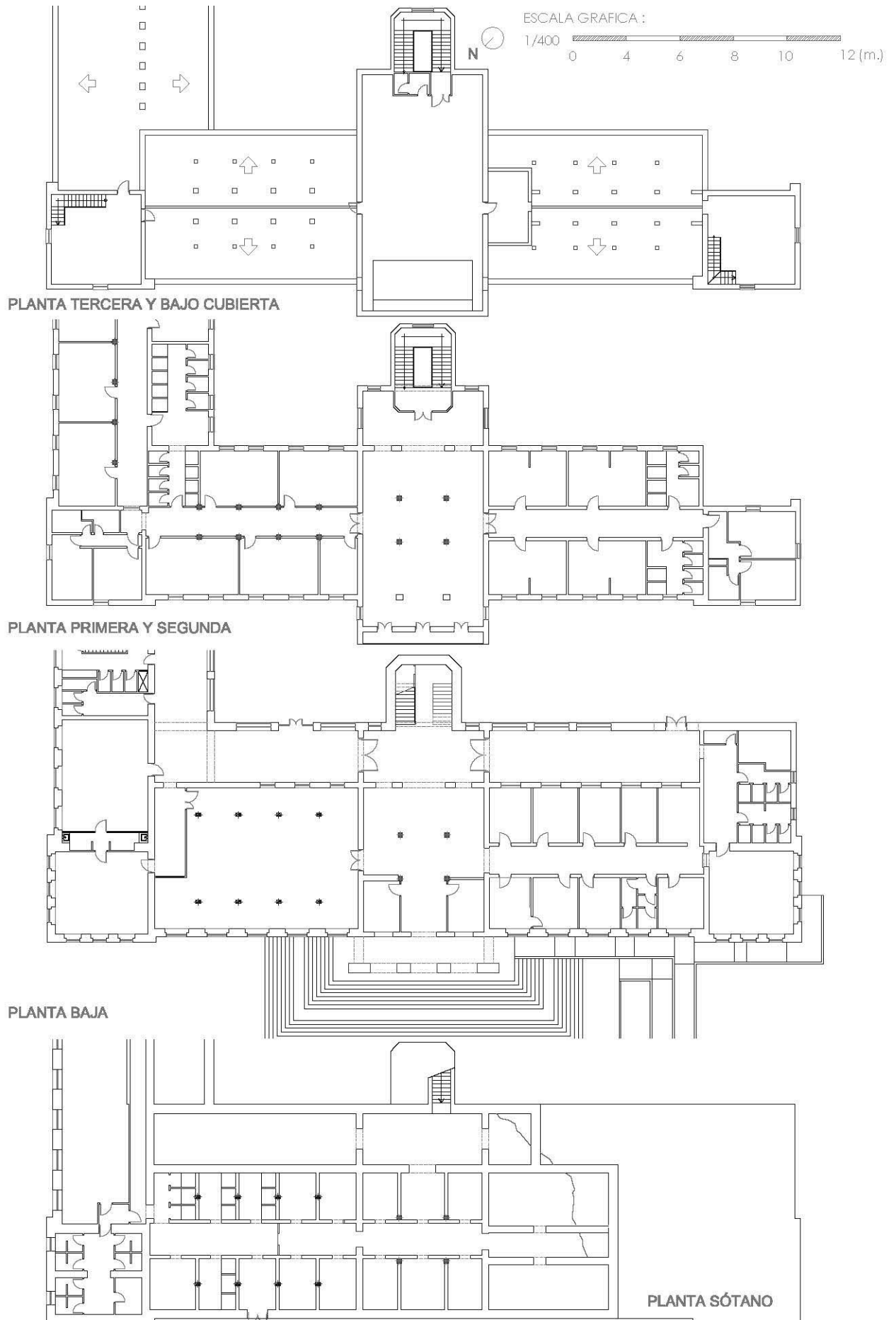
- Cubierta

El forjado de cubierta esta realizado con pequeñas bóvedas tabicadas de cañón rebajadas. Están apoyadas sobre viguetas simples de hormigón pretensadas que van desde el muro de carga de las fachadas hasta el muro de carga interior, convertido en machones de fábrica de ladrillo. Para reducir la luz de estas viguetas se ha dispuesto de unas tornapuntas de madera colocadas "a posteriori".

Al igual que en el ala sureste, lo anterior quedará detallados más adelante, cuando se estudien las bóvedas tabicadas.

⁴⁶ Cuya luz queda reducida por los machones de ladrillo

3. ALA NOROESTES



El ala noroeste tiene unas dimensiones de 42,30 metros de largo por 16,00 de ancho en las plantas semisótano y baja, mientras que las siguientes son de 11,50 de ancho. Esto es así puesto que, en planta baja, la galería que da al patio no tiene construcción superior.

Para resolver el acceso principal y dotarlo de mayor entidad, se dispone un cuerpo transversal al ala y situado en el centro de la misma, saliendo hacia la fachada principal y hacia el patio. A éste cuerpo se le llamará "transepto" o "crucero". Si se cuenta como un cuerpo independiente tiene unas dimensiones de 9,80 por 18,70 metros.

En cuanto a la comunicación vertical, las escaleras, están situadas en un cuerpo en prolongación a éste ala transversal, en el testero que da al patio.

De este modo, podemos diferenciar tres partes: la parte del ala mayor situada a la izquierda del acceso principal, la de la derecha y la parte central, en la que se encuentra el "transepto" y el propio acceso, todas ellas con diferencias estructurales y constructivas entre sí. Por tanto, esta diferenciación tripartita se utilizará para la posterior descripción estructural.

La altura del ala mayor es de semisótano, baja más dos y bajo cubierta, mientras que en la del cuerpo transversal tiene una planta tercera habitable, que también puede ser entendida como un bajo cubierta de mayor altura, de forma similar a lo que ocurre en el ala sureste.

3.1. Muros de carga y pilares de hormigón o machones de ladrillo

Es relevante destacar que la parte derecha está toda ella realizada con muros de carga, tanto los de fachada como los interiores, y machones de ladrillo, mientras que la parte izquierda y el cuerpo transversal del acceso incluye pilares de hormigón armado en su interior.

- Semisótano

La peculiaridad de tener una crujía más en planta baja, que da lugar a la galería, y el cuerpo transversal, que da lugar al acceso, deriva en un mayor número de **muros maestros**.

Parte izquierda del ala: desde esta parte arrancan tres, que corresponden con los siguientes en planta baja: el muro exterior de la galería porticada, el interior a ella que suporta la fachada de las plantas superiores y el muro de la fachada de acceso principal.

Parte central del ala o "transepto"⁴⁷: al tratarse de un volumen transversal con entidad propia y altura ligeramente diferente requiere de sus propios muros de carga, por ello, en el semisótano encontramos los dos correspondientes a su sentido mayor, es decir, perpendiculares a la directriz del ala principal.

Parte derecha del ala: los muros son los mismos que en la parte izquierda, sin embargo, al no haber pilares de hormigón, hay dos muros maestros a mayores que cumplen la función de apoyo interior.

Todos ellos ascienden desde el semisótano con un espesor de 70 centímetros y son de piedra trabada con pronunciadas juntas de mortero de cemento y cal. Entre varios de ellos, se disponen muros de segundo orden, realizados con ladrillos macizos dispuestos en aparejo español y 25 centímetros de espesor. Estos muros secundarios dotan al conjunto de mayor estabilidad al confeccionar un "cajonado" junto con los muros de carga y además hacen las veces de división interior.

Los **pilares de hormigón** descienden hasta la roca quedando parcialmente embebidos en los muros de fábrica de ladrillo de segundo orden, desconociéndose su cimentación real.

Parte izquierda del ala: los que se encuentran en esta parte son apantallados y tienen una dimensión de 25 por 40 centímetros.

Parte central del ala o "transepto": mientras que los que descienden de la parte central son de 35 por 35 centímetros.

3.1.1. Planta baja

Los **muros de carga** comentados en la planta sótano continúan ascendiendo con algunas consideraciones a tener en cuenta, a pesar de que la mayoría siguen siendo de 70 centímetros y están realizados como

⁴⁷ Se trata del cuerpo transversal situado en el centro del ala y que da lugar al acceso y escaleras principales.

los de la planta baja del ala sureste, es decir, en piedra hasta el arranque de los arcos de las ventanas y puertas de paso, a partir de ahí son de fábrica de ladrillo, incluidos los mismos arcos.

Parte izquierda del ala: al igual que todos los muros maestros de las otras alas que dan al patio, el de ésta parte puede considerarse como un pórtico realizado con arcos de fábrica.

Parte central del ala o "transepto": en esta parte, el muro correspondiente con la arquería anteriormente comentada, se convierte en dos ventanas y un gran arco que da paso a las escaleras principales, mientras que el muro interior de la galería se convierte en dos arcos pequeños y uno mayor en el vestíbulo de acceso.

Parte derecha del ala: los dos muros que configuran la galería son iguales que los de la parte izquierda, sin embargo, la excepción se encuentra en los muros maestros interiores, ya que su espesor pasa a ser 25 centímetros, siendo el arranque del mismo de sillares de piedra hasta el primer metro y a partir de esa cota se erige un muro de asta de ladrillo.

Los pilares de hormigón armado, tienen la misma directriz y sección que en la planta semisótano.

- Planta primera y segunda

Los muros de carga, como ocurre en el resto del edificio, se reducen hasta ser de un asta y media, 40 centímetros, salvo los dos interiores de la parte derecha que continúan siendo de un asta de ladrillo.

Los pilares de hormigón de la parte izquierda del ala sufren un desfase pronunciado respecto a los inferiores de la planta baja, en concreto de 2,15 metros medidos entre sus ejes. Para solventar la excentricidad y el consecuente momento, se dispone una viga de canto, como se comentará más adelante.

La razón es puramente funcional, ya que los espacios de las respectivas plantas se destinaban a actividades diferentes: el espacio de la planta baja era la capilla, necesitando un vano mayor entre sus apoyos, 6,50 entre los ejes de sus pilares; mientras que la planta primera y segunda tenían un uso residencial con un pasillo central, en cuyos tabiques se

incorporan los pilares, quedando reducida su distancia entre ejes a 2,25. Así mismo su sección pasa a ser cuadrada de 35 por 35 centímetros.

Parte central del ala o "transepto": aquí se mantienen como en la planta baja y semisótano.

- Bajo cubierta

Se considera como bajo cubierta las partes superiores no habitables presentes en las partes izquierda y derecha del ala, mientras que la central se cuenta como planta tercera, como ya se ha dicho.

Los muros de carga de fachada concluyen a esta altura y desde su coronación arranca la cubierta, estando a esta misma cota las piezas prefabricadas que dan lugar a la cornisa, sujetadas por el interior con pequeños redondos embebidos en el muro.

Parte izquierda del ala: en esta parte, los pilares de hormigón procedentes de las plantas subyacentes, se continúan hasta la cubierta. A pesar de ello, la luz en diagonal a salvar por las viguetas de cubierta entre estos pilares y la cornisa es excesiva por lo que se disponen de machones de ladrillo hueco Bilbao de 25 por 25 centímetros, previsiblemente colocados a posteriori.

Parte derecha del ala: aquí al no haber pilares inferiores, los muros de carga se transforman en machones de ladrillo macizo y, de igual forma que en la otra parte, la luz de las viguetas de cubierta se reduce a la mitad con un machón intermedio de ladrillo hueco Bilbao de las mismas dimensiones.

- Planta tercera

A pesar de su menor dimensión, podemos hacer la similitud con la bóveda cañón del salón de actos del ala sureste, por ello, los cuatro muros de carga que sostienen el "transepto" se elevan para generar el arranque de cornisa de la cubrición de esta parte. Los pilares de hormigón y el resto de muros maestros quedan en el forjado de suelo, dando lugar a un espacio diáfano cubierto por una bóveda como se describirá en posteriores líneas.

3.2. Estructura horizontal

La estructura horizontal, independientemente de sus apoyos, está formada igual que el del resto de alas. Esto quedará detallado en apartados el apartado de clasificación y análisis de las bóvedas.

- Planta baja

Las bóvedas de planta baja son apreciables desde el semisótano, incluso puede verse el aparejo empleado en la construcción, puesto que quedó sin guarnecer ni enlucir por su parte inferior.

La estructura horizontal de esta planta está realizada toda ella con dos tipos de bóvedas: de cañón rebajadas y esquinadas. Están apoyadas sobre los muros de carga de piedra y muretes secundarios de ladrillo macizo.

- Plantas primera, segunda y tercera

Como en el resto de alas, toda la estructura está elaborada con bóvedas tabicadas esquinadas, en este caso la diversidad de apoyos de las mismas es notable, como se verá en capítulos posteriores.

- Cubierta

La cubierta del ala noroeste se puede dividir en dos sistemas: bóvedas inclinadas apoyadas sobre viguetas de hormigón y una cobertura sobre una bóveda de cañón parabólica, similar a la del ala sureste.

5.5.2. ENVOLVENTE

1. FACHADA

El sistema de fachada es el propio muro de carga que configura la estructura portante vertical de los apoyos extremos de la estructura horizontal de planta, cubierta y bóvedas singulares de gran luz.

Como se ha comentado en el apartado de estructura, estos muros de fachada varían en su composición y su sección a medida que van ascendiendo desde la cimentación. De esta forma podemos distinguir tres tramos diferentes:

1º Desde la cimentación y hasta el arranque de los dinteles de planta baja, los muros son de sillares de piedra o piedra trabada con mortero de cemento y cal, presentando un espesor de 70 centímetros.

2º A partir de ese momento, el muro pasa a ser de fábrica de ladrillo macizo con pronunciados tendeles de mortero bastardo, manteniendo la anterior sección hasta el forjado de planta primera.

3º De ese punto hasta la coronación el muro pasa a ser de hasta y media del mismo ladrillo macizo anteriormente empleado, es decir de 40 centímetros.

Todo ello ha sido enfoscado exteriormente por mortero bastardo con gran proporción de cal y tierra-arena, siendo escaso el mortero de cemento en la mezcla. Sobre dicho enfoscado se han ido colocando sucesivas manos de pintura plástica de color blanco.

Hacia el interior, el enfoscado es de yeso y presenta pintura al temple de colores oscuros hasta el primer metro de altura y a partir de éste de color más claro.

En intervenciones posteriores se ha colocado una cámara interior de placa de yeso laminado con barrera de vapor en las aulas actualmente en uso, es decir, la cara interior de las fachadas de las alas sureste y noreste. Esta cámara de aire no toca el techo ni el suelo, permitiendo una ligera ventilación entre ella y el muro portante.

2. CARPINTERÍAS

Para la descripción de las carpinterías se pueden tomar las siguientes consideraciones:

- Las carpinterías originales presentan el marco de madera, incluidas las subdivisiones interiores y la parte superior que se adapta a los dinteles semicirculares en su caso. La madera ha sido posteriormente pintada para mejorar su protección. Las bisagras y los mecanismos de cierre y apertura son de hierro fundido.

- Los vidrios son simples y presentan una modulación en función de aquellas subdivisiones del marco de madera. Los junquillos son también de madera.

Previamente, cabe diferenciar los tipos de huecos presentes en el edificio, de abajo a arriba encontramos los siguientes:

Planta sótano: los huecos son rectangulares horizontales y presentan rejas metálicas en su parte exterior.

Planta baja: dentro de esta planta encontramos dos tipos: los que dan hacia el exterior y los que dan al patio interior, los primeros son huecos verticales con el dintel semicircular y los segundos son ventanales que ocupan el paño entre los machones y están rematados por un arco rebajado. Como salvedad en cuanto a materiales, hay que decir que los marcos de éstos están formados por perfiles metálicos, a diferencia del resto de carpinterías originales que son de madera. Todos ellos protegidos por rejas exteriores.

3. CUBIERTA

Inicialmente, la cubierta se proyectó para ser de teja árabe con sus correspondientes cobijas y canales, quedando estas últimas adheridas al soporte con mortero. Sin embargo, y debido a la climatología y otras causas desconocidas, aparecieron goteras en la propia fase de construcción, por lo que se sustituyó toda la cubierta por pizarra.

De esta forma, la cubierta tiene 30º de inclinación. Está realizada con lajas de pizarra de 40 x 40 centímetros y 7 milímetros de espesor, sujetas por ganchos de acero clavados sobre rastreles de madera.

Las limahoyas están confeccionadas con chapa de acero galvanizado, mientras que las limatesas y cumbreras se realizan con láminas de plomo curvadas y solapadas con la ayuda de piezas de acero, con perforaciones a ambos lados para clavar puntas en ellas y hacer solidarias todas las piezas de plomo entre sí.

Una intervención realizada sobre la galería interior del ala noroeste, donde solo hay construcción en planta baja, ha consistido en cubrir la terraza, que hacía las veces de cubierta, mediante chapas de panel sándwich con acabado en color negro, atornilladas sobre una subestructura de perfiles metálicos dispuestos para dicho fin. De esta forma se ha dotado a esta parte de una cubierta inclinada que evita la filtración de agua al interior.

6. CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS BÓVEDAS TABICADAS DEL EDIFICIO

A continuación, se describirán los diferentes tipos de bóvedas presentes en el edificio objeto de estudio.

Previamente, cabe recordar que la construcción de dicho edificio se dilató durante nueve años, en los cuales, fueron cambiando las aportaciones económicas y materiales. Esta cuestión se refleja en la diversidad de soluciones constructivas.

De esta forma, encontramos desde bóvedas apoyadas en arcos de fábrica de ladrillo, hasta bóvedas apoyadas en vigas y pilares de hormigón armado, pasando por apoyos en viguetas de hormigón pretensado, que a su vez se apoyan sobre los muros de carga. A demás de éstas, usadas por doquier, hay presentes dos bóvedas singulares de cañón parabólicas que merecen mención aparte.

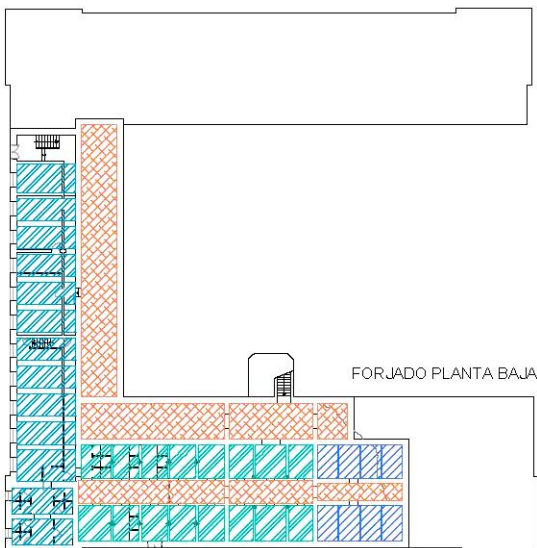
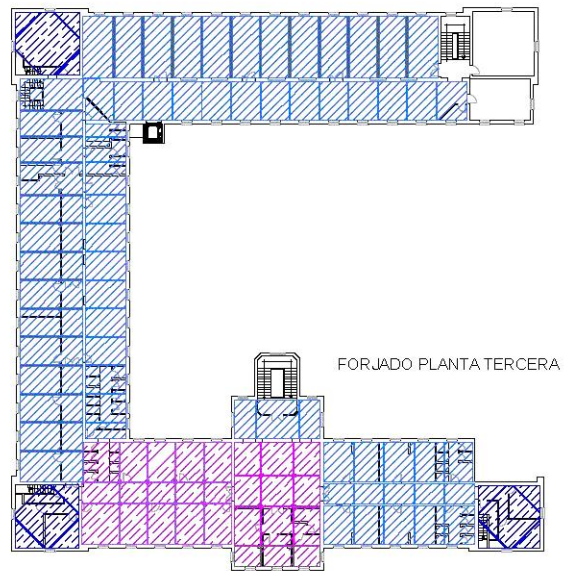
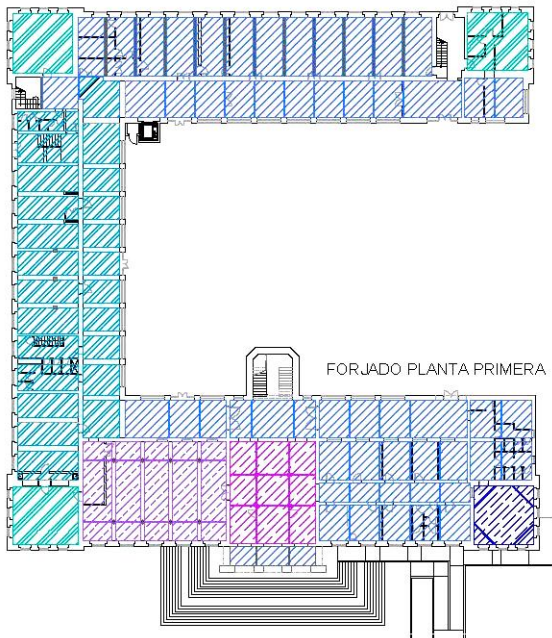
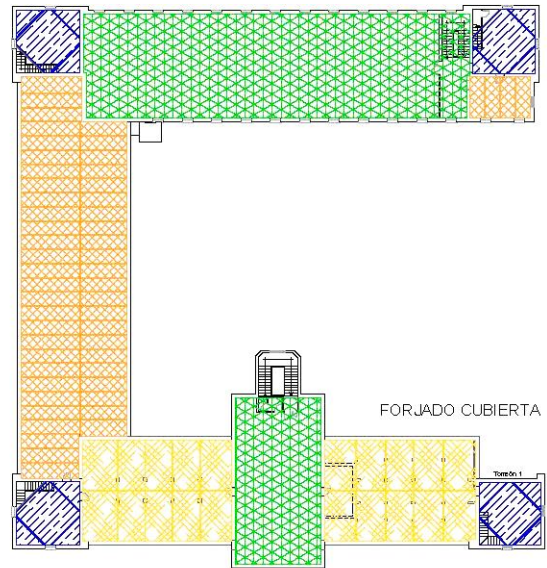
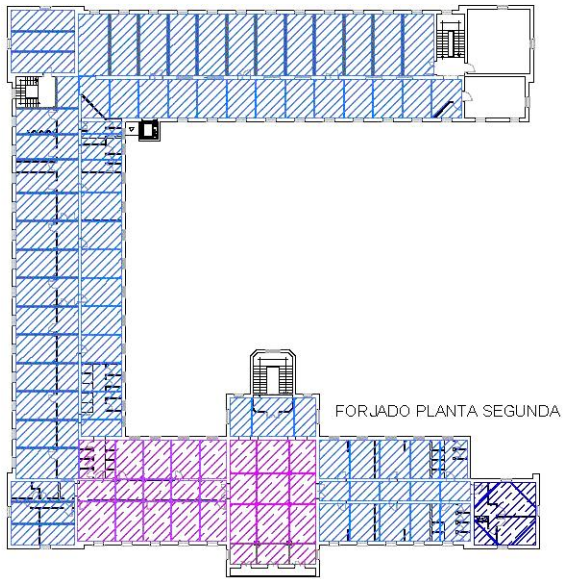
Esta diversidad no se presenta de forma aleatoria en el edificio, sino que muestra un orden dependiendo del ala en que se encuentre cada bóveda, pudiendo de esta forma descifrar una secuencia cronológica que desvela el orden de construcción.

Para tratar de clasificar esta diversidad, se ha decidido agrupar las bóvedas por su tipología, según su forma, y por "subtipologías", según sus condiciones de contorno (tipos de apoyos y elementos auxiliares), dejando de lado la posible clasificación en función de la posición o la función que cumplen (forjado de planta, forjado de cubierta, ...).







Por tanto, en lo que sigue, se describen⁴⁸, previamente mostrando un plano resumen, a modo de diagrama, para ubicar cada una de ellas.

⁴⁸ Todas las dimensiones a continuación descritas son una media, ya que al tomar medidas in situ, se han obtenido diferencias decimales, propias del tipo de construcción, de los medios y del control de obra.




Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



Bóveda esquinada

-  sobre muros
-  sobre arco y muro
-  sobre vigueta y muro
-  sobre cuadral de viguetas
-  sobre vigueta y pilar o machón
-  sobre viga y pilar

Bóveda de cañón rebajada

-  sobre muros
-  sobre vigueta y tornapunta
-  sobre vigueta y pilar o machón

Bóveda de cañón catenaria



Intervención: forjado de vigueta y bovedilla

6.1. BÓVEDA ESQUIFADA

La **geometría** de las bóvedas esquifadas se describe mediante la intersección de dos cilindros. Se diferencia de las de bóvedas de crucería en que, la intersección de las esquifadas, no forman arcos sino superficies planas o aristas débilmente marcadas; y de las de rincón de claustro en que, en lugar de vértice, tiene una línea de clave cuando cubren superficies de planta rectangular.

La **construcción** de éste tipo de bóvedas tabicadas se hacía sin cimbra, como el resto, empleando una plantilla de madera o cordeles, a modo de guía, o confiando en la pericia de los obreros.

Cualquiera que fueran los medios auxiliares, se desconocen en el caso del edificio estudiado, lo que si debe haberse cumplido son las normas de la buena praxis, es decir, garantizando que, durante el sencillado, las líneas de empuje del peso propio describieran un arco hasta los arranques, para no desmoronarse mientras que la pasta de yeso estuviera fresca. Esto solo es posible si se comienzan a levantar las hiladas simultáneamente desde los vértices para posteriormente irse encontrando y cerrando la bóveda en forma de arcos de descarga.

El doblado de algunas bóvedas, como muestran algunas incompletas encontradas en el bajo cubierta del ala noreste, se realizaba de la siguiente forma:

- En primer lugar, se disponían arcos de rasillas colocadas a tabla sobre el sencillado. Tres de éstos arcos se encuentran perpendiculares a la directriz mayor: uno en el centro y dos en los cambios de sentido de la curvatura de la bóveda. Otros dos semiarcos se construyeron sobre cada lado menor, paralelos a la directriz mayor y discurriendo desde el arranque hasta aquellos arcos situados en el cambio de curvatura.
- Seguidamente, se colocaba el doblado sobre el sencillado siguiendo el procedimiento habitual: colocando rasillas a restregón sobre una tongada de mortero, quedando este doblado a cota respecto de los anteriores arcos.

- Finalmente, sobre cubría toda ella con la tongada correspondiente de mortero.



Ilustración 24. Parte superior de una bóveda esquifada con su segunda vuelta incompleta. Fuente: foto del autor.

El **espesor** de éstas bóvedas se puede establecer de la siguiente forma: tienen dos vueltas de rasilla de 4,5 centímetros de espesor cada una, entre ellas, hay una capa de mortero de cemento y cal de 2 centímetros y sobre ellas otra de un centímetro, dando un total de 12.

Sobre éstas bóvedas se disponen lengüetas o tabiques de rasillas colocadas a panderete, recibidas con yeso y perpendiculares a la directriz mayor de la bóveda, separados 40 centímetros entre sus ejes.

Encima de las lengüetas hay colocadas las mismas rasillas que las de la bóveda, esta vez dispuestas de forma horizontal y recibidas con yeso para generar un tablero horizontal de 4,5 centímetros de espesor.

Finalmente, esta tendida otra tongada de mortero de 3 centímetros de espesor sobre la anterior superficie que junto con los 2 centímetros del pavimento dan un total de 5.



Ilustración 25. Espesor del tablero horizontal sobre las lengüetas. Fuente: foto del autor.

El **peralte** de dichas bóvedas es del décimo de la luz menor que cubren, que generalmente son unos 3 metros entre apoyos, por lo tanto, la altura de la línea de clave desde el arranque es de 30 centímetros.⁴⁹

En el caso del Colegio son las más empleadas, puesto que constituyen la mayor parte de los forjados de planta, por lo que presentan una gran riqueza de soluciones en cuanto a apoyos.

De menor a mayor grado de complejidad y de empleo de hormigón y, por tanto, de recursos económicos, nos encontramos con:

⁴⁹ A excepción de las bóvedas mayores de las torres que, como se comentará, tienen 50 cm de peralte.

6.1.1. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE MUROS



Ilustración 26. Bóveda esquifada sobre muros de planta sótano. Fuente: foto del autor

Localización: se encuentran en el forjado de planta baja, el techo de sótano del ala noroeste.

Descripción: éstas bóvedas se apoyan en todo su perímetro en muros de carga, bien de un hasta de ladrillo macizo, o bien de fábrica de piedra de 70 centímetros de espesor con juntas pronunciadas de mortero bastardo. Éstos últimos son los que reciben los muros de carga superiores, mientras que los de hasta no, sirven para acodalarlos.

Dimensiones: en planta forman rectángulos de 2,75 por 3,80 metros. La cota del arranque es de 2 metros sobre el suelo (es tierra, no hay solera ni pavimento) y la clave de 2,30 metros.

6.1.2. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE ARCOS DE LADRILLO Y MUROS



Ilustración 27. Bóveda esquifada sobre arcos de planta baja. Fuente: foto del autor.

Localización: se encuentran en el forjado de planta primera, el techo de la galería y de las clases de planta baja del ala noreste.

Descripción: en este caso hay dos tipos de arcos y un muro:

- Arcos de medio punto: en las fachadas, unos confeccionan la arcada de la galería que da al patio y otros forman los huecos de las ventanas de las clases.
- Muro de carga: tiene un espesor de dos hastas y media, es de piedra hasta la cota del arranque de los arcos y desde ese punto es de ladrillo macizo. Divide el ala en dos crujiás.
- Arcos elípticos: estos arcos están tendidos entre los dos apoyos anteriores, es decir, entre las fachadas y el muro de carga intermedio. Se encargan de segmentar el ala en luces menores donde apoyar las bóvedas. Su arranque se practica en una pequeña ménsula en vuelo que luego queda disimulada al tabicar su parte inferior, formando una falsa mocheta y dando la sensación de que el arco arranque desde el suelo.

Dimensiones: en planta forman rectángulos de 2,40 por 3,90 metros en la crujiá menor y de 2,40 por 6,40 en la mayor.

6.1.3. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA Y MURO



Ilustración 28. Bóveda esquifada sobre viguetas de planta sótano. Fuente: foto del autor.

Localización: es el tipo de bóveda y apoyo más empleado, está presente en el forjado de techo de planta sótano en zonas puntuales, pero, sobre todo, en los forjados de plantas superiores, como se aprecia en los esquemas.

Descripción: estas bóvedas descansan en dos viguetas prefabricadas de hormigón pretensado que, a su vez, se apoyan sobre dos muros de carga. Dependiendo de la luz que cubran las viguetas pueden ser simples, dobles o incluso triples, es decir, dos o tres viguetas unidas mediante un cordón de acero.

6.1.3.1. Vigueta simple

Dimensiones: como se ha comentado, se colocan viguetas simples para cubrir las luces de las crujías menores de las alas, de esta forma, las bóvedas describen en planta rectángulos que varían dependiendo del ala:

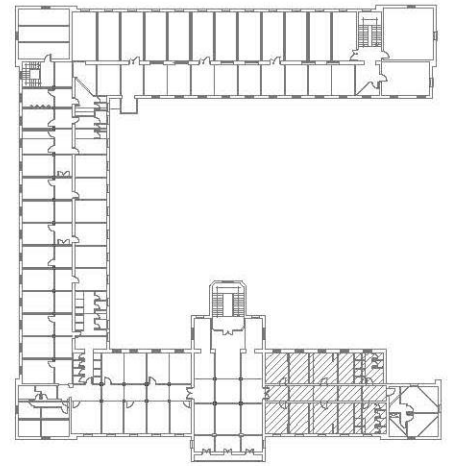
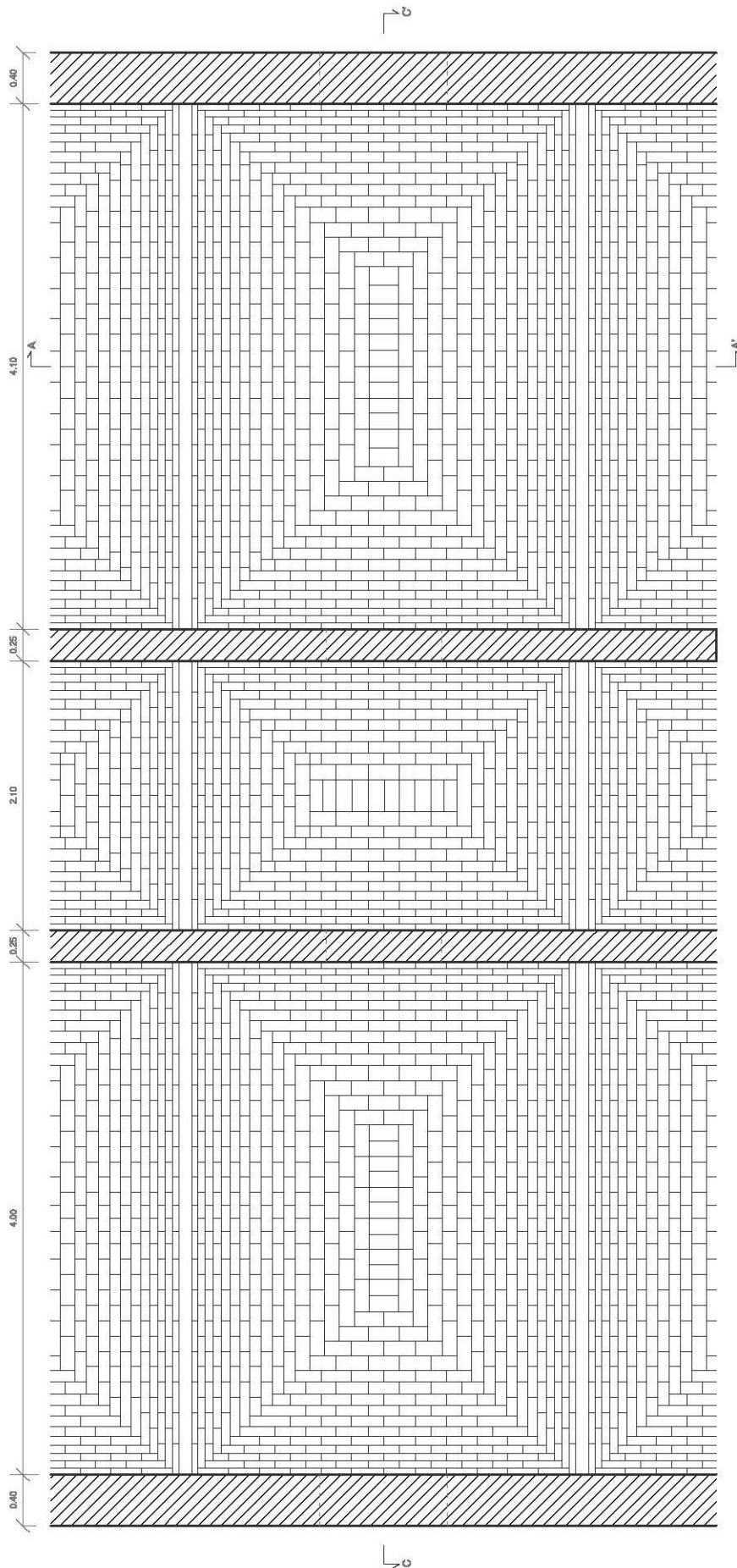
- En el ala sureste, las viguetas cubren una luz de 4 metros y están separadas cada 3,10 metros entre sus ejes.
- En la noreste, configuran un rectángulo de 4,25 por 3 metros, siendo ésta última la separación entre viguetas.
- En el ala noroeste, cubre todo el ancho debido al acortamiento de luces por la duplicidad del apoyo intermedio (dos muros de carga), siendo los tramos de 4,10 el extremo que da al patio, 2,10 el intermedio y 4 el que da a la fachada principal, separadas entre sí 3,20 entre sus ejes.

6.1.3.2. Vigueta doble o triple

Dimensiones: como es de esperar, esta configuración de viguetas cubre luces mayores, por tanto:

- En el ala sureste, están presentes tres viguetas unidas que cubren una luz de 6,50 metros, siendo la separación entre ejes la misma que las viguetas simples, 3,10 metros.
- En el ala restante, la noreste, son dobles y cubren una luz de 6,60 metros, sin embargo, presentan un machón intermedio que divide la luz en 4,20 y 2,40 metros, su separación es de 3 metros entre sus ejes.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



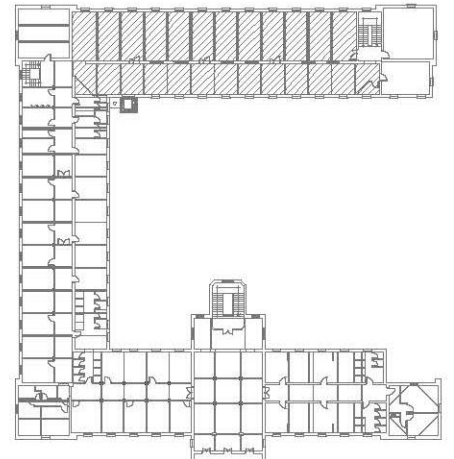
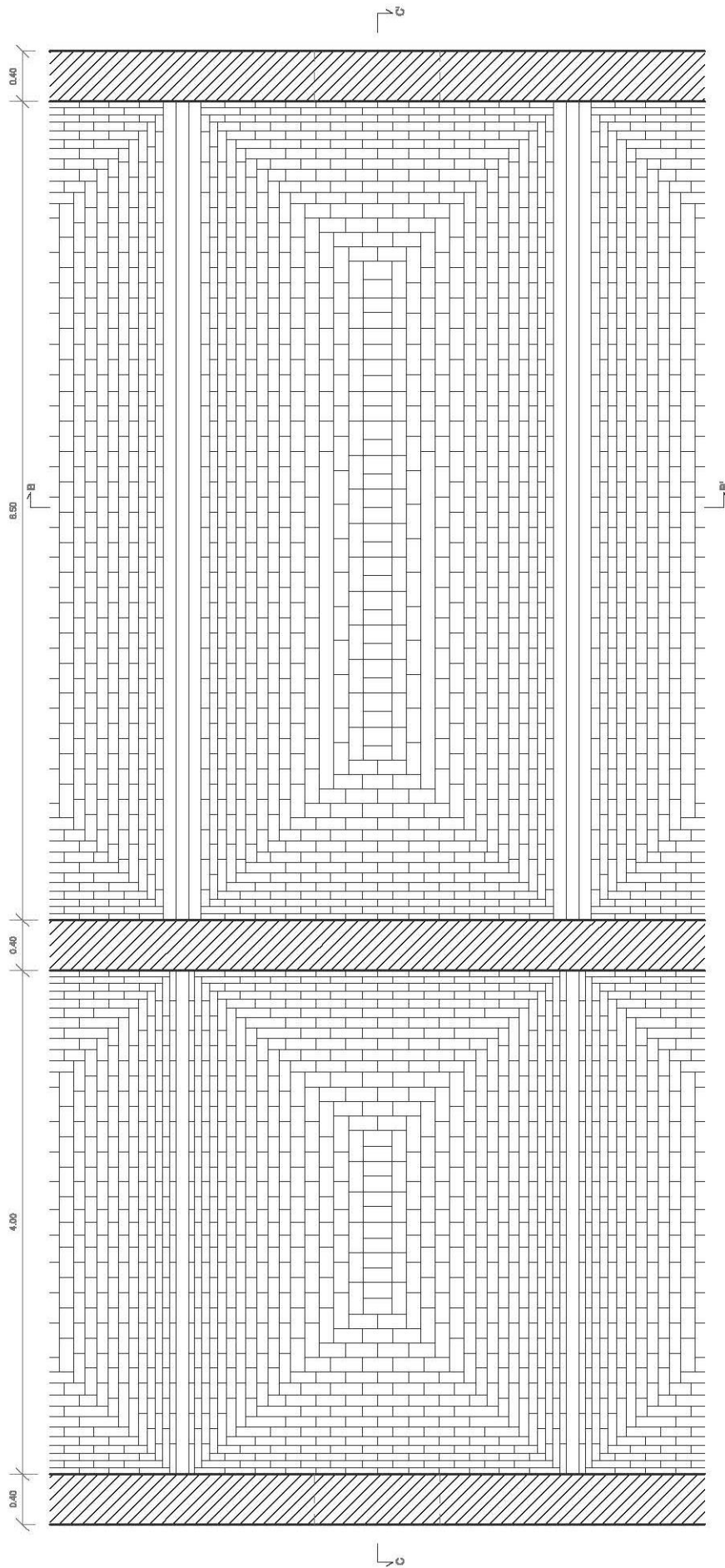
PLANTAS BAJA PRIMERA Y SEGUNDA

BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA SIMPLE Y MURO - PLANTA

ESCALA GRAFICA :



Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



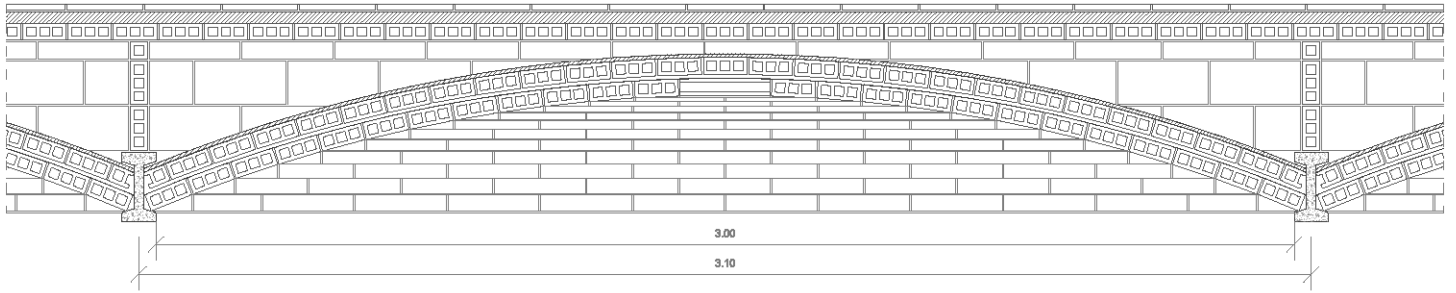
PLANTAS BAJA PRIMERA Y SEGUNDA

BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA TRIPLE Y MURO - PLANTA

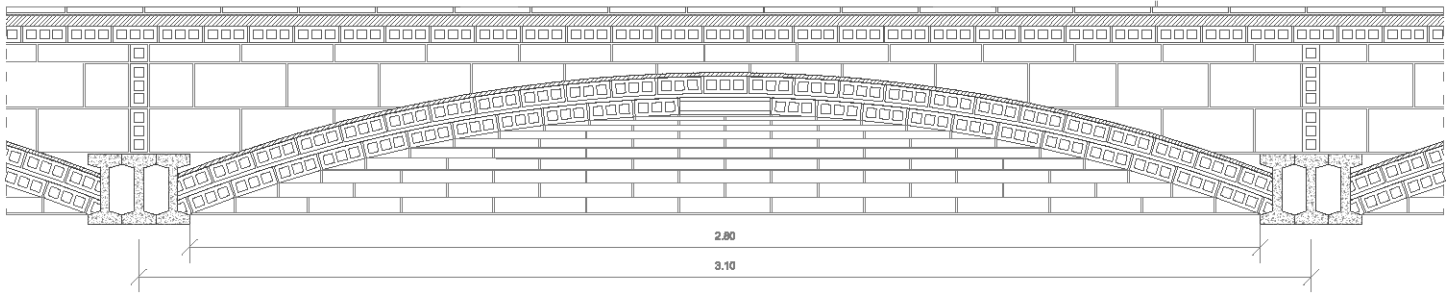
ESCALA GRAFICA :



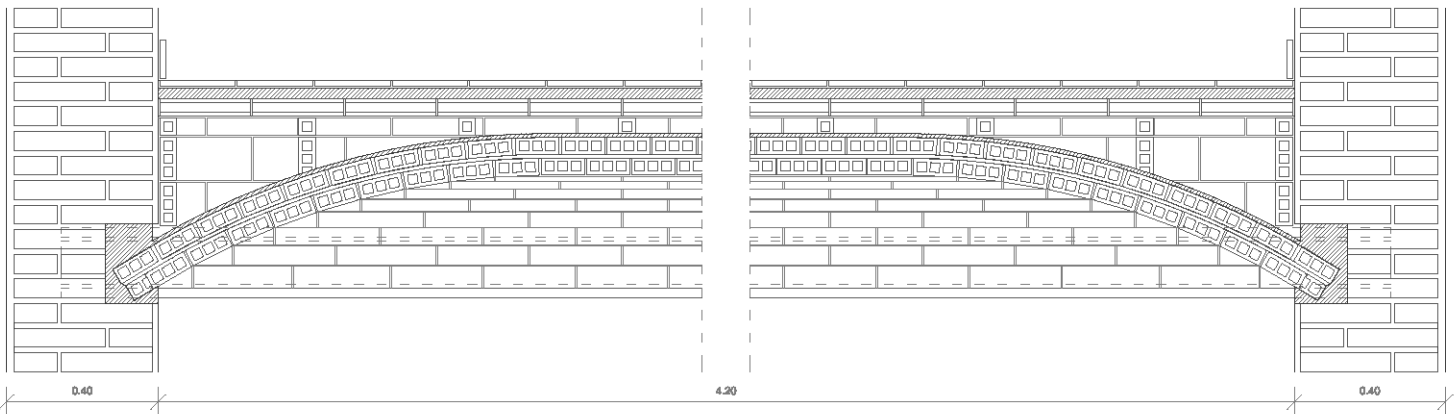
Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA SIMPLE Y MURO - SECCIÓN A - A'



BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA TRIPLE Y MURO - SECCIÓN B - B'



BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA Y MURO - SECCIÓN C - C'

ESCALA GRAFICA :



6.1.4. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE CUADRAL DE VIGUETAS



Ilustración 29. Bóveda sobre cuadrado de viguetas de planta segunda en la torre oeste. Fuente: foto del autor.

Localización: estas bóvedas singulares constituyen algunos de los forjados de planta de las torres.

Descripción: como las dimensiones en planta de las torres son excesivas, es arriesgado⁵⁰ cubrirlas con una única bóveda de peralte modesto, de esta forma, se optó por un hábil mecanismo para reducir la luz de los apoyos: colocar cuatro viguetas de hormigón pretensadas formando un cuadrado girado 45 grados respecto de la planta de la torre, sobre el que se apoya la bóveda mayor. Al emplear este sistema, quedan huecos triangulares entre los vértices del cuadrado mayor y las viguetas que son cubiertos con singulares bóvedas triangulares. Éste mecanismo ya fue propuesto por Rafael Guastavino en su *Essay* de 1983, como se ve en la imagen.

⁵⁰ Éste riesgo si ha sido corrido en las bóvedas de las torres Norte y Este en planta baja.

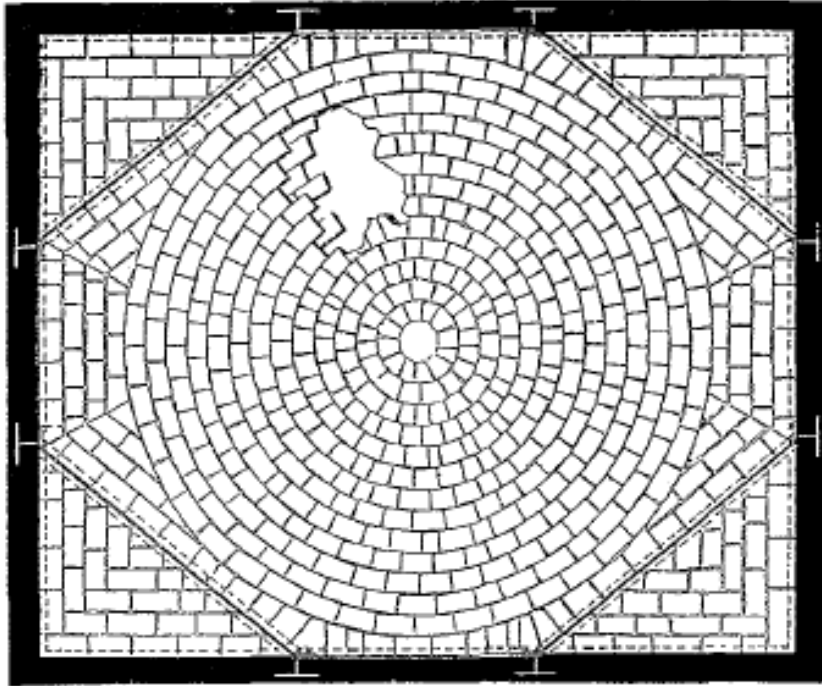
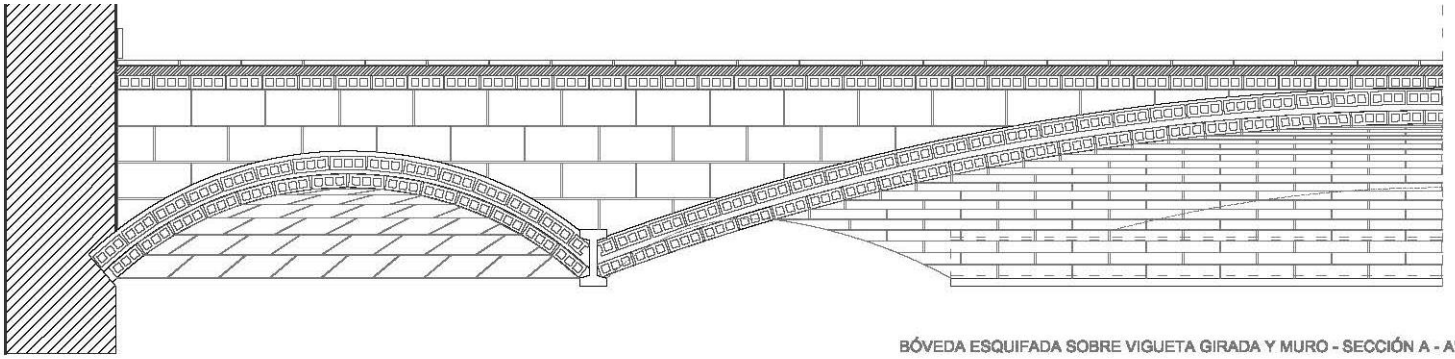


Ilustración 30. Bóveda rebajada de piso con zuncho metálico girado. (Guastavino, 1893, pág. 126)

Dimensiones: en planta, las torres son cuadradas y sus lados interiores son de 6,20 en planta baja y 6,50 en las superiores⁵¹. El cuadrado configurado por las cuatro viguetas giradas tiene 5,50 metros de lado, es decir, la luz que cubre la bóveda central. Los triángulos "residuales" son de 2,55 x 3,60 x 2,55 metros. El peralte de la bóveda central es de 50 centímetros respecto de su arranque, como es diferente al resto, de 30, en el acceso a las torres se aprecia un pequeño resalto en forma de rampa.

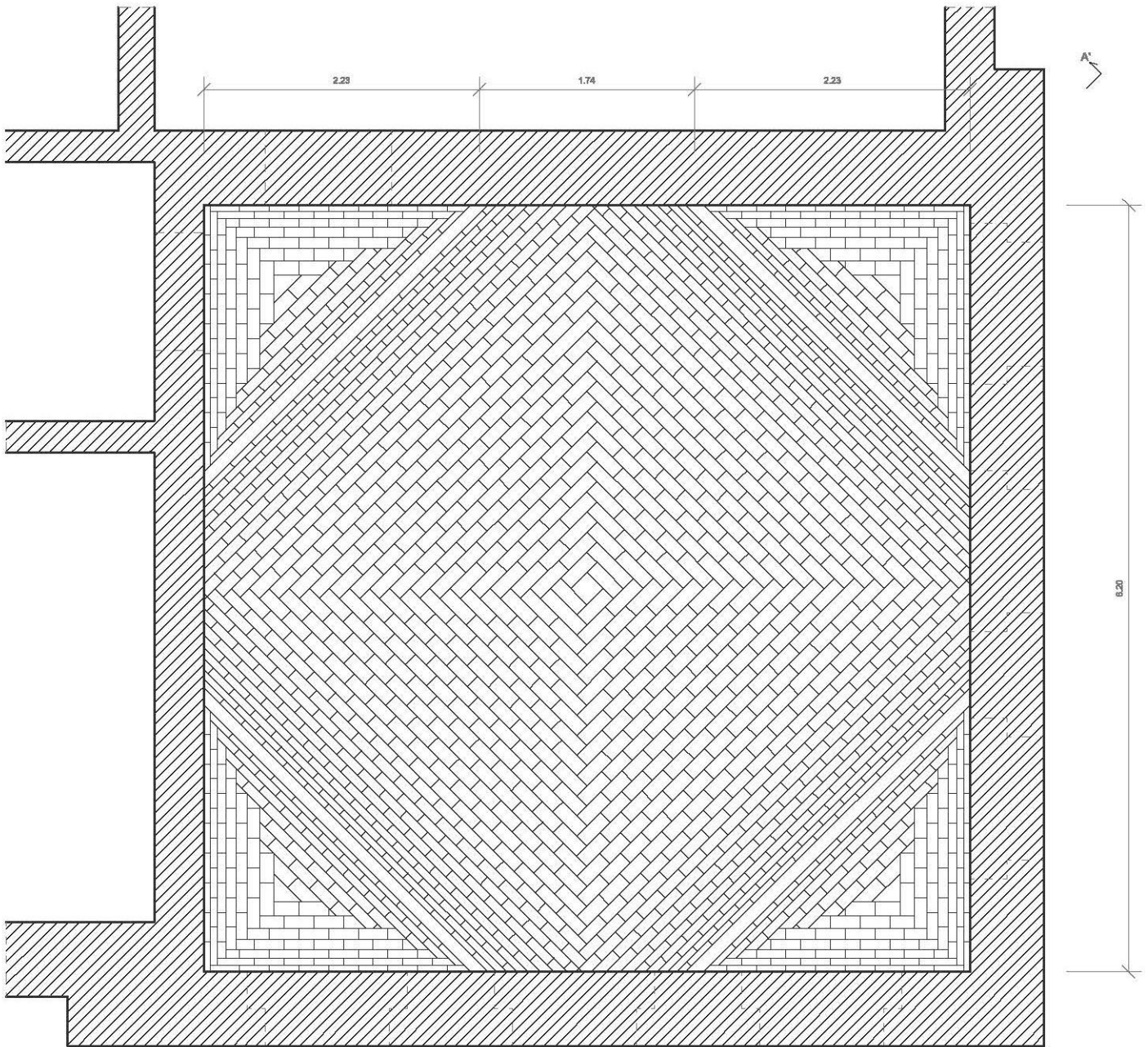
⁵¹ Debido a la disminución del espesor del muro de carga al pasar de planta baja.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



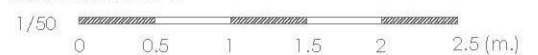
BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA GIRADA Y MURO - SECCIÓN A - A'

ESCALA GRAFICA :



BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA GIRADA Y MURO - PLANTA

ESCALA GRAFICA :



6.1.5. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGUETA Y PILAR O MACHÓN



Ilustración 31. Bóvedas esquifadas sobre vigueta y pilar en el rellano de planta primera. Fuente: foto del autor.

Localización: este tipo de apoyos están presentes en el ala noroeste: en la parte central del ala, a partir del techo de planta baja y en la parte situada más al norte, a partir del techo de planta primera.

Descripción: las bóvedas esquifadas se apoyan en cuatro viguetas prefabricadas de hormigón que a su vez se empotran en pilares de hormigón armado formando una retícula. Como es de esperar, en los extremos, se apoyan en los muros de carga interiores o de fachada. Las viguetas son todas simples ya que las luces cubiertas son moderadas.

Dimensiones: como se ha comentado, hay dos partes a diferenciar: En la parte central del ala o crucero, las luces pueden ser descritas simulando una retícula. Paralelamente a las fachadas, la primera crujía que da a la fachada principal, la luz es de 4 metros, la intermedia de 3,20 y la otra intermedia de 3,45 metros. La separación transversal, entre los muros de carga intermedios y las viguetas es de 2,70 metros y entre viguetas en el tramo intermedio es de 3,40 metros.

En la parte norte del ala se forman tres crujías. La extrema que da a la fachada principal cubre una luz de 4,20 metros, la intermedia de 2,15 y la otra extrema de 4,10 metros.

6.1.6. BÓVEDA ESQUIFADA SOBRE VIGA Y PILAR



Ilustración 32. Bóveda esquifada sobre viga y pilar en planta baja. Fuente: foto del autor.

Localización: éste tipo de apoyos únicamente se encuentran en planta primera, en el techo de planta baja situado en el ala noroeste, a la izquierda del acceso. Esta estructura es singular porque formaba parte de la antigua capilla.

Descripción: éstas bóvedas se apoyan sobre vigas de hormigón armado de canto que, a su vez, se apoyan en pilares apantallados de hormigón armado. Entre pilares, en el sentido menor, se disponen viguetas de hormigón prefabricadas. En el perímetro, tanto vigas de canto como viguetas, se apoyan en los muros de carga. Todo ello da como resultado tres crujías: una nave central y dos laterales, las típicas de las iglesias o capillas.

Dimensiones: las vigas de canto cubren las tres naves en el sentido perpendicular a las fachadas. La luz de las naves menores es de 1,95 metros, mientras que la luz central es de 6,40. La separación entre ejes de las vigas es de 3 metros, dimensión cubierta por las viguetas situadas entre pilares, en el sentido perpendicular a las vigas.

6.2. BÓVEDA CIRCULAR REBAJADA

La **geometría** de las bóvedas circulares o de cañón rebajadas es muy simple, únicamente es parte de la forma de un cilindro. La sección es constante a lo largo de su directriz y describe un arco cuya curvatura no llega a ser tan pronunciada como la de un semicírculo.

La **construcción** al igual que en el caso de las bóvedas esquifadas, se desconocen los medios auxiliares empleados en la construcción de las circulares rebajadas.

Lo que si es cierto, es que la lógica constructiva permite determinar que se construyeron siguiendo una sucesión de arcos, primero realizando el sencillado y de forma casi simultánea la segunda vuelta, garantizando que el peso propio siguiera un arco de descarga hasta los apoyos, de forma similar a lo ocurrido con las esquifadas.

Como las bóvedas están dispuestas de forma sucesiva y sus empujes se contrarrestan entre sí, es previsible que, en el proceso de construcción, se colocaran medios de arriostamiento para que las viguetas no se movieran horizontalmente con los empujes de las bóvedas. La otra opción sería que dichas viguetas estuvieran empotradas en los apoyos antes de comenzar a colocar el sencillado.

El **espesor** de éstas bóvedas se puede establecer de igual forma a las esquifadas: tienen dos vueltas de rasilla de 4,5 centímetros de espesor cada una. Entre ellas, hay una capa de mortero bastardo de 2 centímetros y sobre ellas otra de un centímetro, dando un total de 12.

Sobre éstas bóvedas se disponen lengüetas o tabiques de rasillas colocadas a panderete, recibidas con yeso y perpendiculares a la directriz longitudinal de la bóveda, separados 40 centímetros entre sus ejes.

Encima de las lengüetas hay colocadas las mismas rasillas que las de la bóveda, esta vez dispuestas de forma horizontal y recibidas con yeso para generar un tablero horizontal de 4,5 centímetros de espesor.

Finalmente, esta tendida otra tongada de mortero de 3 centímetros de espesor sobre la anterior superficie que junto con los 2 centímetros

del pavimento dan un total de 5. En el caso de las bóvedas de cubierta, en lugar del pavimento se colocan los rastreles de madera propios para recibir la pizarra de cubrición.

El **peralte** de dichas bóvedas es del décimo de la luz menor que cubren, que generalmente son de 1,5 p de 3 metros entre apoyos, por lo tanto, la altura de la línea de clave desde el arranque es de 15 o 30 centímetros.

Como se comentará, este tipo de bóvedas se encuentran, sobre todo, en la estructura de cubierta, aunque también en la de planta baja.

6.2.1. BÓVEDA CIRCULAR SOBRE MURO



Ilustración 33. Bóveda circular rebajada en planta sótano. Fuente: foto del autor.

Localización: éstas bóvedas se encuentran en la planta baja, bajo el suelo de las galerías del ala noreste y noroeste y en un tramo central de éste último ala, a la misma cota.

Descripción: los apoyos son muros de carga, bien de fábrica de ladrillo, bien de fábrica de piedra de granito con pronunciadas juntas de mortero bastardo.

En el primer caso, la bóveda arranca desde la última hilada de ladrillo o desde una roza practicada en el muro. Sin embargo, cuando se trata del muro de piedra, se requiere homogeneizar el arranque, ya que la trabazón entre las piedras carece de uniformidad. Para ello, se dispone una maestra de rasillas recibidas con yeso sobre las piedras, de esta

forma se logra que la bóveda arranque desde la misma cota en todos sus lados, evitando la presencia de posibles asientos diferenciales.

Dimensiones: al haber tres bóvedas de éstas características, sus dimensiones se describirán por separado, atendiendo a su posición en el edificio:

- Ala noreste, galería de planta baja: su longitud en el sentido de su directriz es de 28,70 metros, cubre una luz de 3,75 metros y su peralte es de 30 centímetros, ligeramente inferior al décimo de la luz.
- Ala noroeste, galería de planta baja: longitudinalmente mide 28,15 metros, sin contar con la interrupción de los muros de carga perpendiculares procedentes del transepto; su luz es de 3,80 metros y su flecha igual que la anterior descrita.
- Ala noroeste, planta baja: su longitud es de 34,25 metros en el sentido de su directriz, la luz es menor que las anteriores, 2,35 metros, sin embargo, su peralte es el mismo, para que el suelo este nivelado.

6.2.2. BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y PILAR O MACHÓN

1. BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA, MACHÓN Y TORNAPUNTA⁵²



Ilustración 34. Bóveda circular rebajada sobre viguetas y tornapuntas. Fuente: foto del autor.

Localización: éstas bóvedas se encuentran en la cubierta del ala noreste.

Descripción: las bóvedas se apoyan sobre viguetas simples que arrancan en los muros de carga de la fachada y descansan sobre machones de ladrillo, procedentes del muro de carga inferior. La cota de acometida de las viguetas sobre éstos machones es diferente, quedando un desfase de un metro entre una y otra. Éste desfase permitía la entrada de luz en el bajocubierta mediante aperturas practicadas entre machones, sin embargo, la insuficiente pendiente de la cubierta daba lugar a filtraciones, cuestión que obligó a aumentar la pendiente con cabios y tablas ripias hasta alcanzar la cumbre establecida por las viguetas de la otra crujía.

Como la luz desde el apoyo en la fachada hasta los machones es excesiva, se colocaron tornapuntas de madera aserrada bajo las viguetas, unidas mediante un cordón de acero.

⁵² Colocada a posteriori

Además, para evitar el deslizamiento del conjunto, se dispusieron tensores de acero trenzados in situ desde los machones hasta las viguetas.

Dimensiones: considerando los apoyos mencionados, que derivan de las crujeías inferiores, y la inclinación de la cubierta, las viguetas tienen dos dimensiones: la mayor, de 7,20 y la menor de 5,60 metros, quedando éstas reducidas a la mitad por la disposición de las tornapuntas. La distancia entre viguetas, es decir, la luz salvada por las bóvedas es de 1,50 metros.

2. BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y PILAR Y/O MACHÓN



Ilustración 35. Bóveda circular rebajada sobre viguetas, pilares y machones. Fuente: foto del autor.

Localización: ésta tipología forma parte de la cubierta del ala noroeste, sin contar el crucero, donde se encuentra la bóveda de cañón.

Descripción: las bóvedas se apoyan sobre viguetas simples que, de forma similar a las anteriores, arrancan sobre los muros de carga de fachada. Sin embargo, ésta vez se encuentran a la misma cota en la cumbrera, en el centro de la planta, uniéndose rudimentariamente cabeza con cabeza mediante un cordón de acero.

Los apoyos intermedios de éstas viguetas no se encuentran bajo la cumbrera. Esto es así debido a las tres crujías inferiores de éste ala que, cuando ascienden al bajo cubierta, se convierten en machones de ladrillo (en el caso de ser muro de carga) o continúan su directriz (en el caso de ser pilares de hormigón).

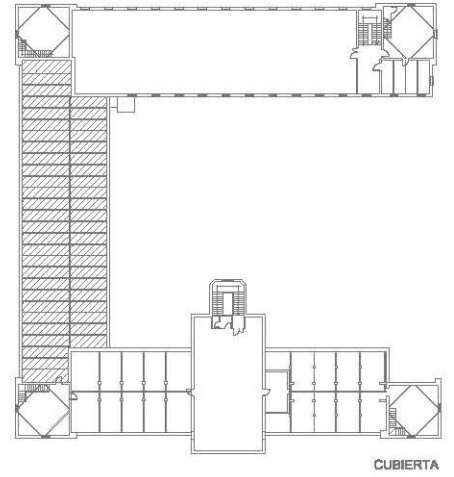
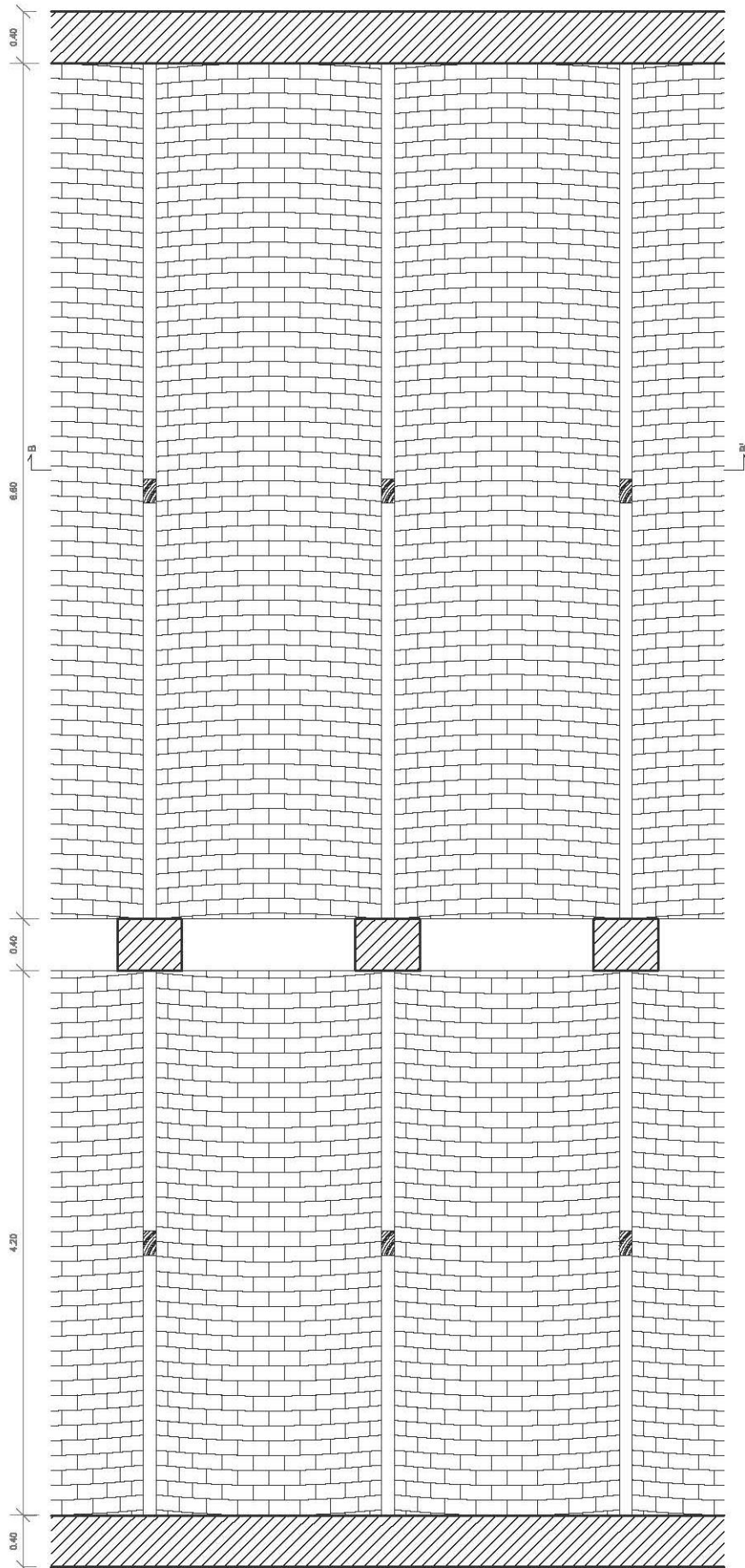
Para reducir la luz entre los apoyos de la fachada y los intermedios, se dispusieron machones de ladrillo hueco Bilbao apoyados sobre las viguetas inferiores, siendo ésta una solución peor que la de tornapuntas del ala noreste.



Ilustración 36. Bóveda circular rebajada sobre vigueta y machones. Fuente: foto del autor.

De igual forma que las anteriormente descritas, para evitar el posible deslizamiento del conjunto, se atan las viguetas a la altura de sus apoyos intermedios mediante cordones de acero trenzados in situ. Sin embargo, su deformación indica su falta de trabajo a tracción, por lo que los apoyos suplen el empuje horizontal de las viguetas.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

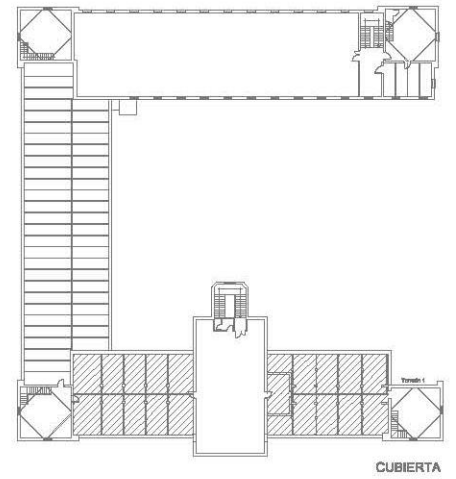
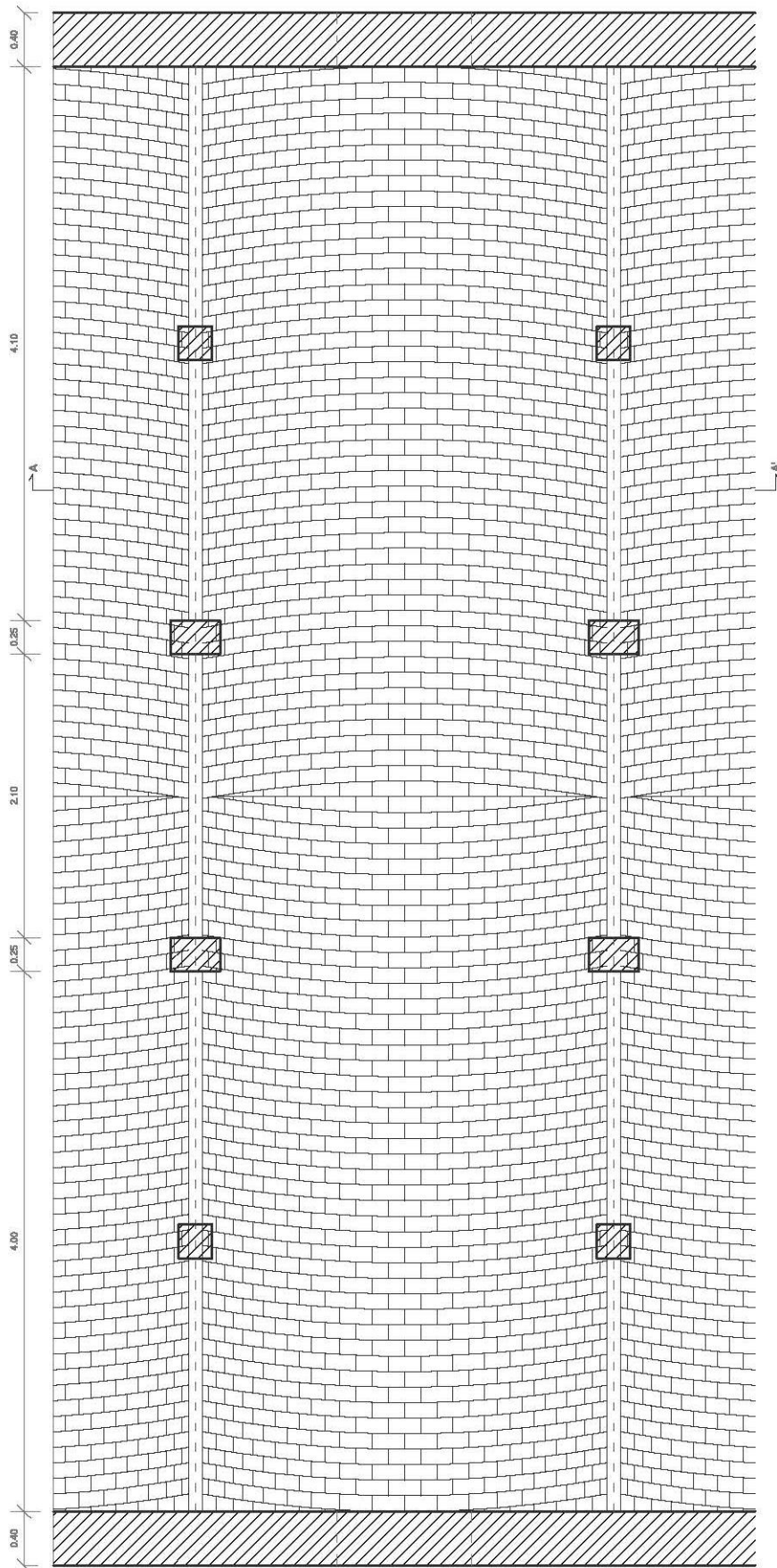


BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y TORNAPUNTA - PLANTA

ESCALA GRAFICA :

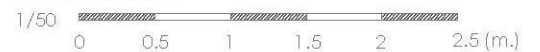


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

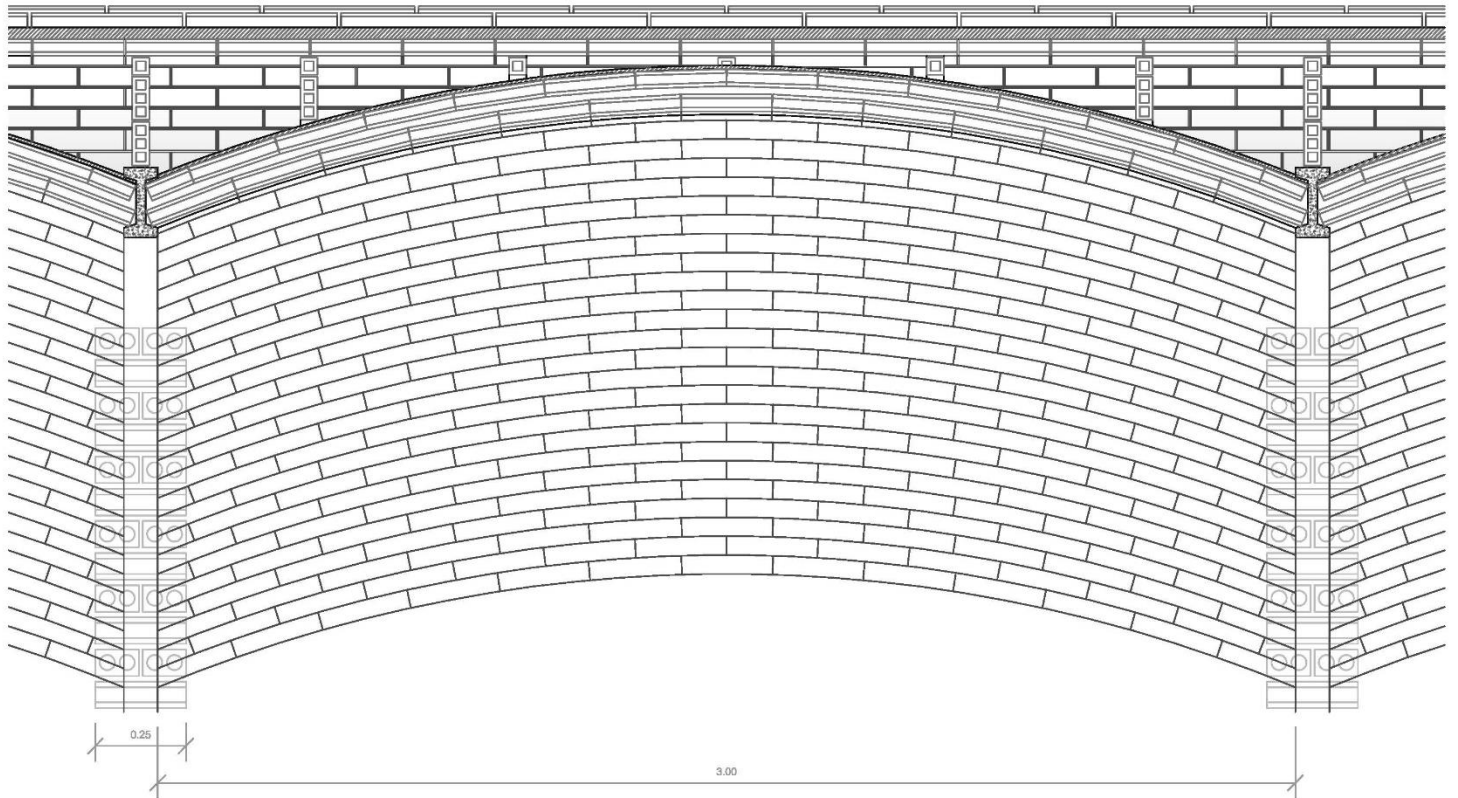


BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGÜETA SIMPLE Y PILAR - PLANTA

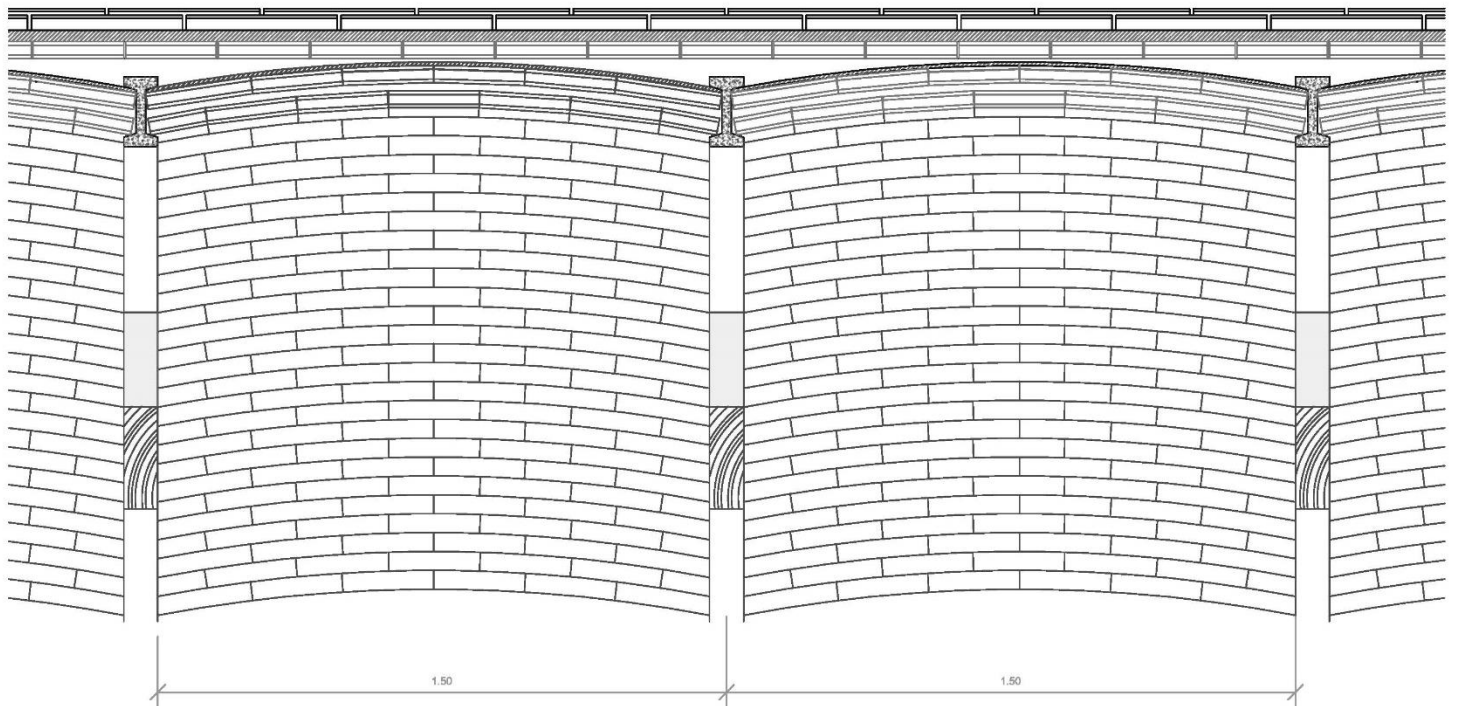
ESCALA GRÁFICA :



Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y PILAR - SECCIÓN A - A'



BÓVEDA CIRCULAR SOBRE VIGUETA Y TORNAPUNTA - SECCIÓN B - B'

ESCALA GRAFICA :



6.3. BÓVEDA DE CAÑÓN PARABÓLICA

La **geometría** de éstas bóvedas es una parabólica, de ésta forma, se garantiza que toda ella trabaje a compresión, evitando que la línea de presiones salga de su espesor. Si esto ocurriera, parte de ella estaría traccionada y podría fisurarse. Algunos autores como Gaudí o Rafael Guastavino ya la utilizaron por su eficacia.

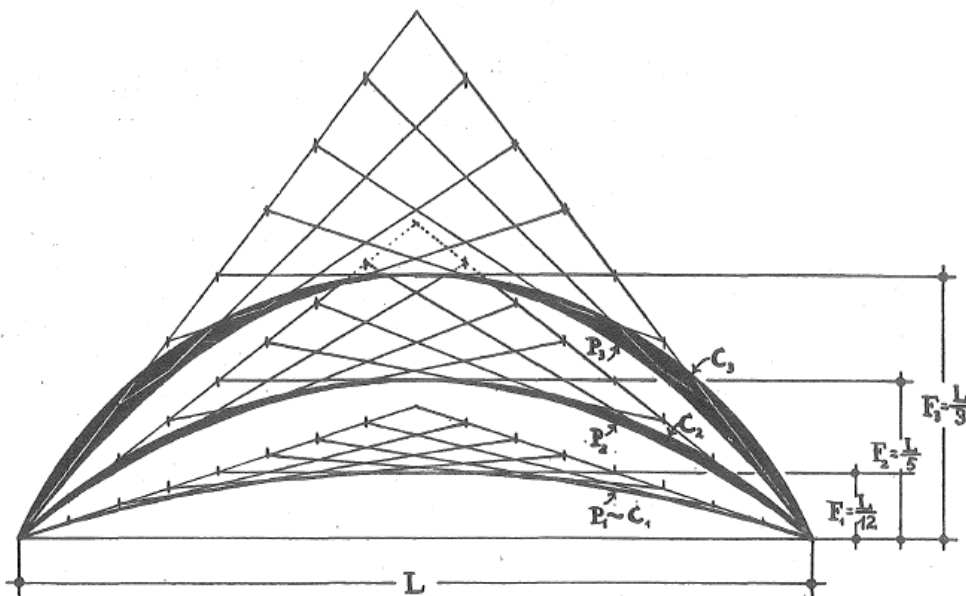


FIG 15.—Ejemplos de sustitución de curvas: La figura representa tres perfiles parabólicos P1, P2 y P3, de flechas $F_1 = \frac{1}{12}$, $F_2 = \frac{1}{5}$ y $F_3 = \frac{1}{3}$, y los arcos de círculos de iguales flechas C1, C2 y C3. Se observa que para $F_1 = \frac{1}{12}$ se confunden en la práctica el arco de círculo y el de parábola. Con $F_2 = \frac{1}{5}$, las diferencias son pequeñas para luces normales, y con $F_3 = \frac{1}{3}$ las diferencias son excesivas, incluso en luces pequeñas, por lo que no puede hacerse la sustitución.

Ilustración 37. Geometría de varias bóvedas parabólicas. (Blanco, 1947, pág. 23)

La **construcción** es similar a las bóvedas circulares rebajadas, no obstante, su altura requiere del uso de medios auxiliares como andamiajes más complejos y sistemas de elevación del material, como poleas manuales de madera⁵³, entre otros.

Se desconoce el empleo de algún tipo de plantilla, guía o camón, sin embargo, es de esperar que, para garantizar la curvatura de la bóveda a lo largo de su directriz mayor, se empleara algún medio auxiliar,

⁵³ Dato aportado por un peón de albañil presente en la obra.

puesto que las dimensiones de la bóveda no son tan discretas como las anteriormente descritas (si asumibles por la pericia de los obreros).

Cualquiera que fuere el sistema, el proceso es el habitual en bóvedas tabicadas: en primer lugar, se realiza el sencillado mediante piezas de rasilla con pasta de yeso, siguiendo arcos sucesivos; en segundo lugar, se realizan las dos sucesivas vueltas casi simultáneamente y colocando las piezas a matajunta, para, finalmente, colocar la tongada de mortero superior, sobre la que se apoya el sistema de cubierta (lengüeta, tablero, capa de compresión, rastreles y lajas de pizarra).

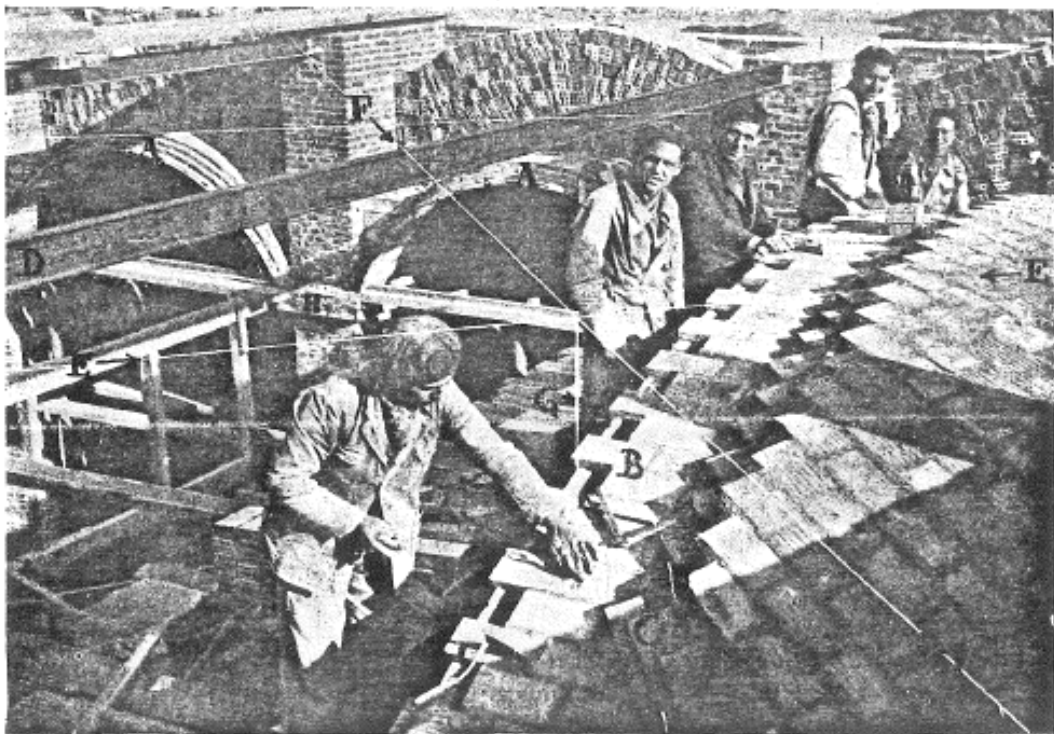


FIG. 10.—Museo de América: Bóveda de piso con lunetos, para grandes cargas (ved fig. 11):
A: Arcos de los lunetos.
B: 1.^a vuelta de rasilla con yeso, aparejada con una traba de difícil ejecución (ved fig. 12), que se ha sustituido después por otra más sencilla.
C: Tres hojas de rasilla con cemento, hechas a continuación de la 1.^a, con un retraso de 0,60 metros como máximo.
D: Tirantes de hierro que han de quedar encerrados encima de la bóveda. Están cada 4 metros.
EE y FF: Cuerdas que señalan la posición de los vértices de los lunetos, junto con la plomada G, señalada a una longitud fija para indicar el nivel. También indican la dirección del aparejo, como se ve por la última hoja de rasilla.
H: Hiladas en voladizo para apoyo de la bóveda.
H: Cercha corredera.

Ilustración 38. Proceso de construcción de bóveda cañón. (Blanco, 1947, pág. 16)

En el caso del edificio estudiado, éstas bóvedas tienen lunetos. La forma habitual de construir estas singularidades es la siguiente:

- En primer lugar, se realiza el sencillado sin atender a los lunetos, es decir, cubriendo por completo el vano, siguiendo una bóveda de cañón sin interrupciones.
- En segundo lugar y, sobre el sencillado, se describe la forma deseada del luneto mediante la colocación de piezas a modo de bordillo, que quedará a la misma cota que las sucesivas vueltas de la bóveda.
- En tercer lugar, y tras el fraguado del conjunto, se rompe la capa de sencillado situado dentro de la forma descrita, preferiblemente de adentro hacia afuera para evitar desprender las piezas cogidas con yeso.
- Finalmente, se remata y sanea el borde interior de la bóveda, por ejemplo, mediante un guarnecido y enlucido, para ocultar las piezas rotas del borde.
- Si la bóveda tiene cubrición, como es el caso, las lengüetas se disponen respetando las aperturas, generando una especie de tronera al interior.

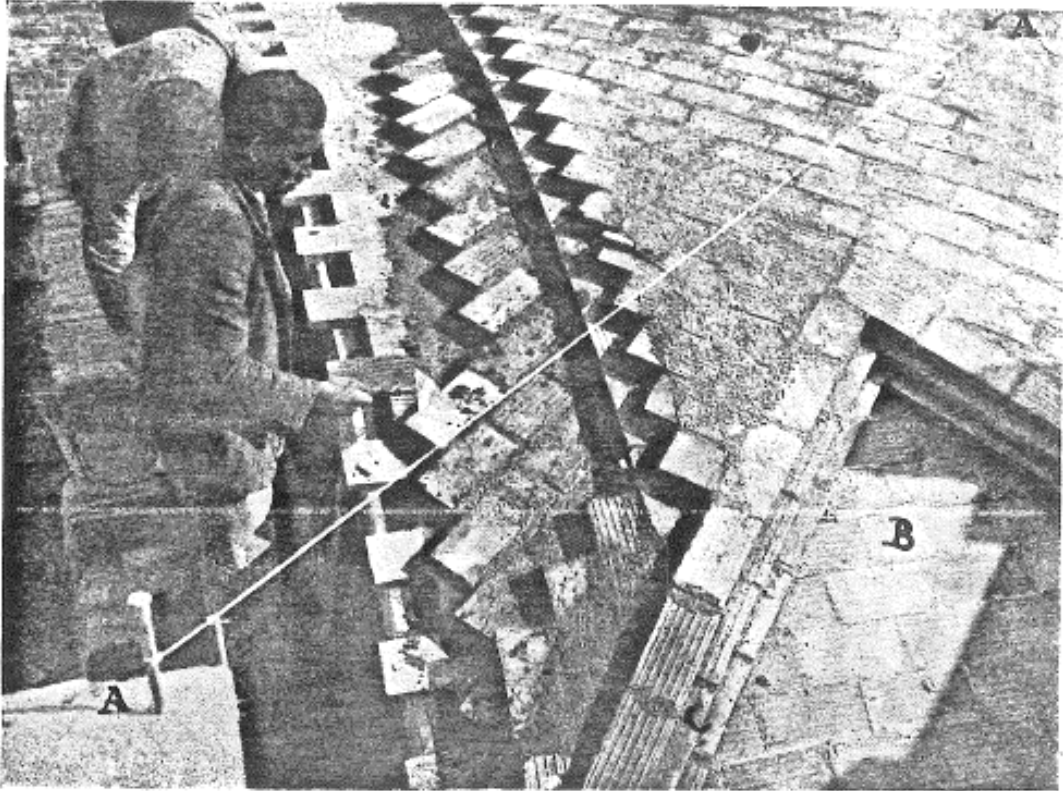


FIG. 11.—Museo de América: La misma bóveda de la figura 10 con un luneto preparado en el cilindro principal:
AA: Cuerda que señala la dirección del aparejo y la posición de luneto.
B: Luneto. Para construirlo se ha hecho continua la 1.^a hoja de rasilla, pero se han dejado otras tres hojas ya preparadas para recibir la bóveda del luneto. Después se rompe el trozo sobrante de la 1.^a hoja.
C: Estribo escalonado para apoyar la bóveda del luneto.

Ilustración 39. Proceso de construcción de luneto. (Blanco, 1947, pág. 17)

A demás de la construcción de la bóveda propiamente dicha, es previsible que se dispusieran mecanismo de disipación de los empujes horizontales que, como es sabido, están presente en todas las bóvedas y más en las de éste porte. Únicamente han sido descubiertos los zunchos de borde de hormigón armado, que se encontraban tras un chapado de rasillas, embebidos en el muro de carga, a la cota del arranque de las bóvedas. Sin embargo, no se ha descubierto el sistema de tirantes que, previsiblemente, vayan de un zuncho a otro, embebidos en la estructura horizontal de planta y en el sentido perpendicular a la directriz de la bóveda⁵⁴.

⁵⁴ Esto es así puesto que se carece de permiso para realizar catas que permitan descubrir dichos tirantes, ya que se trata de inspecciones destructivas.

El **espesor** de la bóveda en esta ocasión es de tres vueltas de rasilla, con sus correspondientes tongadas intermedias de mortero bastardo, por lo que el sumatorio es el siguiente: $4,5 + 2 + 4,5 + 2 + 4,5 + 1 = 18,50$ centímetros.

Sobre ésta, se encuentra el mismo sistema de costillas o lengüetas que en las bóvedas de las plantas inferiores, esto es, tabiquillos de rasillas colocadas a panderete y separados 40 centímetros a ejes.

Sin embargo, esta vez su acabado superior no ha de ser horizontal, como en el caso de los suelos con pavimento, sino que tiene la inclinación de la cubierta. De esta forma, y entre ellos, se dispone un tablero de rasillas de 4,5 centímetros de espesor y, sobre él, otra tongada de mortero de 3 centímetros, a modo de capa de compresión, sobre la que ya se apoyan los rastreles de madera que sujetan las pizarras de la cubierta.

El **peralte** de éstas bóvedas no atiende al décimo de la luz del vano, sino a la geometría propia de las parabólicas, de esta forma, el peralte quedará definido al comentar las dimensiones de cada bóveda.

6.3.1. BÓVEDA DE CAÑÓN SOBRE MUROS DE FACHADA



Ilustración 40. Bóveda de cañón parabólica en salón de actos. Fuente: foto de Javier Ropero Giralda.

Localización: ésta bóveda se encuentra en la planta tercera del ala sureste, formando el soporte de la cubierta de dicha ala.

Descripción: se apoya sobre los muros de carga de fachada, cubriendo todo el vano del ala. Sus lunetos están dispuestos cada 3,10 metros entre sus ejes, esto es debido a que en ellos hay ventanas de 1 x 1 metro que responden al orden en alzado de las ventanas inferiores.

Su interior, es decir, el bajo cubierta, ha tenido uso de sala de escenificaciones y conciertos, por lo que en su parte situada más al este hay un escenario de madera que ocupa parte de la bóveda.

Dimensiones: se trata de la bóveda mayor: tiene una longitud de 40 metros en el sentido de su directriz, salva una luz de 11 metros y presenta un peralte de 4 metros, desde el suelo acabado hasta la clave.

6.3.2. BÓVEDA DE CAÑÓN SOBRE MUROS INTERIORES



Ilustración 41. Bóveda de cañón parabólica sobre "transepto". Fuente: foto del autor.

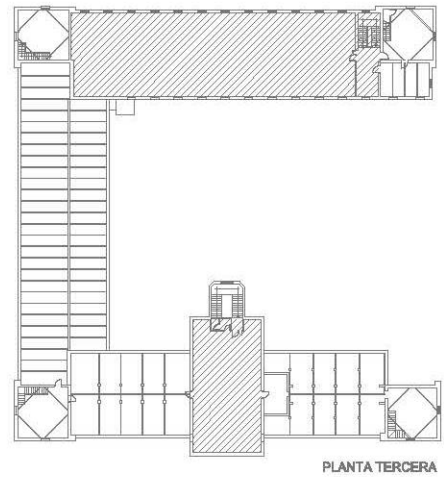
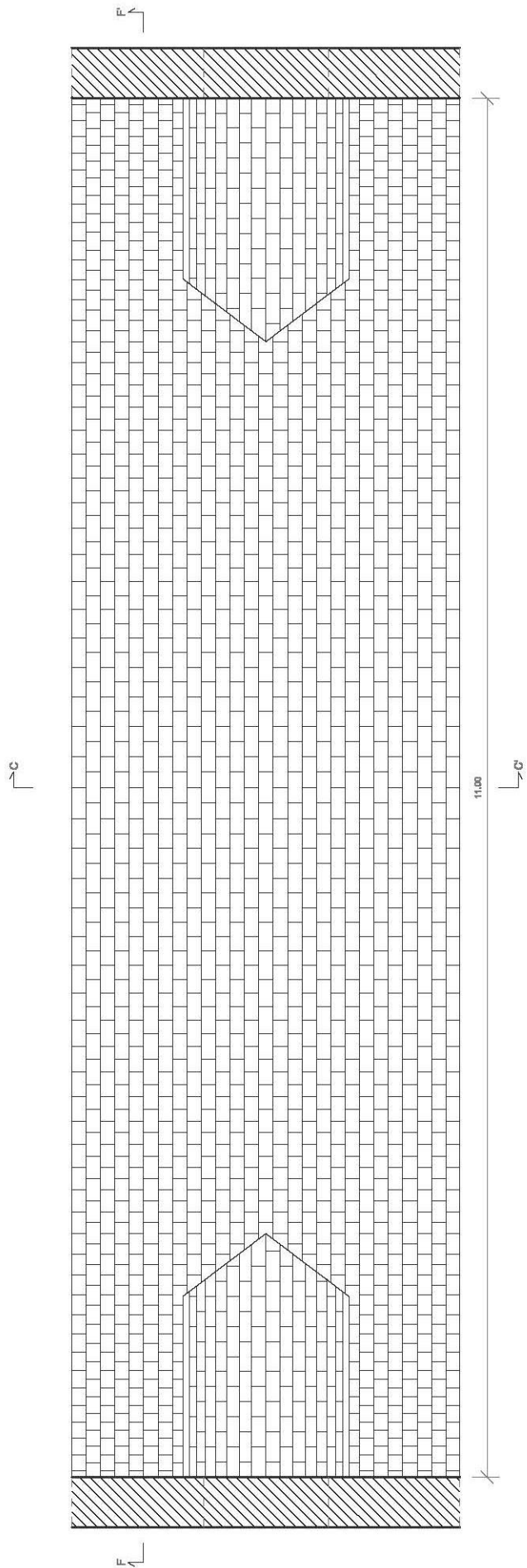
Localización: se sitúa en la planta tercera del cuerpo transversal del ala noreste, el que configura el acceso y la escalera principal. También da lugar el soporte de la cubierta.

Descripción: esta vez no se apoya sobre los muros de carga de fachada, sino en unos transversales, los que generan el crucero. Únicamente tiene cuatro lunetos, dos en cada extremo de la bóveda (los que dan al patio también responden al ritmo de huecos del cuerpo de escaleras).

Éste bajo cubierta ha tenido usos como gimnasio o laboratorio, siendo un espacio singular puesto que la escalera principal acaba en él.

Dimensiones: al tratarse de la bóveda menor, sus dimensiones son las siguientes: 17,60 metros en la dirección del eje, 9 metros de luz y 3,15 metros desde el suelo acabado hasta la clave.

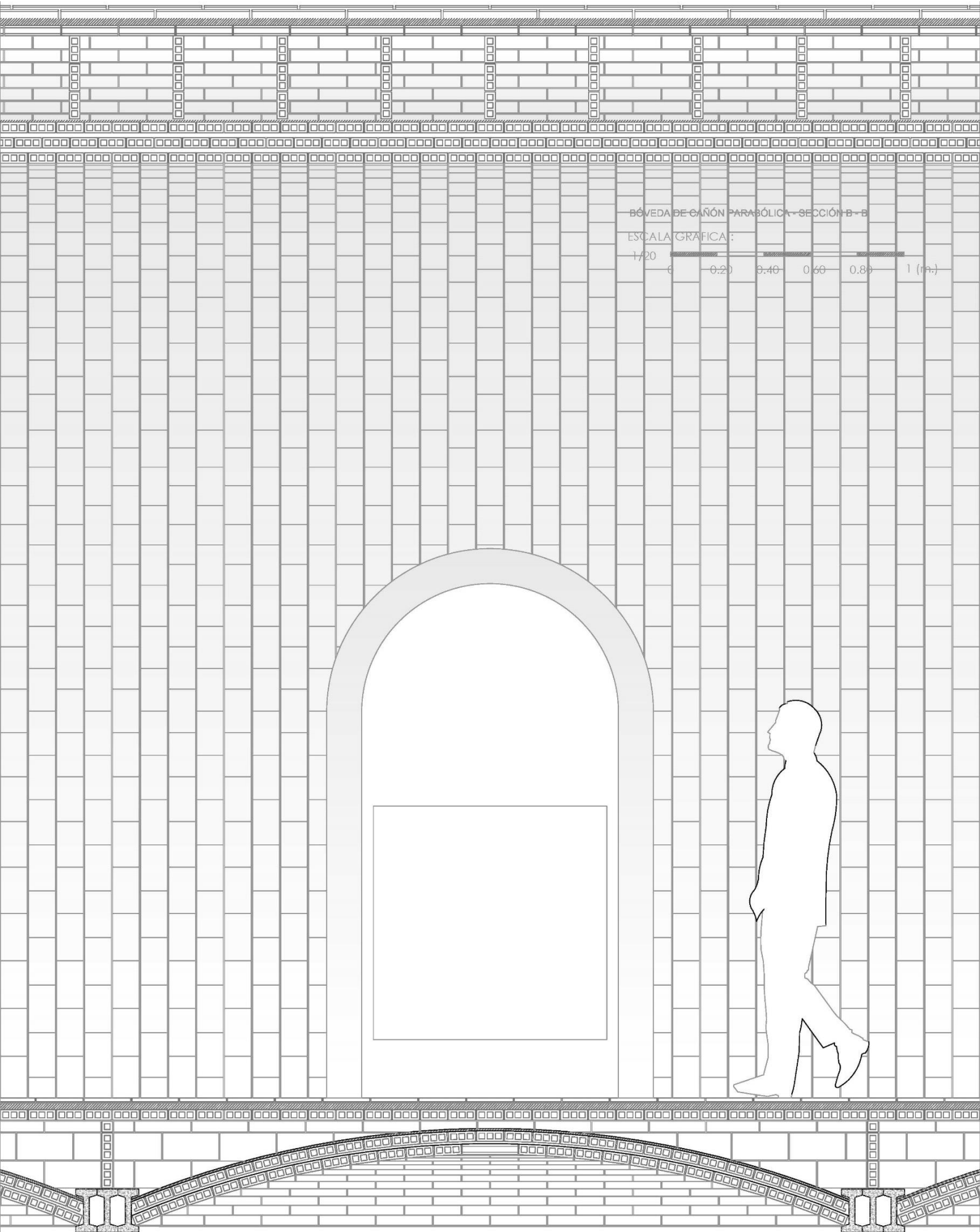
Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



BÓVEDA DE CAÑÓN PARABÓLICA - PLANTA

ESCALA GRAFICA :





BÓVEDA DE CAÑÓN PARABÓLICA - SECCIÓN B-B

ESCALA GRÁFICA:

1/20

0 0.20 0.40 0.60 0.80 1 (m.)

7. ESTUDIO DETALLADO DE LA TORRE OESTE

Con la finalidad de incorporar una parte práctica al trabajo, se decide realizar un estudio detallado de una parte del edificio y sus bóvedas.

Para ello se ha elegido la torre oeste, debido a la presencia de lesiones y de bóvedas singulares.

7.1. DESCRIPCIÓN DE LA TORRE

La **ubicación** de la torre oeste se encuentra en el ala noroeste, a la derecha del acceso practicado por el soportal de la fachada principal.

En **planta**, la torre describe un cuadrado casi perfecto, confinado por muros de carga. Estos muros son iguales que los descritos en el apartado de estructura del edificio: muros de piedra de setenta centímetros hasta el arranque de los arcos de planta baja, seguidos del mismo espesor de ladrillos macizos hasta la cota de planta primera. A partir de esta, el muro es de hasta y media, también de fábrica de ladrillo.

La singularidad a comentar es la existencia de dos machones situados en los vértices norte y sur de la Torre, discurriendo desde la cimentación hasta el arranque de la cubierta.

El **alzado** se encuentra perforado por ventanas de dos tipos: rectangulares con arco de medio punto, en planta baja y cuarta, y rectangulares en las plantas restantes.

Los dinteles de las primeras son arcos de medio punto realizados con ladrillos macizos en su totalidad, en cambio, los de las rectangulares son arcos rebajados rectificadas en su parte inferior por una hilada de ladrillo para dar dicha forma al hueco.

La singularidad en este caso es la presencia de molduras en la fachada principal, la noroeste. Se desconoce la naturalidad de las mismas, aunque, previsiblemente, se hicieran con piezas de ladrillo en vuelo.

En cuanto a las cornisas, están realizadas con elementos prefabricados que imitan la piedra de granito.

La **altura** de ésta, es de baja más cuatro y no tiene semisótano debido a que la roca granítica sobre la que se asienta aflora en este punto

hasta la cota de planta baja. Tanto es así que, para acceder a dicha torre en su cota inferior, hay que ascender dos peldaños desde la cota de acceso principal, es decir, se encuentra ligeramente elevada respecto de la planta baja por el motivo mencionado.

La **estructura horizontal** de esta torre está hecha con bóvedas esquifadas apoyadas sobre viguetas giradas cuarenta y cinco grados respecto de la planta. Éstas, a su vez, se encuentran apoyadas sobre los mencionados muros de carga.

A diferencia del resto, la estructura de cubierta, está hecho con cerchas de madera, correas y tablas ripias sobre las que se apoya la cobertura de pizarra. Éstas cerchas, para cubrir la planta, discurren de vértice a vértice del cuadrado. La cercha que va del vértice Este al Oeste se "apoya" sobre la perpendicular, la cual descansa sobre aquellos machones situados en los vértices Norte y Sur.

Además, a la misma cota que los tirantes de las cerchas, se encuentra un rastrelado de madera longitudinal que sirve de sujeción del antiguo falso techo. Éste es de escayola y se sujeta a los rastreles con un trenzado de esparto.

Las **carpinterías** originales son de madera y sus mecanismos de hierro junto con vidrios simples. Sin embargo, posteriormente se colocaron unas contraventanas de aluminio, también con vidrio simple.

Las **particiones interiores** se encuentran en las plantas primera y segunda y son de ladrillo hueco, configurando antiguas habitaciones. En la primera tienen un espesor de seis centímetros y en la planta segunda de diez centímetros. En las plantas restantes, baja, tercera y cuarta, la torre es diáfana.

Las **escaleras** para acceder hasta la cota de planta segunda se usan las principales, situadas en el cuerpo central del ala. Sin embargo, para acceder desde la planta segunda a la tercera y cuarta se encuentra una escalera colocada en el vértice norte. Para el hueco de la escalera no se ha ejecutado uno de aquellos triángulos residuales que resultaban de girar las viguetas cuarenta y cinco grados.

7.2. LEVANTAMIENTO

El levantamiento es el proceso mediante el cual se define gráficamente un edificio o una parte del mismo. Para ello, se siguen una serie de pasos: establecer unos objetivos, determinar la técnica apropiada, la metodología a seguir y, finalmente, la representación del dibujo obtenido.

A continuación, serán descritos estos cuatro pasos del proceso que han sido empleados para el levantamiento de la Torre del Colegio.

7.2.1. OBJETIVOS DEL LEVANTAMIENTO

Establecer los objetivos a conseguir es el primer paso y el que determina los siguientes, ya que, en función de lo que se quiera alcanzar, se emplearán unas técnicas u otras, una metodología u otra e incluso un estilo de grafismo u otro.

En el caso del presente estudio detallado, los objetivos a determinar son los siguientes:

- Dimensión en planta de la torre
- Altura total de la torre y parciales entre plantas
- Geometría de las bóvedas: curvatura, peralte y luces
- Hundimiento de las bóvedas
- Situación, dirección y dimensión de las grietas
- Causa de las grietas

7.2.2. TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO. HERRAMIENTAS

Las técnicas de levantamiento consideradas más apropiadas, para los objetivos preestablecidos y para definir la Torre, son dos⁵⁵:

⁵⁵ El nombre de las técnicas ha sido tomado del libro de la asignatura "*Técnicas de restauración de los edificios históricos*". (Basterra, 2019)

- **Sistema simple:** consiste en el levantamiento de planos de la manera tradicional, es decir, tomando medidas "in situ" y anotándolas en un croquis para, posteriormente, "pasarlas a limpio". Para ello se han empleado tres herramientas:
 - **Cinta métrica:** cinta metálica enrollable con marcas diferenciadas cada milímetro, centímetro y metro.
 - **Puntero láser:** se trata de un medidor de distancias tanto de forma directa como indirecta, puesto que cuenta con un sistema integrado de triangulación en el cual se insertan varias distancias simples, como por ejemplo diagonales, y da una distancia "inalcanzable" de la forma simple.
 - **Nivel láser:** es un sistema basado en un plomo pendular que determina cotas horizontales y verticales mediante un láser. Dichas cotas son fiables debido a que el plomo oscila con la gravedad y no depende de las características del apoyo en el que se encuentre.

- **Restitución fotográfica:** esta técnica es más reciente, aunque es complementaria de la anterior. Se basa en la rectificación de fotos e inserción de las mismas sobre un delineado previamente elaborado. De esta forma se consigue una imagen real de un paño del edificio. Su utilidad es muy variada ya que permite ver las tonalidades de los paramentos, el relieve, las lesiones, etc. Para ésta técnica se han empleado dos herramientas:
 - **Cámara digital**
 - **Photoshop:** programa informático de edición de imágenes que, entre sus diversas funciones, está la de rectificación y distorsión, con la finalidad de insertar las imágenes modificadas en el delineado previo.

7.2.3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el levantamiento puede ser descrita en función de los objetivos a satisfacer. De esta forma:

- La **dimensión en planta** de la torre se mide con un sistema simple, empleando el puntero laser. Las medidas se toman en los lados del cuadrado y en las diagonales en las plantas diáfanas.

En las plantas con tabiques, la primera y segunda, se miden las habitaciones con el puntero láser y el espesor del tabique con la cinta métrica para posteriormente sumar los datos y obtener la medida total del lado.

- La **altura** total de la torre y las parciales de las plantas se obtienen de la siguiente forma:

- Las totales se miden en la parte exterior de la Torre, en las aristas del alzado, con el puntero láser y al anochecer para que el punto rojo fuera visible.
- Las parciales se calculan planta por planta con el puntero láser. Para calcular el espesor de la estructura horizontal se cuenta el número de peldaños y se mide su huella con la cinta métrica con la finalidad de conocer la cota de suelo acabado a suelo acabado.

- La **geometría de las bóvedas** es el resultado de varias medidas y procesos auxiliares para obtenerlas:

Se fracciona la planta en dieciséis partes iguales, generando una retícula de referencia sobre la que tomar las medidas. Para ello, se divide en cuatro la distancia de los lados del cuadrado anteriormente medido y se marcan con una "X" los puntos de intersección de la retícula. El nivel láser vertical se usa a modo de regla. En el caso de las plantas con tabiques, el rayo láser queda interrumpido y el proceso no es tan inmediato como anteriormente. De esta forma, se emplea un cordel y una tiza a modo de compás para determinar los puntos, tomando las distancias y trazando arcos en

cuya intersección se establecen los puntos, como si el suelo fuera un papel.

El punto de medida de la clave de la bóveda mayor queda determinado por el punto central de la retícula, sin embargo, el punto bajo la clave de las bóvedas triangulares ha de trazarse. Para ello, se dibuja en el suelo la proyección vertical de la vigueta con ayuda del nivel láser vertical. Seguidamente, se traza el baricentro⁵⁶ del triángulo formado por los muros y la proyección, dando como resultado el punto buscado.

- Las luces de las bóvedas se obtienen primeramente determinando la posición de las viguetas de apoyo. Para ello, se mide con puntero láser las distancias desde los vértices de la planta hasta ambos apoyos de las viguetas en el muro. Para determinar el punto de apoyo, se emplea el nivel láser con el rayo vertical. El rayo se ajusta al eje de la vigueta y, cuando éste interseca con el muro, se establece la línea vertical de inicio de la medición. Finalmente, la luz de la bóveda se halla midiendo la distancia entre las viguetas.
- El peralte de las bóvedas, tanto de la mayor como de las triangulares, se determina midiendo con puntero láser la cota de la clave y de los arranques, situados sobre el ala de la vigueta de hormigón, a 4,5 centímetros⁵⁷ respecto de la suela de cada vigueta. Por tanto, su peralte es el resultado de la resta entre la cota de la clave y la cota del apoyo, teniendo en cuenta el hundimiento de las bóvedas que será comentado más adelante.
- La curvatura de la bóveda se determina a partir de la obtención de todas las cotas medidas desde las marcas dibujadas en el suelo hasta la parte inferior de la bóveda.

⁵⁶ Punto donde se cortan las medianas de un triángulo, es decir, las líneas que unen los vértices con el punto medio del lado opuesto. Es el centro de gravedad.

⁵⁷ Es el espesor del ala de la vigueta en su parte inferior.

- El **hundimiento de las bóvedas** se obtiene colocando el nivel láser horizontal en un punto fijo y poniendo la cinta métrica de forma vertical en los puntos de la retícula trazada con anterioridad.

Sobre los puntos en forma de cruz se sitúa el 0 del metro y, a partir de ahí, se extiende hacia arriba. Donde corta la cinta métrica con el rayo del láser se establece una cota, que es la distancia desde el suelo hasta el punto fijo.

De este modo se determinan todas las cotas de los puntos respecto de una línea horizontal constante y fiable, obteniendo los posibles puntos de hundimiento.

- La **situación, dirección y dimensión de las grietas** es determinada con las dos técnicas de levantamiento mencionadas: el sistema simple y la restitución fotográfica.

El sistema simple es empleado para determinar la posición en planta de las grietas, usando el medidor, y para dimensionar el espesor de la grieta, usando la cinta métrica.

En cambio, la restitución fotográfica sirve para situar las grietas en los paños y mostrar sus direcciones. Como las imágenes son insertadas en una plantilla previamente delineada y escalada, pueden medirse sus dimensiones con cierta fiabilidad.

7.2.4. REPRESENTACIÓN

Tras las mediciones "in situ", han de "pasarse a limpio" los datos. Antes, se delineaban a mano con escuadra y cartabón, sin embargo, ahora se emplean programas informáticos CAD o similares.

En este trabajo se ha empleado AutoCAD para el delineado de las plantas y secciones y Photoshop para la restitución fotográfica.

Los datos obtenidos de cotas y distancias se representan en planta, reservando la sección y alzado para la restitución.

Las cotas de alturas se marcan con una cruz en el punto en el que se realiza su medición, sobre la retícula trazada en el suelo. Las alturas totales, es decir, las que van del suelo a la parte inferior de la bóveda

se ponen con un número y dos decimales. Las parciales, las que se miden con el nivel láser horizontal y la cinta métrica, se ponen debajo de las anteriores y entre paréntesis para diferenciarlas.

Las distancias y medidas de los lados de la planta se grafían con un sistema de acotación que tiene el programa mencionado, con dos flechas y la numeración hasta dos decimales como anteriormente.

En planta también se representan los tabiques de aquellas plantas que los poseen, la proyección de las viguetas del techo de dicha planta y las escaleras donde las haya.

En cuanto a la representación de la restitución fotográfica, se ha realizado con AutoCAD la plantilla y se ha insertado en Photoshop junto con las imágenes. En ocasiones, la cámara digital no capta el paño entero, por lo que se realizan varias fotos del mismo y se juntan a modo de collage para obtener el resultado buscado. En cuanto a la representación de la sección, se decide mostrar la estructura seccionada con un rallado para que contraste con las imágenes rectificadas.

7.3. ANÁLISIS

Una vez recopilados los datos y concluido el levantamiento gráfico, se procede al análisis de los mismos de forma objetiva.

Para ello, se decide hacer en tres partes que, a su vez, tienen que ver con el levantamiento y la toma de datos. Estas son:

7.3.1. ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO SIMPLE

Para el análisis de las cotas y dimensiones obtenidas en el levantamiento simple, el sistema más adecuado es ir comentando los resultados planta por planta, señalando las medidas singulares establecidas en los objetivos previos: dimensiones de la planta, luz, peralte, curvatura y hundimiento de la bóveda y las cotas de la grieta.

Para facilitar la comprensión, al final de cada descripción por planta, se dispone el correspondiente plano de cotas.

0. Planta Baja

- **Dimensiones:** las dimensiones interiores de la Torre en planta baja configuran un cuadrado casi perfecto en el que tres de sus lados son de 5,95 metros, sin embargo, uno de ellos es de 5,91.
- **Luz:** la luz de las bóvedas, las correspondientes a planta primera, depende de la colocación de las viguetas de apoyo. Los apoyos de éstas, se encuentran a 2,30 metros respecto de su vértice⁵⁸ más próximo. Por lo tanto, las luces son las siguientes: la de la bóveda mayor, medida entre viguetas es de 5,04 metros, mientras que las triangulares, medidas entre el vértice y la vigueta es de 1,58 metros.
- **Peralte:** como se ha comentado en el apartado de levantamiento, para determinar el peralte de las bóvedas hay que hacer la siguiente operación: altura de la clave - altura de la vigueta⁵⁹ - canto de la suela de la vigueta. De ésta forma,

La bóveda mayor del techo de planta baja tiene el siguiente peralte:

$3,51 - 3,23 - 0,045 = 0,235$ metros, lo que son, 23,5 centímetros.

En cuanto a las triangulares, tomando una de referencia, tiene:

$3,43 - 3,20 - 0,045 = 0,185$ metros, es decir, 18,5 centímetros.

En esta ocasión no se ha tenido en cuenta el hundimiento de planta baja porque no se produce.

- **Hundimiento:** en la planta baja no se producen hundimientos significativos, ya que gran parte de las cotas se encuentran a 0,80 metros respecto de la cota de referencia trazada por el nivel laser horizontal.
- **Grietas:** las grietas se producen en las dos viguetas que se apoyan en la fachada suroeste de la Torre:

En la vigueta situada en el vértice sur de la torre, la grieta se produce a 1,13 metros del apoyo en la fachada suroeste. Además,

⁵⁸ Se entiende como el vértice en planta formado por dos muros.

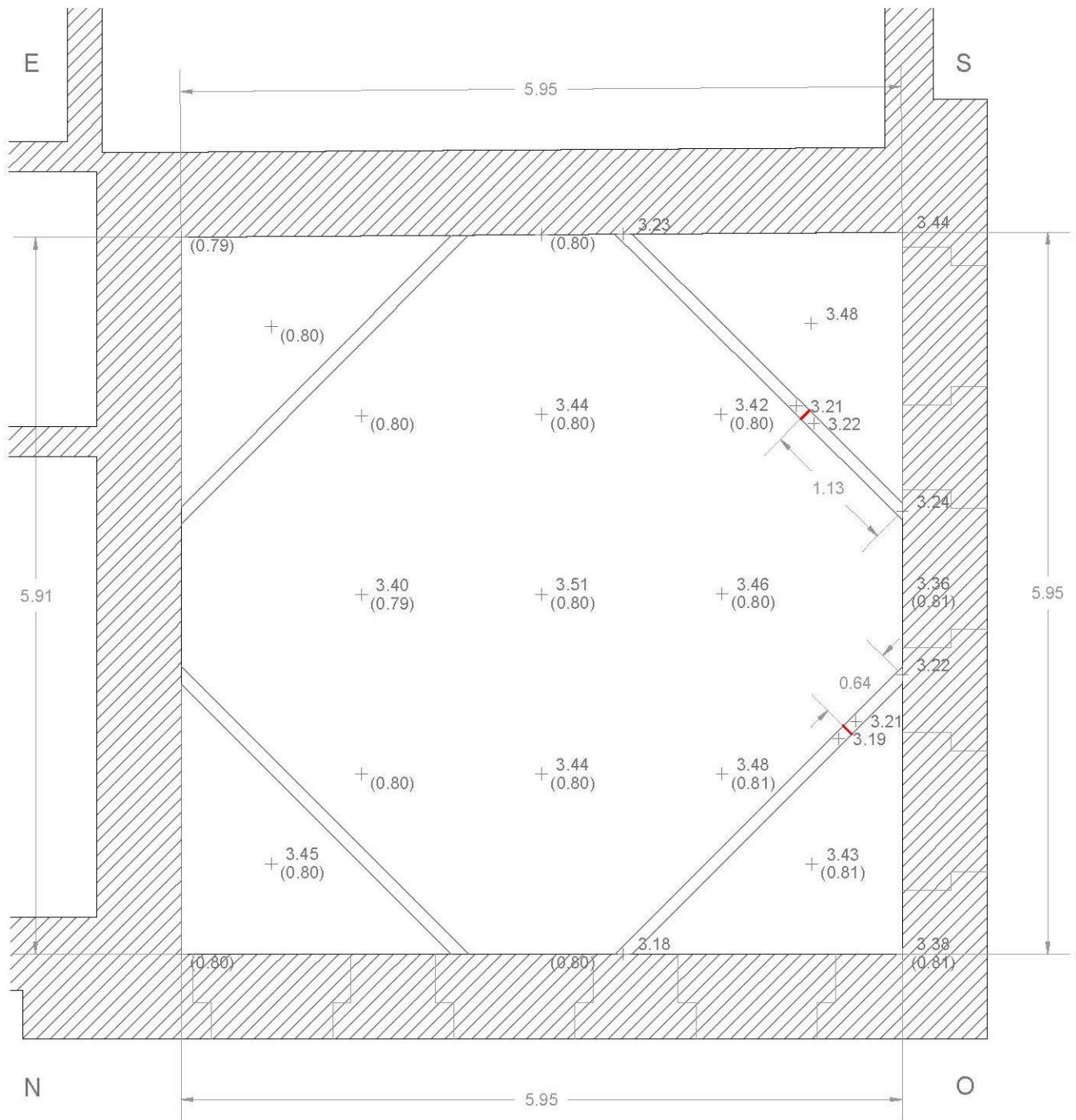
⁵⁹ Altura media de las cuatro viguetas de la planta, medidas desde el suelo hasta su suela.

tomando las cotas a ambos lados de la grieta⁶⁰, se obtienen las medidas de 3,21 y 3,22 metros, lo que indica que hay un escalón de 1 centímetro.

En la segunda vigueta, la situada al oeste, la grieta se aprecia a 0,64 metros respecto del apoyo en la fachada mencionada. Sin embargo, esta vez el escalón es de 3 centímetros, más acusado que el anterior.

⁶⁰ Desde el suelo hasta la suela de la vigueta.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA BAJA

ESCALA GRAFICA :



- + : Punto de medida
- nº: Medida de suelo a bóveda o vigueta
- (nº): Medida de suelo a nivel láser horizontal
- Grieta

1. Planta primera

- **Dimensiones:** esta planta, también describe un cuadrado casi perfecto. Sus medidas interiores son de 6,57 en tres de sus lados y 6,60 en el restante.
- **Luz:** el eje de las viguetas, en los puntos de apoyo, se encuentra a 2,70 metros respecto del vértice que le corresponde, por tanto, midiendo entre viguetas se determina que la luz de la bóveda mayor es de 5,39 metros, siendo la de las triangulares de 1,86 metros.
- **Peralte:** ahora, al determinar el peralte de la bóveda de techo de planta primera, hay que tener en cuenta el hundimiento producido en el suelo de planta primera. Esta medida se obtiene de la resta entre el hundimiento en la clave y el hundimiento medio bajo las viguetas de apoyo desde las que arranca la bóveda. De esta forma el peralte se obtiene así: altura de la clave - hundimiento - altura hasta vigueta - canto de la suela de la vigueta.

Por tanto, la bóveda mayor tendrá:

$3,38 - (0,79 - 0,77) - 3,02 - 0,045 = 0,295$ metros, es decir, 29,5 centímetros.

El peralte de la bóveda triangular situada más al sur será:

$3,23 - (0,77 - 0,77) - 3,02 - 0,045 = 0,165$ metros, lo que es lo mismo que 16,5 centímetros.

- **Hundimiento⁶¹:** en el suelo de ésta planta si se produce hundimiento. Como se aprecia en el delineado, la cota del suelo en el perímetro de la planta es de 0,76/0,77 centímetros respecto del medidor laser, situado en el alfeizar de la ventana. Sin embargo, la cota del suelo en el centro de la planta, es de 0,79 centímetros, lo que indica que la bóveda mayor se ha hundido 3 centímetros.

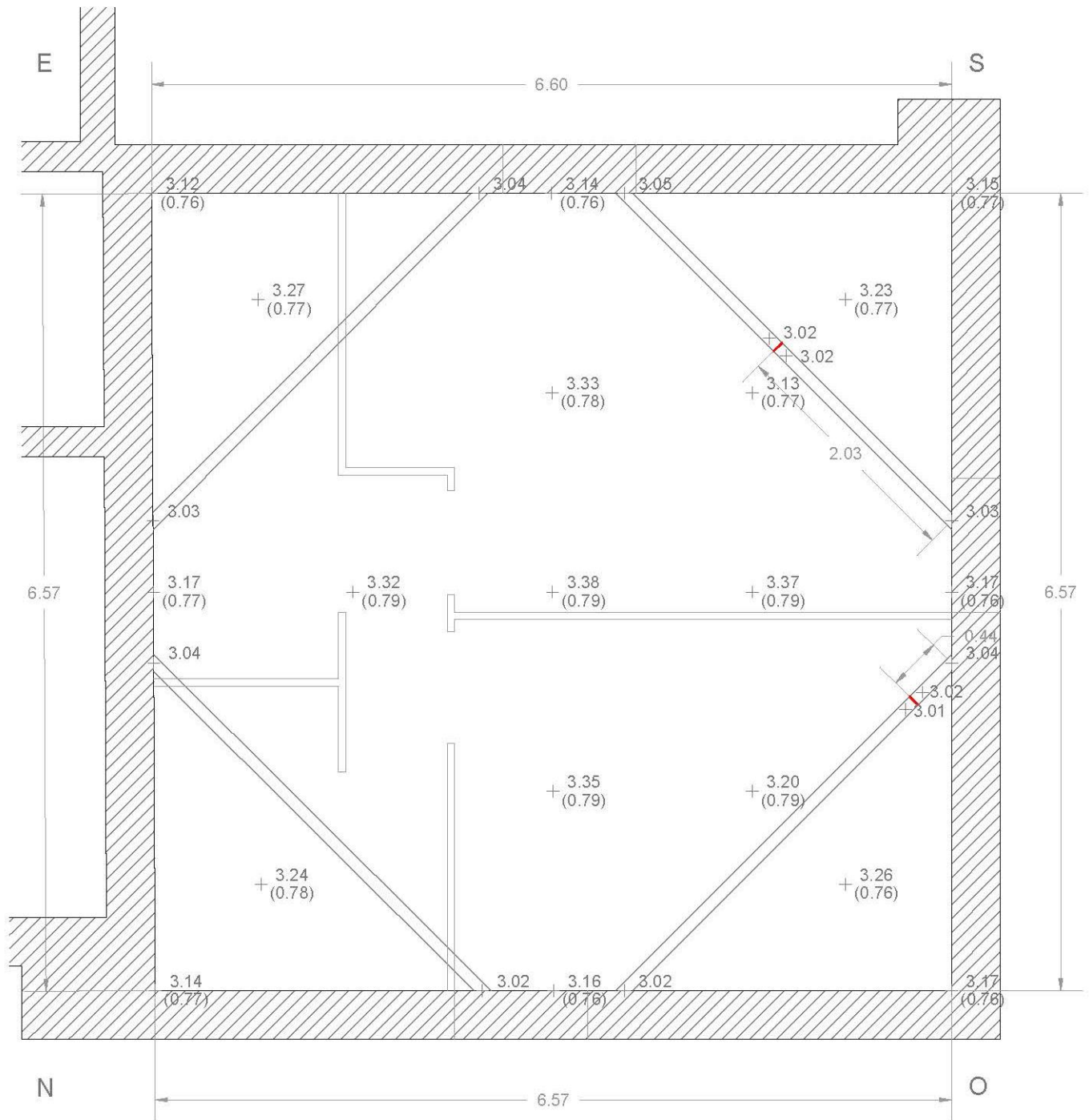
⁶¹ El hundimiento podría atribuirse a un fallo de ejecución, como colocar mal el pavimento, sin embargo, como se verá en las siguientes plantas, se mantiene un patrón que descarta la hipótesis del fallo en obra.

- **Grietas:** nuevamente, las viguetas agrietadas se encuentran apoyadas en la fachada suroeste de la Torre.

La situada al sur presenta la grieta a 2,03 metros respecto el eje de su apoyo en la fachada suroeste. Tomando las medidas a ambos lados de la misma, se determina que no hay escalón producido, puesto que las dos cotas resultantes son de 3,02 metros.

La vigueta oeste, esta agrietada a 0,44 metros respecto de la fachada comentada y esta vez se produce un escalón de 1 centímetro, resultante de la diferencia entre ambas partes de la grieta: 3,02 y 3,02.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA PRIMERA

ESCALA GRAFICA :



- + : Punto de medida
- nº: Medida de suelo a bóveda o vigueta
- (nº): Medida de suelo a nivel láser horizontal
- Grieta

2. Planta segunda

- **Dimensiones:** la planta segunda tiene aproximadamente las mismas dimensiones que la primera: tres lados iguales, de 6,55 metros (2 centímetros menos que la primera), y uno diferente, de 6,60 metros (igual que la planta primera).
- **Luz:** al igual que antes, hay que describir previamente la posición de las viguetas. El eje de éstas, en su apoyo, está a 2,55 metros respecto del vértice más cercano, por lo que la distancia entre ellas en perpendicular es de 5,48 metros, es decir, la luz de la bóveda mayor. En cuanto a las bóvedas menores, presentan una luz, desde el centro de la vigueta hasta el vértice, de 1,86 metros.
- **Peralte:** el peralte es determinado como con anterioridad, teniendo en cuenta el hundimiento de la bóveda. De esta forma:

El peralte de la bóveda mayor es el resultado de:

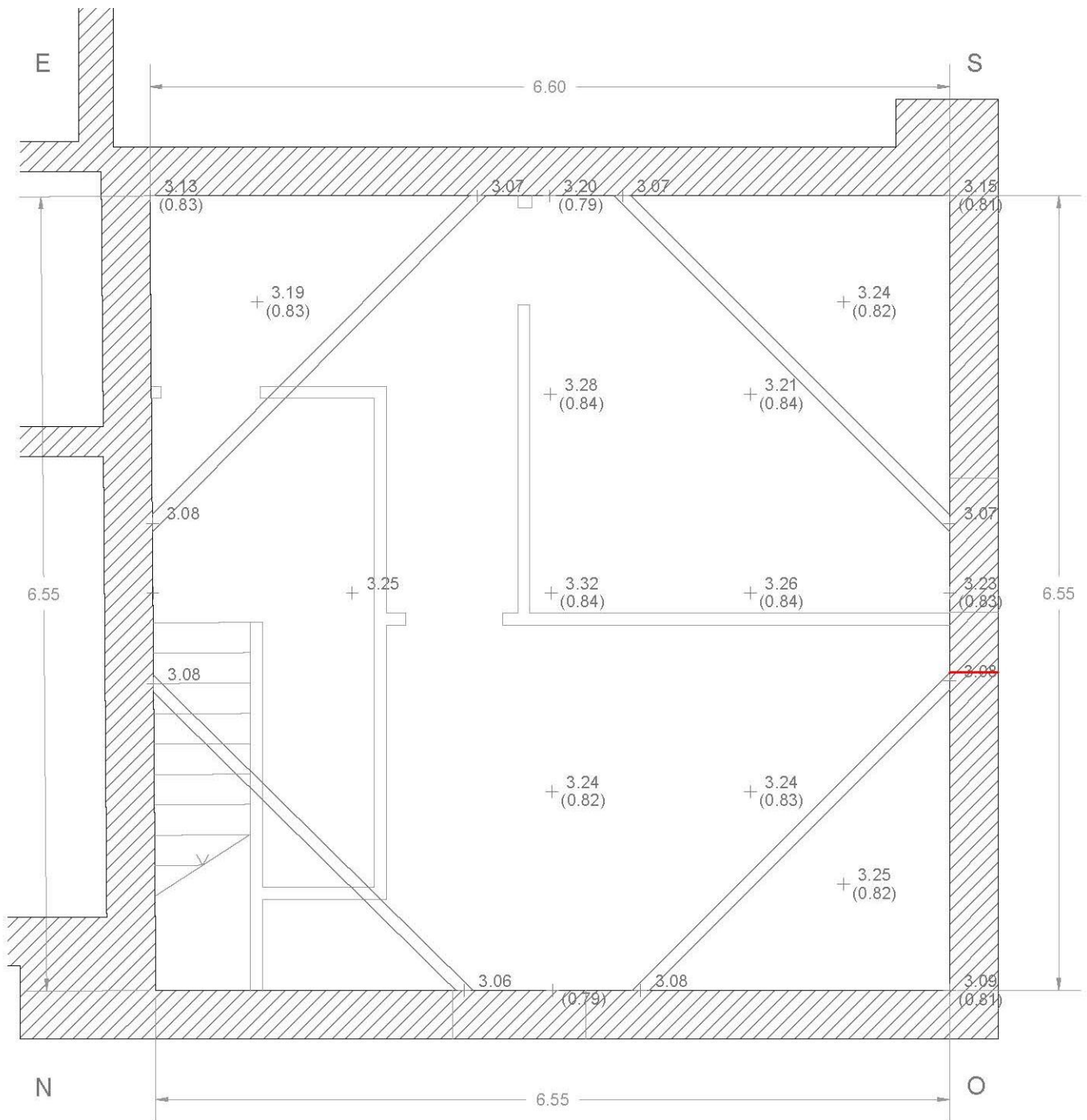
$$3,32 - (0,84-0,82) - 3,07 - 0,045 = 0,185 \text{ metros, } 18,5 \text{ centímetros.}$$

La de una bóveda menor es de:

$$3,25 - (0,82-0,82) - 3,07 - 0,045 = 0,135 \text{ metros, es decir, } 13,5 \text{ centímetros.}$$

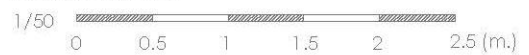
- **Hundimiento:** en el suelo de esta planta también se aprecia el descenso de la clave y los puntos de su alrededor. La cota del suelo sobre la clave es de 0,84 metros tomada respecto del alfeizar de la venta con ayuda del nivel láser y la cinta métrica. Sin embargo, la del perímetro de la planta está entre 0,79 y 0,81 metros, aproximadamente 0,80. La resta de ambas medidas da como resultado el hundimiento de 4 centímetros de la clave de la bóveda mayor.
- **Grietas:** ambas viguetas siguen estando afectadas, sin embargo, ahora no están partidas, sino que muestran desprendimientos longitudinales en las aristas de su suela.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA SEGUNDA

ESCALA GRAFICA :



- + : Punto de medida
- nº: Medida de suelo a bóveda o vigueta
- (nº): Medida de suelo a nivel láser horizontal
- Grieta

3. Planta tercera

- **Dimensiones:** en planta, la Torre comienza a deformarse. A esta cota, solo dos de sus lados son iguales, de 6,45 metros, mientras que los otros son de 6,54 y 6,38 metros como se ve en la planta adjunta.
- **Luz:** las viguetas esta vez salvan una luz mayor, por lo que se separan más respecto de su vértice más próximo. Tanto es así que la distancia entre el eje de la vigueta en su apoyo hasta el vértice es de 2,95 metros. Esto se traduce en una menor luz de la bóveda mayor, 4,92 metros, y una mayor luz en las bóvedas menores, 2,03 metros.
- **Peralte:** se determina de igual forma que las bóvedas de plantas inferiores.

De este modo, la bóveda mayor del techo de planta tercera presenta el siguiente peralte:

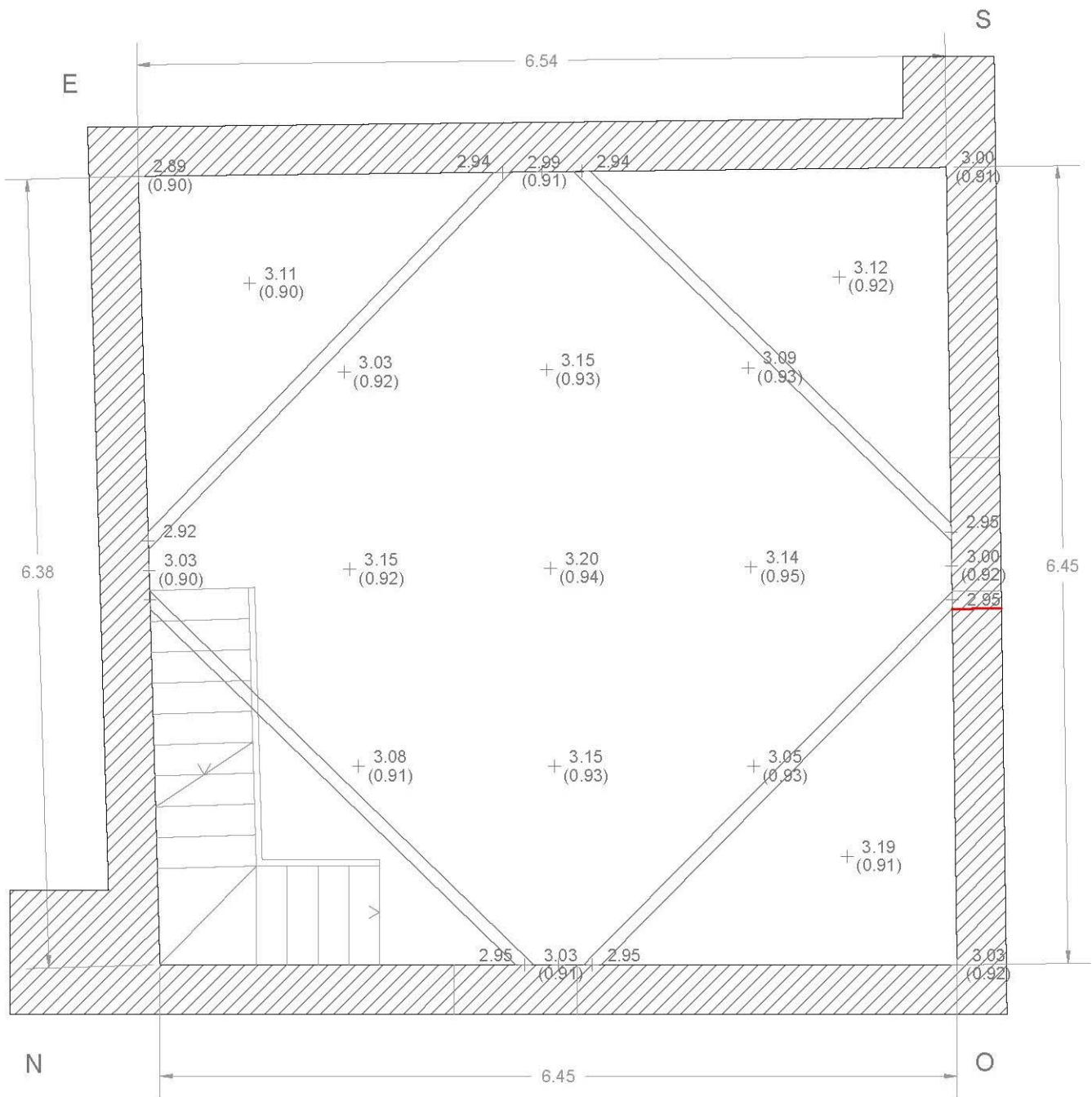
$$3,20 - (0,94 - 0,92) - 2,94 - 0,045 = 0,195 \text{ metros, } 19,5 \text{ centímetros.}$$

En cuanto a una de las bóvedas menores, es la siguiente:

$$3,12 - (0,92 - 0,92) - 2,94 - 0,045 = 0,135 \text{ metros, lo que son } 13,5 \text{ centímetros.}$$

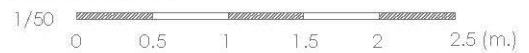
- **Hundimiento:** el hundimiento de la bóveda es el resultado de restar la cota tomada en la clave menos la media de las cotas del perímetro, como se ha hecho con anterioridad. Por lo tanto, como la medida desde el suelo hasta el nivel láser horizontal, en el centro de la planta es de 0,94 metros y en el perímetro es de entre 0,90 y 0,92 metros, se puede afirmar que la clave ha descendido 3 centímetros.
- **Grieta:** a pesar del agrietamiento del muro de la fachada suroeste, las viguetas que se apoyan sobre ella no tienen grietas ni desprendimientos, a diferencia de las plantas inferiores.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA TERCERA

ESCALA GRAFICA :



- + : Punto de medida
- n°: Medida de suelo a bóveda o vigueta
- (n°): Medida de suelo a nivel láser horizontal
- Grieta

4. Planta cuarta

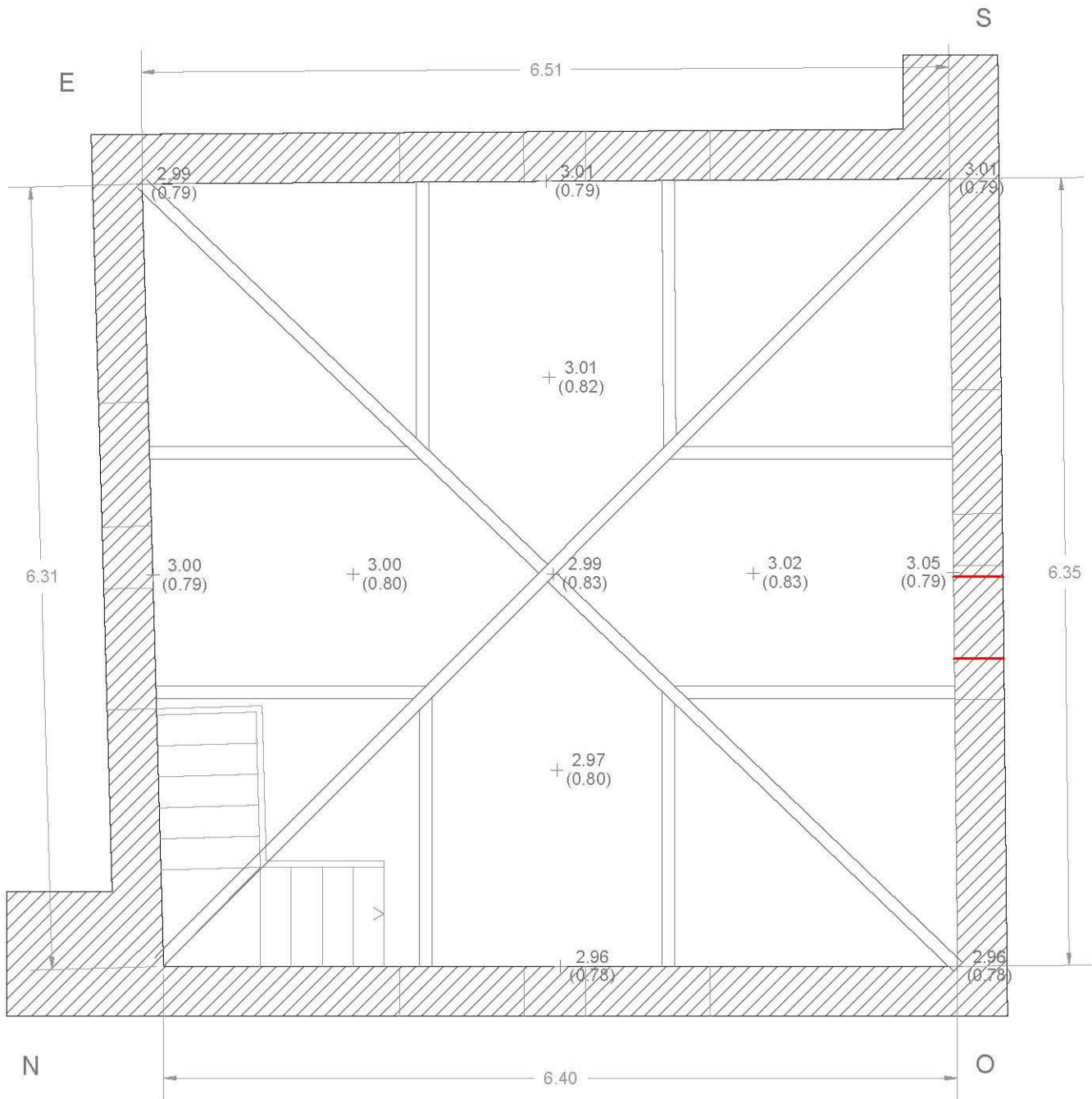
- **Dimensiones:** esta es la planta más deforme, como muestran las dimensiones interiores de sus lados. Ninguna coincide entre sí, como se aprecia en la planta delineada. Este hecho fue corroborado cuando se obtuvieron las diagonales de los lados y los datos se "pasaron a limpio".
- **Luz y peralte:** al no haber bóveda en el techo de planta cuarta, no es posible describir estos puntos. Como se comentó en la descripción de la torre, la cubrición de ésta planta se realiza mediante cerchas de madera.

A pesar de ello, se han tomado medidas de alturas realizadas desde el suelo hasta la parte inferior de las correas de las cerchas y de los listones que sujetaban el falso techo de escayola.

- **Hundimiento:** el hundimiento de la bóveda del suelo de planta cuarta si es posible determinarlo. Se realiza como los demás, colocando el nivel láser horizontal en un punto fijo y sacando las cotas con el metro.

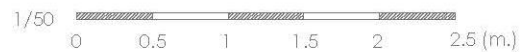
Para determinarlo, se obtienen las cotas del perímetro que oscilan entre los 0,79 y 0,77 metros, pudiendo tomarse como valor medio 0,78. A continuación se observa la del centro de la planta, correspondiente a la parte superior de la clave, que es de 0,83 metros. Por lo tanto, si se restan ambas medidas se obtiene el hundimiento de la clave que es de 5 centímetros. Es decir, el hundimiento es mayor que en el resto de plantas que es de 3 centímetros.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
 El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA CUARTA

ESCALA GRAFICA :



+: Punto de medida

nº: Medida de suelo a estructura de madera

(nº): Medida de suelo a nivel láser horizontal

— Grieta

7.3.2. ANÁLISIS DE LA RESTITUCIÓN FOTOGRÁFICA

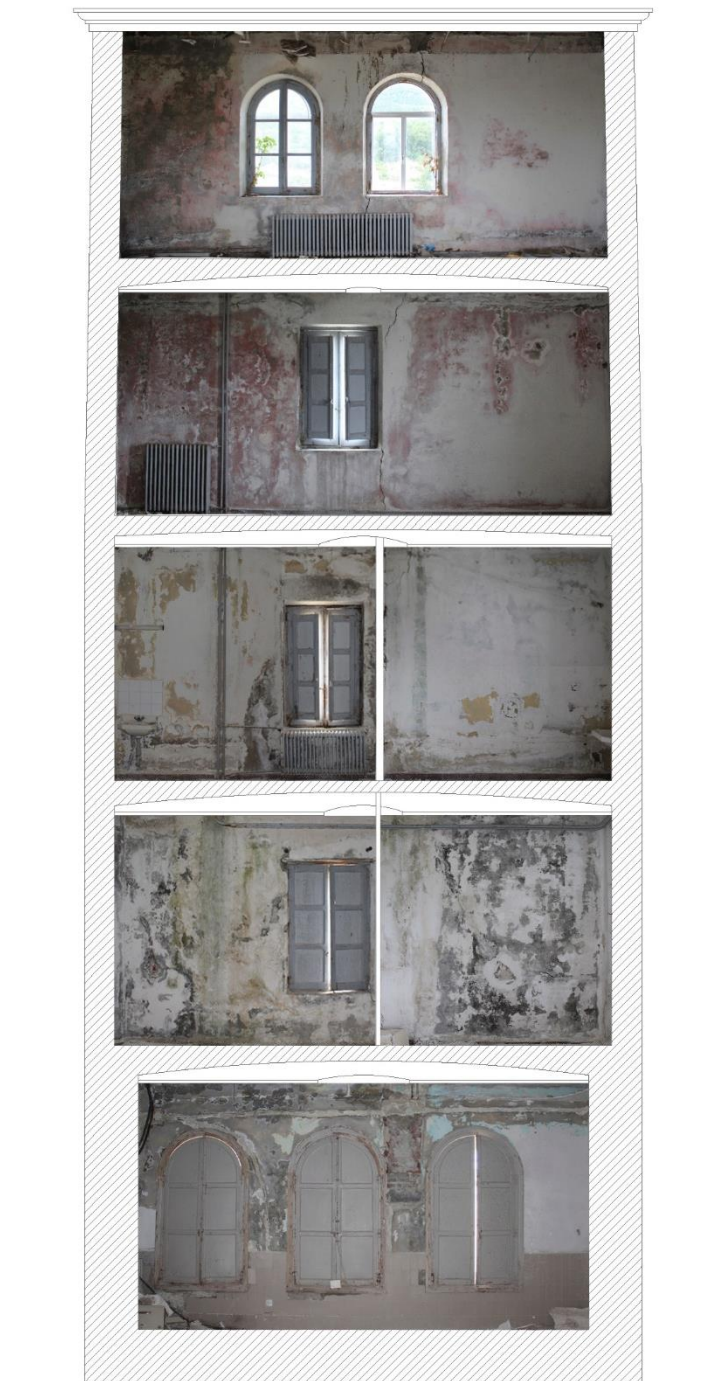
En éste caso, el método más adecuado es comentar la sección y el alzado restituído haciendo alusión a cada planta, pero no de forma tan detallada como en el análisis del levantamiento simple, ya que ahora, solo se centra en la descripción de la torre en altura y en las grietas de la fachada suroeste.

1. Sección

En la sección, se muestran los paños rectificadós de las habitaciones interiores a la fachada estudiada. En este documento, se aprecia la magnitud de las grietas, su dirección y posición.

- Planta baja y primera: en ambas plantas no hay grietas en la fachada, aunque sí en las viguetas que se apoyan en ella.
- Planta segunda: se observa como la grieta de fachada comienza en la esquina superior de la habitación derecha, la situada en el vértice oeste. Es significativo que la vigueta del techo de esta habitación no esté partida, aunque sí tenga desprendimientos. Igual de significativo es que la grieta comience justo en el apoyo de dicha vigueta, a 2,48 metros respecto del vértice oeste de la torre.
- Planta tercera: la grieta continúa ascendiendo y, a medida que lo hace, aumenta su espesor, ahora es de 7 milímetros. En la parte inferior del alfeizar, es vertical y coincide con la jamba derecha de la ventana. Sin embargo, a tres cuartos de la altura de la ventana toma una inclinación de 65° en la dirección de la arista oeste de la torre, coincidiendo a la derecha del apoyo de la vigueta.
- Planta cuarta: nuevamente, la grieta se asocia a la parte inferior de la jamba de una de las ventanas, a 3,14 metros respecto del vértice oeste. Esta desaparece y nuevamente aparece en el arco que hace de dintel de dicha ventana, a 2,48 metros respecto del anterior vértice. En esta parte superior, inicia siendo vertical y luego cambia su dirección de forma similar a la planta tercera, para coincidir con el apoyo de uno de los tirantes de las cerchas secundarias. En cuanto a su espesor, la grieta ha pasado de tener 7 milímetros a tener 9 en la parte superior de la ventana.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



ESCALA GRAFICA :

1/100 0 1 2 3 4 5 (m.)

2. Alzado

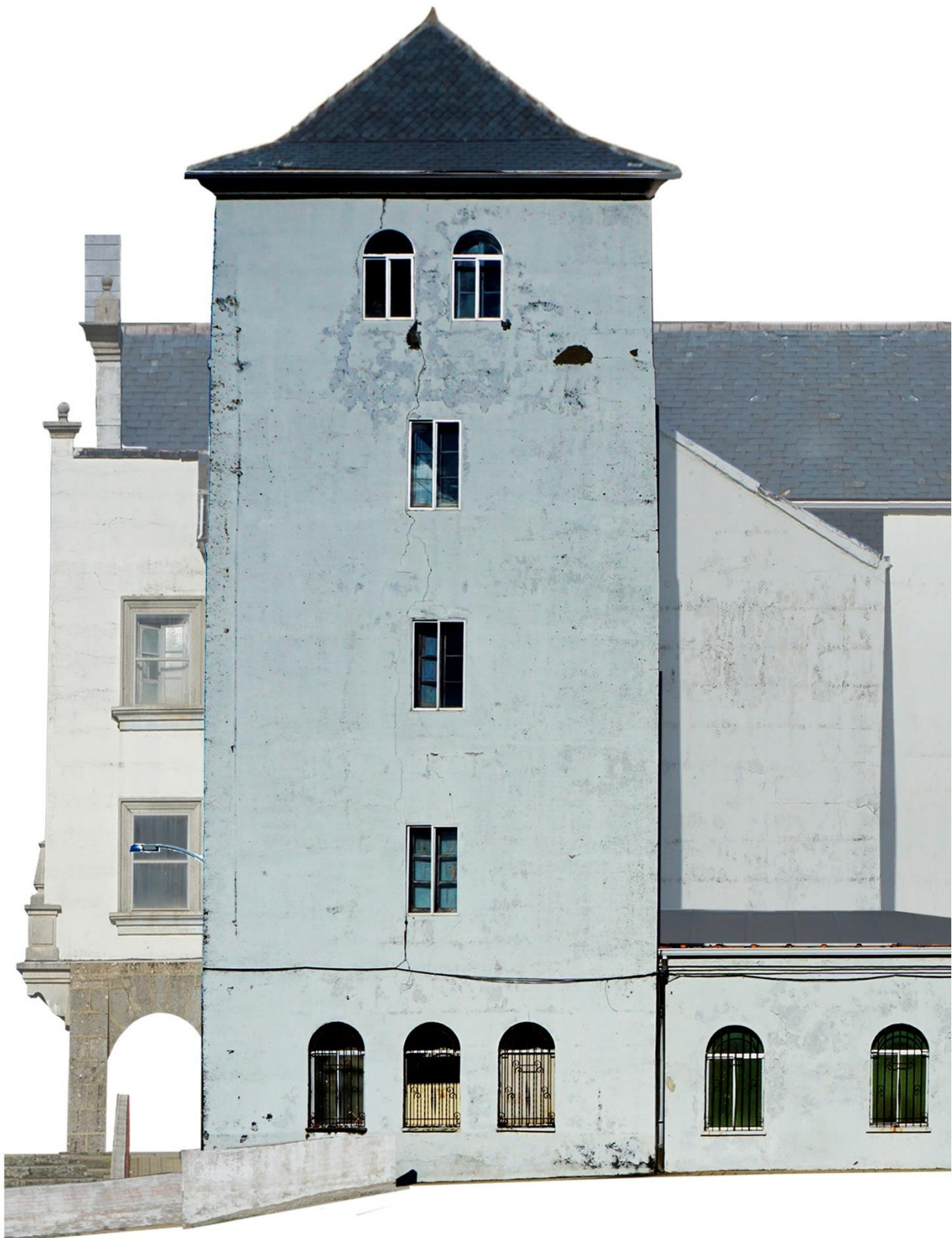
El alzado rectificado muestra un solo paño y una sola foto, la de la fachada suroeste. En él, se aprecia la grieta por la otra cara del muro, describiendo una dirección similar, pero no exacta, a la comentada en la sección.

- Planta baja: en esta planta, sigue sin apreciarse la grieta, ya que comienza más arriba.
- Planta primera: se comienza a notar una ligera grieta que arranca desde la esquina superior izquierda de la ventana⁶² de ésta planta y continúa ascendiendo verticalmente.
- Planta segunda: ahora la grieta se asocia a la jamba izquierda de la ventana y cuando pasa el vértice superior izquierdo cambia ligeramente de dirección y desaparece.
- Planta tercera: la grieta vuelve a aparecer debajo del vértice inferior izquierdo de la ventana de esta planta, describiendo una dirección vertical, coincidiendo con la jamba de dicha ventana.
- Planta cuarta: en su dirección vertical, la grieta se encuentra con la parte inferior derecha de una de las ventanas, desapareciendo bajo el alfeizar. Nuevamente, vuelve a aparecer asociada al dintel en arco de la misma ventana, continuando en vertical hasta la cornisa. Finalmente, dicha cornisa, presenta una grieta más a la izquierda, presentando una inclinación hacia la arista oeste.

En este alzado es donde se aprecian claramente dos aspectos: El primero, es la reafirmación del aumento del espesor de la grieta a medida que asciende y su ligazón con la parte más débil del muro, como son los huecos de las ventanas. Y, el segundo, es que la Torre no es un prisma perfecto, sino que, a partir de la planta tercera, incluida, los muros comienzan a remeterse. Este hecho queda corroborado con las dimensiones obtenidas en planta, ya que, en el paso de la planta segunda a la tercera y de la tercera a la cuarta, existe una reducción de unos 10 centímetros en las caras interiores de la Torre.

⁶² No confundir el cable que hay en la parte inferior de la ventana con una grieta.

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



ESCALA GRAFICA :



7.3.3. ANÁLISIS DE IMÁGENES

Las imágenes no forman parte de planos y no pueden ser medidas como las anteriores de la restitución fotográfica, sin embargo, aportan una información valiosa para el estudio.

En este sentido, se analizarán una serie de imágenes que tienen relación con lo comentado anteriormente.

1. Vigüeta y bóvedas agrietadas

Las siguientes imágenes corresponden a la vigüeta de planta primera situada más al sur, en la estancia de la izquierda de la sección.

Esta vigüeta se encuentra partida a 2,03 metros respecto de su apoyo en la fachada suroeste. Ésta grieta prácticamente coincide con el inicio de las grietas de las bóvedas que soporta.

Con la finalidad de determinar si la vigüeta ha girado en dicho punto agrietado, debido a algún esfuerzo horizontal, se emplea el nivel láser vertical. Se calibra, para que el rayo tenga dos puntos fijos, uno a cada extremo de la vigüeta, donde corta una de las aristas de la suela con el muro, es decir, en sus apoyos.

Posteriormente, se inserta la imagen en un programa de dibujo para emplear otras líneas auxiliares con el fin de demostrar la evidencia: la vigüeta presenta un ligero cambio de dirección en el punto de rotura.

Esto se aprecia cuando se coloca el rayo vertical en ambas aristas de la suela de la vigüeta: en el lado cóncavo, el rayo se sale ligeramente de la vigüeta, mientras que, en el convexo, es la arista de la vigüeta la que se sale hacia afuera del rayo.



Ilustración 42. Vigüeta agrietada con nivel láser vertical. Planta primera. Fuente: foto del autor.



Ilustración 43. Ampliación. Vigüeta partida y desplazada respecto de la referencia del láser. Fuente: foto del autor.

2. Vigüeta desprendida

La siguiente imagen corresponde a una vigüeta situada en planta segunda, la situada en relación al vértice sur de la Torre.

Como se aprecia, la suela de la vigüeta ha sufrido un desprendimiento. Dicha lesión se produce en el lado contrario al apoyo de la bóveda mayor⁶³, quedando expuestas las armaduras.

La grieta de ésta bóveda mayor coincide con el centro del desprendimiento a lo largo de la arista de la vigüeta, pero en el lado opuesto a ella, como se ha mencionado.



Ilustración 44. Vigüeta con suela desprendida. Fuente. Foto del autor.

⁶³ La bóveda mayor es la de la parte inferior de la imagen.

3. Vigüeta agrietada

La imagen a continuación mostrada, está tomada sobre una vigüeta de planta baja, la más cercana al vértice oeste de la planta.

Se aprecia como la vigüeta se ha agrietado presentando un ligero ángulo de apertura. Ésta grieta se produce a 0,64 metros respecto de la fachada suroeste.

El vértice del ángulo descrito, se encuentra del lado de la bóveda mayor⁶⁴, que está agrietada a escasos centímetros del mismo punto, mientras que la apertura está del lado de la bóveda menor.

Cuando se coloca el nivel láser con el rayo vertical, se evidencia el movimiento de la vigüeta, ya que el rayo se sale de la arista de la vigüeta, sin contar el guarnecido y enlucido de yeso.



Ilustración 45. Vigüeta agrietada formando un ángulo agudo. Planta baja. Fuente: foto del autor.

⁶⁴ La bóveda mayor es la de la parte superior de la imagen.

7.4. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico es el proceso mediante el cual se determina la "enfermedad" que padece un edificio, o una parte de él, a partir del análisis de la información recopilada con anterioridad.

En el caso que nos ocupa, la Torre Oeste del Colegio, se contemplaron inicialmente las siguientes hipótesis para dar explicación a las grietas producidas:

- Asiento diferencial⁶⁵ de la esquina oeste
- Giro de la fachada noroeste
- Sumatorio de empujes horizontales de las bóvedas

Sin embargo, tras la obtención y el análisis de los datos, todo indica que la grieta ha sido producida por la última hipótesis, el sumatorio de los empujes horizontales de las bóvedas tabicadas.

En lo que sigue, se desmontarán las dos primeras hipótesis y se reafirmará la segunda a partir de la digestión del análisis previamente elaborado.

⁶⁵ También se denomina descalce o cedimiento del terreno. Se explica más adelante.

7.4.1. HIPÓTESIS DEL "ASIENTO DIFERENCIAL" DE LA ESQUINA OESTE

Un asiento diferencial es una anomalía estructural que se produce cuando una parte de la cimentación desciende respecto de otra por la diferente resistencia del terreno.

Cuando esto se produce, aparecen grietas con mayor o menor intensidad en los elementos estructurales asociados a dicha cimentación. Éstas grietas no se producen de forma aleatoria, sino que tiene direcciones determinadas.

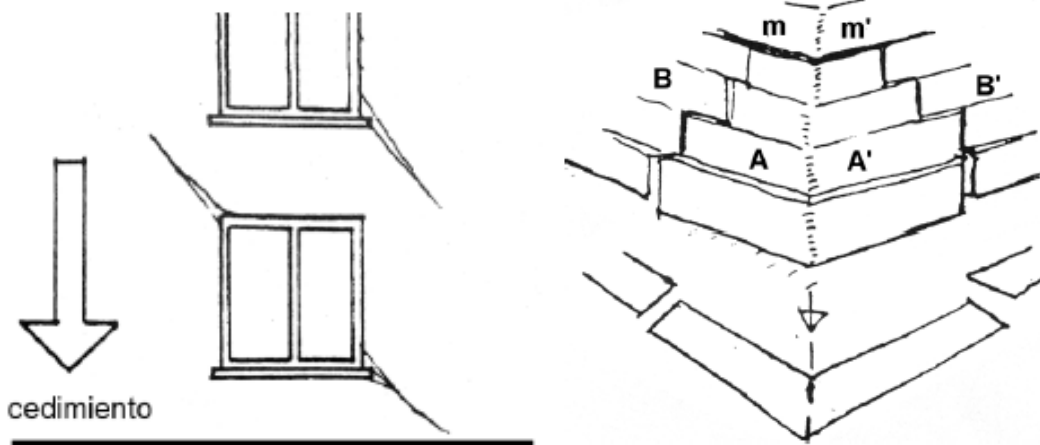


Ilustración 47. Izq. Asiento diferencial en esquina. Desprendimiento de témpano. (Rodríguez, 2004, pág. 35)

Ilustración 46. Dcha. Hundimiento del terreno. Grieta en vértices de huecos. (Rodríguez, 2004, pág. 51)

En el caso de la Torre, la cimentación se realiza sobre una gran roca granítica en la que se asientan los muros de carga, sin embargo, puede haber puntos en los que esta roca no esté presente y haya una diferencia de resistencia entre un punto y otro. Aunque se desconoce este aspecto, podemos considerar que la hipótesis del asiento o descalce se mantiene viva.

Para rebatirla, se acude a la posición y dirección de las grietas.

Como se aprecia en el análisis, el agrietamiento producido en la Torre presenta las siguientes características:

- Dirección predominantemente vertical, asociada a las jambas de las ventanas.
- Inicia su recorrido a partir de planta segunda.
- Su espesor aumenta a medida que asciende
- Sólo se produce en la fachada suroeste

Si se tratara de un asiento diferencial, la grieta tendría las propiedades a continuación enunciadas:

- Dirección predominantemente inclinada, asociada a los vértices de las ventanas.
- Iniciar su recorrido a partir de la cota del terreno o cerca de ella.
- Su espesor varía en forma de "rombo"⁶⁶.
- Se produciría en ambas fachadas de la esquina, la suroeste y la noroeste.

En consecuencia, al no coincidir el patrón de agrietamiento, queda descartada la hipótesis de asiento diferencial.

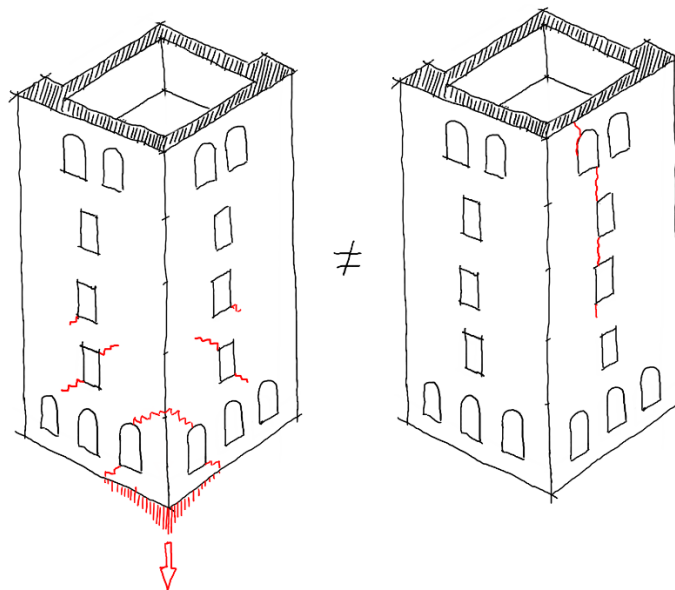


Ilustración 48. Comparación entre grieta por asiento y grieta de la torre. Dibujo del autor.

⁶⁶ Es decir, tiene mayor espesor en el centro que en los extremos.

7.4.2. HIPÓTESIS DEL "GIRO" DE LA FACHADA NOROESTE

Un giro, es una anomalía producida por el movimiento de la cimentación bajo un paño vertical del edificio, producida por la diferente resistencia del terreno en varios puntos bajo la cimentación.

Al igual que el asiento diferencial, se producen grietas en los paramentos verticales que también presentan direcciones conocidas.

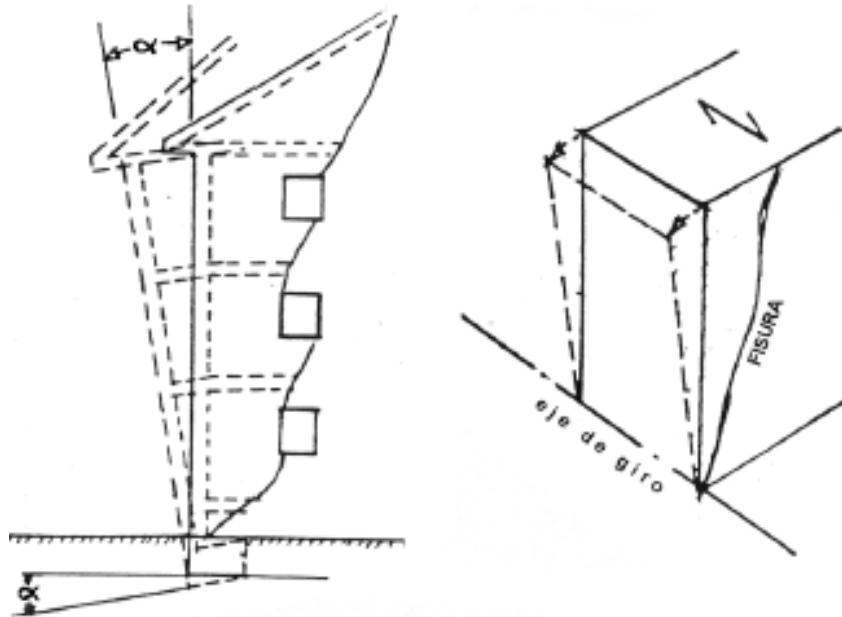


Ilustración 49. Agrietamiento de fachada por giro. (Rodríguez, 2004, pág. 36)

Como se dijo en la hipótesis anterior, el fallo en la cimentación o debajo de ella no se descarta porque no se conoce su naturalidad. De esta forma, la hipótesis del giro sigue siendo una opción a considerar.

Para desechar el fallo por giro, se recurre de nuevo a las grietas y sus características que, en la Torre, son las siguientes:

- Dirección predominantemente vertical, asociada a las jambas de las ventanas.
- Inicia su recorrido a partir de planta segunda.
- Su espesor aumenta a medida que asciende
- Sólo se produce en la fachada suroeste

Sin embargo, para que fuera un giro, la grieta debería tener las siguientes propiedades:

- Dirección ligeramente inclinada, en dirección opuesta al desplome.
- Iniciar su recorrido en el terreno o cerca de él.
- Su espesor aumenta a medida que asciende (la única coincidencia).
- Se produciría en la fachada suroeste y en la noreste.

De ésta forma, la hipótesis del giro de la fachada noroeste también queda descartada.

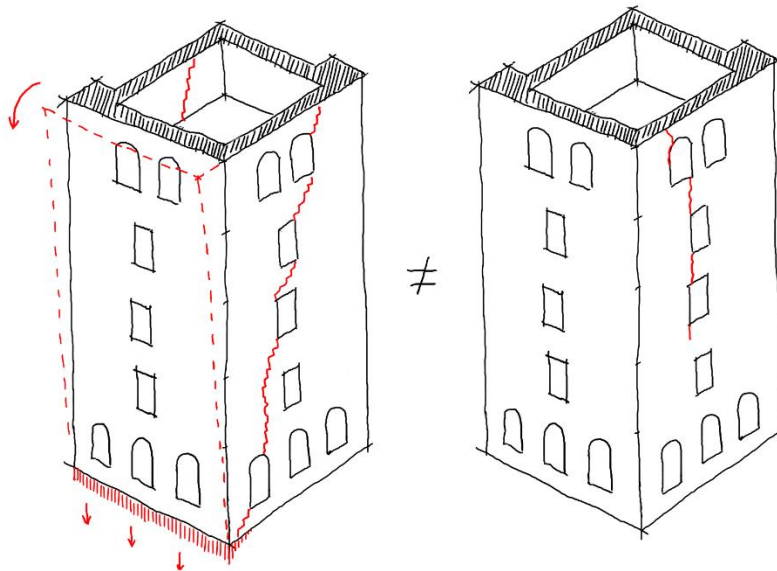


Ilustración 50. Comparación entre grieta por giro y grieta de la torre. Dibujo del autor.

Tras el desvalijado de las dos primeras hipótesis, todo parece indicar que la cimentación en este punto sigue estando toda ella apoyada sobre la roca granítica, sin la presencia de resistencias diferenciales.

7.4.3. HIPÓTESIS DEL "SUMATORIO DE EMPUJES HORIZONTALES" DE LAS BÓVEDAS TABICADAS

Los empujes horizontales son una cualidad intrínseca de las bóvedas⁶⁷, ya que tienden a desplazarse horizontalmente en sus apoyos. Si éstos empujes no son disipados, pueden afectar al sistema estructural global.

En el caso de estudio, la Torre Oeste, hay presentes bóvedas tabicadas en todas las plantas, por lo que la hipótesis enunciada es factible.

En consecuencia, en las líneas que siguen, se tratará de demostrar la veracidad de la hipótesis. Para ello, primero se recurre al análisis de los datos y, seguidamente, se resolverán una serie de preguntas que surgen del propio proceso de diagnóstico.

1. Diagnóstico a partir del análisis

Durante el análisis, se emplearon una serie de guiones para comentar los datos obtenidos. Algunos de éstos guiones son retomados y otros se introducen nuevos con la finalidad de explicar el proceso de diagnóstico:

- **Peralte insuficiente:** partiendo de las indicaciones de los tratadistas dedicados al estudio de las bóvedas tabicadas, se determina que el peralte de las bóvedas de ésta torre son insuficientes.

La recomendación dada para diseñar el peralte de éste tipo de bóvedas es que deben tener una altura de entre el octavo⁶⁸ y el décimo⁶⁹ de la luz a salvar.

Si atendemos a las luces de las bóvedas mayores, medidas entre viguetas, oscilan entre los 4,92 y 5,48 metros, por tanto, sus peraltes recomendados serían de unos 50 centímetros. Sin embargo, esto no es así: los peraltes medidos en éstas bóvedas van desde los 18,5 centímetros hasta los 29,5, muy lejos de cumplir el peralte aconsejado.

⁶⁷ Esto ya se ha explicado durante el desarrollo teórico del trabajo.

⁶⁸ Recomendación dada por Benito Bails.

⁶⁹ Ensayos realizados por D'Oliver y Fontaine o Guastavino.

- **Hundimiento pronunciado:** como el peralte de las bóvedas es insuficiente, se produce un ligero agrietamiento y descenso de la clave.

Dicho descenso, se produce en todas las bóvedas mayores de la torre estudiada y sus valores, van desde los 3 hasta los 5 centímetros. Este hundimiento es pronunciado, sobre todo en el suelo de planta cuarta, donde el descenso es apreciable a simple vista.

- **Empuje horizontal excesivo:** como la clave desciende, por geometría, el movimiento es trasladado a otra parte la bóveda. Dicha parte son los apoyos en las viguetas, que sufren un empuje horizontal perpendicular a su directriz.

La evidencia de que éstas bóvedas están empujando, se encuentra en las plantas donde las viguetas están partidas. En dichos puntos, las viguetas experimentan un giro en la dirección del empuje de la bóveda mayor, como se aprecia en el apartado "*Análisis de imágenes*".

- **Falta de zunchado⁷⁰:** como la bóveda empuja, ha de haber un mecanismo capaz de disipar dichos esfuerzos horizontales.

Ya que las viguetas de apoyo forman un cuadrado girado 45 grados respecto de la planta, cabría la posibilidad de que estuvieran unidas y formar un zunchado cerrado capaz de asumir las sollicitaciones horizontales, sin embargo, esto no se produce porque las viguetas son de hormigón prefabricadas y únicamente están empotradas en el muro.

Si estas viguetas fueran de acero, las uniones entre ellas hubieran sido posibles mediante palastros de acero, como propuso Guastavino.

- **Grieta pronunciada:** como no hay un zunchado, las viguetas empujan horizontalmente sobre el muro y lo agrietan.

Éste agrietamiento, no se produce en las plantas inferiores ya que, el empuje de una o dos bóvedas, carece de la fuerza suficiente como para sobrepasar la tensión de rotura de la fábrica, ayudada, además, por la componente vertical del sumatorio de las cargas

⁷⁰ Mecanismo de disipación de esfuerzos horizontales.

gravitatorias de las plantas superiores. Por ello, la grieta en el muro comienza a partir de la planta tercera, donde los empujes de las bóvedas inferiores se han ido sumando y los pesos superiores se han ido restando.

Además, hay que comentar la posición de la grieta en relación con la bóveda y las viguetas. Como se aprecia en el apartado "*Análisis de la restitución fotográfica*", el agrietamiento se va asociando planta por planta al apoyo de las viguetas sobre el muro afectado, ratificando el hecho de que son éstas las que transmiten los esfuerzos horizontales al muro.

En conclusión, tras desechar las dos primeras hipótesis y defender la tercera, se puede afirmar que la grieta de la fachada suroeste está producida por el sumatorio de los empujes de las bóvedas tabicadas.

2. Diagnóstico a partir de preguntas

A pesar de lo anterior, a lo largo del proceso de diagnóstico, surgen una serie de preguntas que pretenden ser resueltas a continuación:

- **¿Por qué no han aparecido grietas en las demás torres?:** es la primera pregunta que se viene a la mente, es decir, porqué de las cuatro torres solo hay una afectada. La respuesta tiene que ver con lo diagnosticado:

Ninguna de las otras torres tiene en todas sus plantas bóvedas de éste tipo, por lo que no es posible que el sumatorio de empujes horizontales se produzca en una misma dirección.

Además, en las plantas que aparecen, presentan un peralte cercano a los 50 centímetros, por lo que sus empujes horizontales no son tan acusados.

- **¿Por qué no han aparecido grietas en la esquina Este y Norte?:** centrándonos en la propia torre, surgen también preguntas relativas a ella, que tienen que ver con las esquinas o fachadas donde no se han producido grietas.

Para responder a esta pregunta, hay que fijarse en la composición general del edificio. Como se aprecia en planta, las esquinas Este y

Norte de la torre, forman parte del final del ala noroeste del edificio. Por esta razón, cualquier empuje horizontal será transmitido y asumido por este cuerpo del edificio.

- **¿Por qué no han aparecido grietas en la esquina Sur?:** ésta pregunta es similar a la anterior, no obstante, tiene una respuesta diferente:

En la esquina Sur no hay ningún ala que pueda servir de apoyo a la torre, pero si hay un cuerpo capaz de asumir esfuerzos horizontales: se trata del machón que discurre a lo largo de la arista de la torre hasta la cimentación y sobre el que se apoya la principal cercha de madera de la cubierta. Dicho machón actúa a modo de contrafuerte y disipa los esfuerzos horizontales, componiéndolos con la vertical hasta la cimentación.

- **¿Por qué no han aparecido grietas en la fachada Noroeste?:** se trata de la pregunta más difícil de responder, puesto que se necesita acudir a agentes externos.

En principio, la esquina o arista Oeste es la más desprotegida por la ausencia de cuerpos de apoyo capaces de mitigar los esfuerzos horizontales dimanantes de las bóvedas, por lo que ambas fachadas, la noroeste y la suroeste, son susceptibles de ser agrietadas.

Sin embargo, hay un factor externo a tener en cuenta: el "Viento Serrano". Se trata del viento presente durante la mayor parte del año, procede de la sierra y su dirección es Suroeste - Noreste. Este viento azota a barlovento la fachada Suroeste, lamiendo la esquina Oeste y produciendo la succión en la fachada Noroeste. Además, al tratarse de una edificación elevada, sobre un cerro y sin edificaciones próximas, su exposición a esta acción es notable.

De éste modo, el viento y su fuerza constituye el factor que da respuesta a la última pregunta.

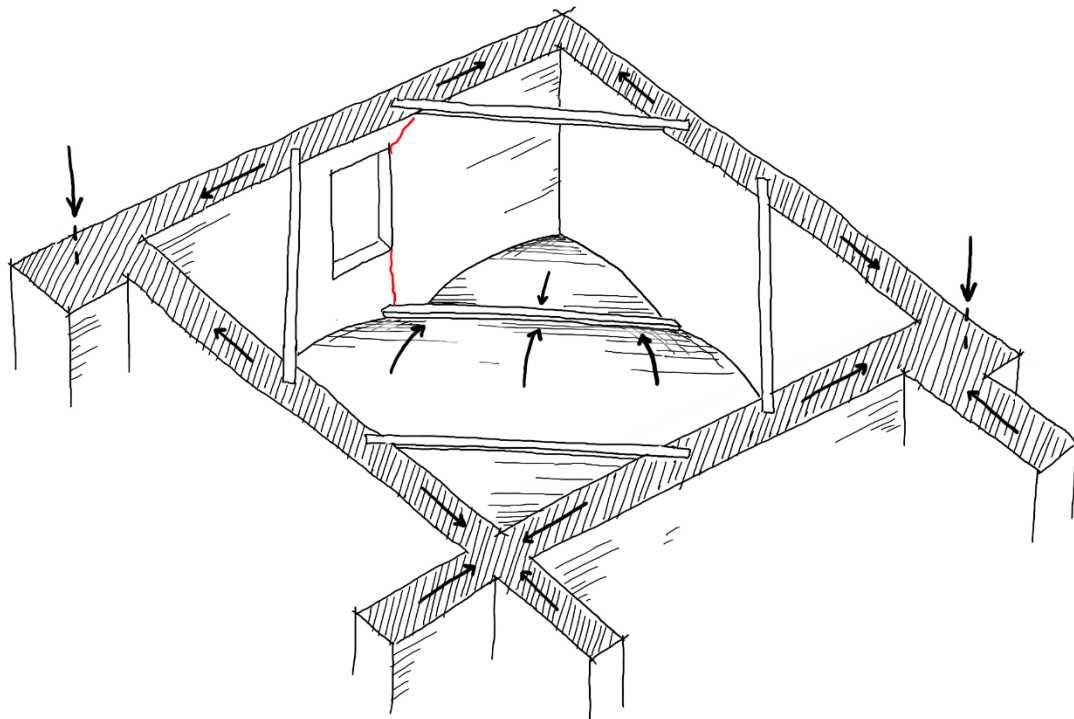


Ilustración 51. Fuerzas actuantes en la Torre Oeste. Dibujo del autor.

8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN LA TORRE OESTE

Una vez realizado el diagnóstico y detectada la "enfermedad", el siguiente paso es ponerle remedio a través de los distintos medios conocidos.

Hay veces que la solución basta con realizar una intervención sobre lo existente, alterándolo en mayor o menor medida, sin embargo, en ocasiones, es necesario demoler y reconstruir de nuevo las partes dañadas.

En el caso de la Torre Oeste, como se ha enunciado en el apartado de "Diagnóstico", las bóvedas carecen de un peralte suficiente en relación con la luz que cubren, lo que hace que su clave se hunda, se agrieten y sus empujes horizontales sean mayores, agrietando a su vez el muro de la fachada suroeste.

A demás de esto, algunas viguetas se encuentran partidas, sus armaduras oxidadas y algunas suelas presentan desprendimientos.

Ante ésta casuística, se antoja complicado intervenir conservando tanto las bóvedas como las viguetas, puesto que parten de un error de base. Por lo tanto, la solución es demoler las bóvedas y reconstruirlas de la forma más fidedigna posible a la anterior.

8.1. DECISIONES DE PROYECTO

Una vez determinada la solución, la pregunta que surge es cómo hacerlo y para ello, se toman una serie de medidas proyectuales:

- El **peralte** de la bóveda mayor ha de tener 50 centímetros de altura como mínimo, siguiendo las indicaciones geométricas establecidas por los tratadistas mencionados con anterioridad. Medida que obliga a cambiar de cota las viguetas a una inferior, para que el suelo entre la Torre y el ala noroeste este nivelado y evitar poner un escalón de acceso en cada planta de la Torre.
- Las **viguetas** tienen que estar unidas entre sí, formando un todo continuo para garantizar que la correcta transmisión de tensiones entre ellas, con la finalidad de disipar los empujes horizontales

de las bóvedas y no transmitirlos al muro, evitando así la continuación del agrietamiento.

En este sentido, se abren dos posibilidades: colocar viguetas de acero, o de hormigón pretensado, como las anteriores.

La primera opción es la que mayor facilidad y diversidad de uniones presenta, por ejemplo, colocando una pletina suficientemente dimensionada, entre alma y alma de los extremos de las viguetas, quedando embebida en el muro entre los apoyos de las mismas y siendo disimulada por el acabado interior.

Sin embargo, se opta por ser fiel al sistema constructivo original y emplear viguetas de hormigón pretensadas. Para su unión se podría usar también una pletina, en vez de soldada, anclada mecánicamente al alma de las viguetas. Otra opción sería tender tensores de acero entre las cabezas de las viguetas⁷¹. Sin embargo, esta opción puede desgarrar las cabezas de las viguetas por lo que se decide realizar un zuncho de hormigón armado. De esta forma, las cabezas de las viguetas quedan embebidas en el mismo, trabajan solidariamente y están más protegidas.

- La **bóveda** se realizará en base al levantamiento previo, empleando el mismo aparejo, dimensiones de piezas, espesores y luces. Además, se colocará una tongada de mortero bastardo de 5 cm sobre la segunda vuelta de rasillas para garantizar que la línea de presiones quede confinada dentro de la sección de la bóveda.
- Las **lengüetas** se dispondrán de la misma forma que la actual, es decir, siguiendo la dirección de la curvatura de los gajos de la bóveda, con la finalidad de sofocar los esfuerzos puntuales o las cargas asimétricas. Así mismo, servirá de medio para la colocación del pavimento superior.
- La **grieta** de la fachada suroeste se sellará con resina y tatará con el mismo acabado que el actual al exterior.

⁷¹ Esta opción también es válida ya que, en la unión entre viguetas, el "zuncho" trabaja únicamente a tracción y no ha de soportar flexiones.

8.2. DECISIONES DE EJECUCIÓN

Una vez establecidas las medidas proyectuales, lo siguiente que hay que hacer es pensar cuál va a ser el proceso de la obra:

1. **Encinchar** la torre con perfiles metálicos auxiliares de alquiler, para evitar que la torre siga agrietándose durante el proceso de derribo y construcción de las bóvedas.
2. **Apuntalar** todas las bóvedas para evitar su hundimiento durante el derribo progresivo.
3. **Derribar** todas las bóvedas y viguetas de arriba hacia abajo, realizándolo con medios manuales para evitar el colapso repentino, y extraer los escombros por las ventanas. Ir desapuntalando a medida que se desciende.
4. **Replantear** la nueva cota de las viguetas, garantizando que la cota de suelo acabado esté a la misma altura que la del ala noroeste.
5. **Colocar** viguetas y armadura de zunchos en los mechinales y rozas previamente replanteadas.
6. **Encofrar** los mechinales y rozas dejando un hueco para verter el hormigón.
7. **Hormigonar** el espacio vacío mediante hormigón fluido y vibrar para que el sistema quede unido solidariamente.
8. **Construir** las bóvedas de abajo hacia arriba según el levantamiento previo, empleando mano de obra especializada, dos plantillas bidireccionales y andamiaje como medios auxiliares.

De esta forma, se daría por concluida la intervención en la Torre Oeste, solventando los problemas de las viguetas, las bóvedas y la consecuente grieta del muro.

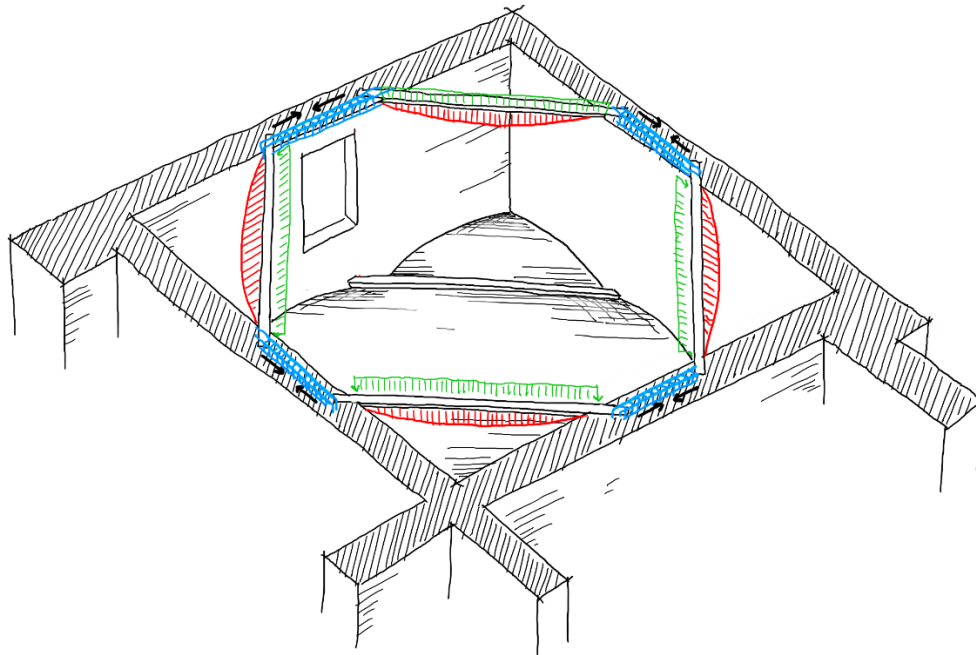


Ilustración 52. Fuerzas actuantes tras la intervención. Dibujo del autor.

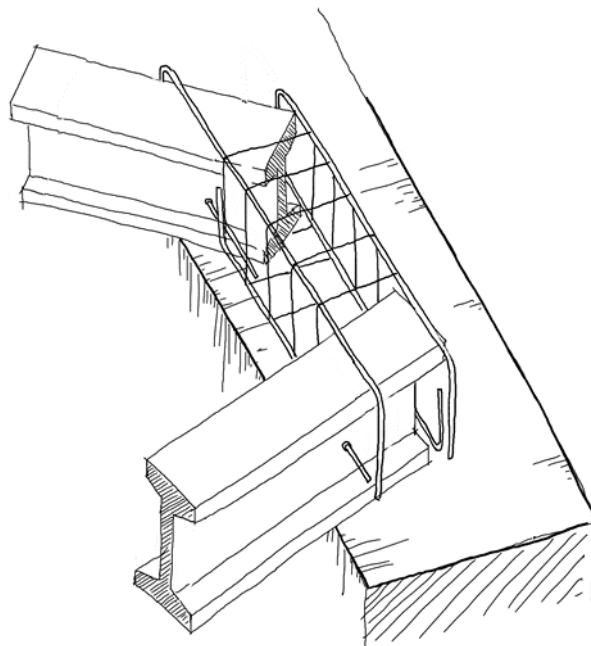


Ilustración 53. Unión de viguetas mediante zuncho de hormigón. Dibujo del autor.

9. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo, se han ido estudiando las bóvedas tabicadas desde sus antecedentes, pasando por su forma de construcción y sus características hasta el caso particular del Colegio estudiado.

Durante el proceso, se han ido hilando cuestiones que han ayudado a entender un poco más tanto las propias bóvedas como el Colegio.

En relación a dicho proceso, se pueden extraer estas conclusiones:

- El estudio de los antecedentes, junto con la documentación histórica del edificio, permite **establecer la relación entre el año de inicio de construcción del Colegio**, que fue en 1948, con una serie de **publicaciones** que retomaban la técnica de las bóvedas tabicadas **durante la postguerra**, una época de escasez economía donde el acero se empleaba en sitios puntuales. Una de éstas publicaciones es la de Luis Moya Blanco, producida en 1947, por lo que todo parece indicar que el Arquitecto del Colegio tendría "a mano" dicho libro, como muestran las semejanzas entre las bóvedas construidas y los dibujos del mismo.
- El análisis y clasificación de los diversos tipos de bóvedas tabicadas que hay en el edificio, permite **descifrar la secuencia de las fases constructivas producidas durante el levantamiento del Colegio**. Por ejemplo, el ala noroeste es la última que se construyó, puesto que las bóvedas se comienzan a apoyar sobre pilares de hormigón armado, más caros que los arcos de fábrica. Este hecho fue corroborado por dos datos: el testimonio de uno de los albañiles nonagenarios presentes en la obra y el hallazgo de una esquila durante una cata en una bóveda de la cubierta, cuya fecha es de 1957, año de finalización de las obras.
- El estudio detallado de la Torre Oeste ha consistido en su levantamiento pormenorizado mediante la recopilación de datos "in situ", a partir de los cuales se ha realizado un análisis y un diagnóstico. Éste, permite **demostrar la existencia de empujes horizontales en las bóvedas tabicadas**, hecho que fue puesto en duda por algunos tratadistas como Benito Bails y defendido por otros

como Santiago Huerta. Tanto es así, que la grieta producida en la Torre estudiada, tiene una estrecha relación con las bóvedas que la forman y sus empujes horizontales.

Finalmente, y en relación a lo que el trabajo ha supuesto para el autor, se establece una conclusión-opinión relativa al tema tratado:

Las bóvedas tabicadas constituyen un sistema constructivo que permite crear una gran diversidad de formas con la simple unión de piezas más pequeñas. Éstas están fabricadas mediante la cocción de tierra, un material barato, ecológico y accesible por doquier. Son colocadas de manera artesanal y, confiando en la pericia de los albañiles, dan lugar a verdaderas obras de arte que, desgraciadamente, han sido opacadas por el hormigón armado y el acero.

Por lo tanto, pienso que la artesanía y los materiales humildes deben superar en ciertas ocasiones a la tecnología y los materiales industriales.

10. BIBLIOGRAFÍA

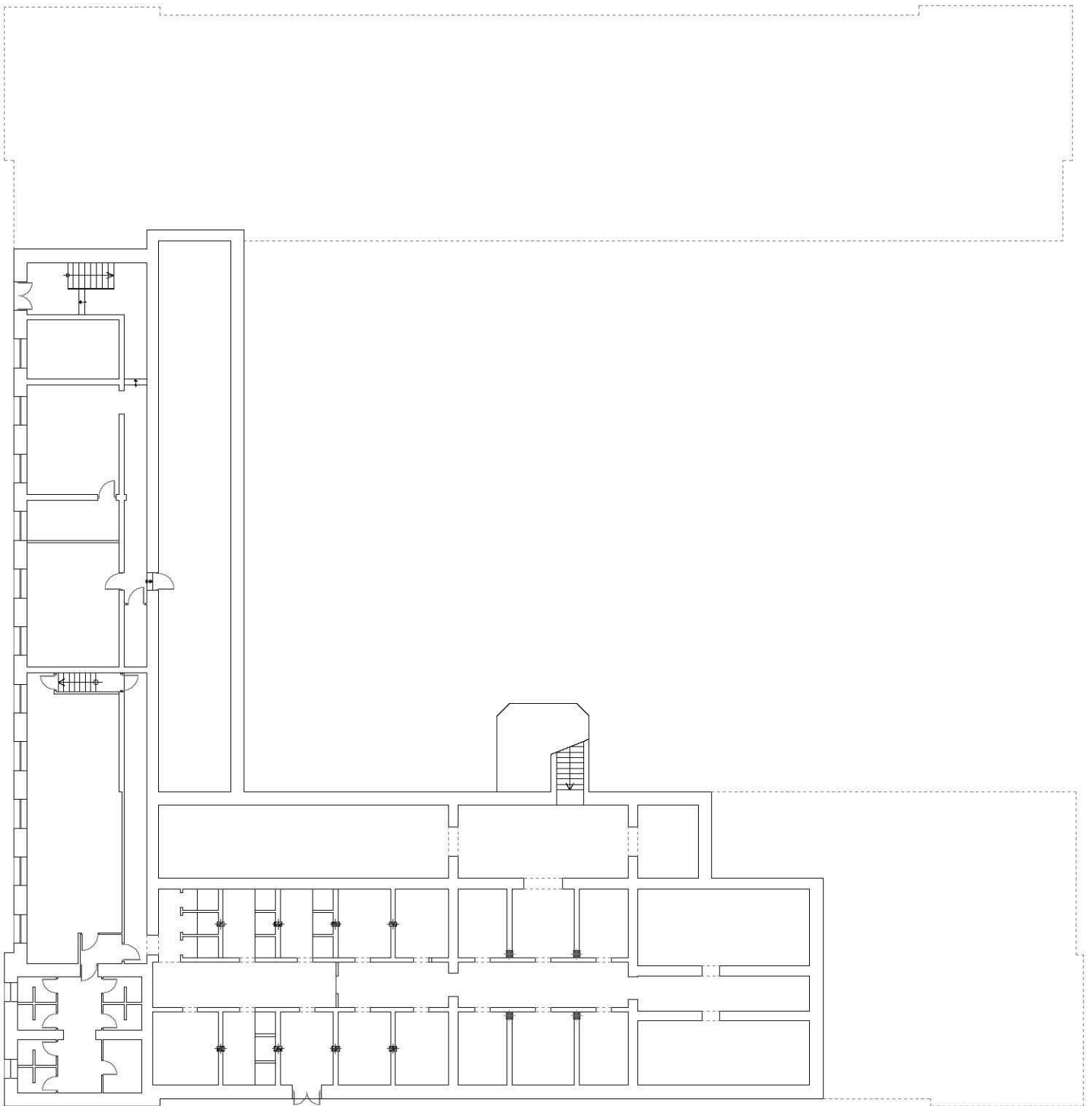
- Bails, B. (1802). *Diccionario de Arquitectura Civil*. Madrid: La viuda de Ibarra.
- Barba, J. J. (2014). Exposición. Museum City of New York. *Metalocus*.
- Basterra, L.-A. (2019). *Técnicas de restauración de los edificios históricos*. Valladolid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid.
- Blanco, L. M. (1947). *Bóvedas Tabicadas*. Madrid: Ministerio de la Gobernación. Dirección general de Arquitectura.
- Bühler, D. (2017). La constructora "Hermanos Rank" y la introducción de las bóvedas tabicadas en Munich a partir de 1947. *Décimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 215 - 224). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Giménez, S. (1947). *Boletín Oficial Eclesiástico de la Diócesis de Salamanca*. Salamanca: Imprenta Comercial Salmantina.
- González, J. L., Casals, A., Sanmartí, C., & Onecha, B. (2011). Los sistemas de estribado de las bóvedas tabicadas del hospital de Sant Pau Barcelona: tirantes, zunchos y pórticos. *Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 583 - 592). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Guastavino, R. (1893). *Essay on the theory and history of cohesive construction, applied especially to the timber arch*. Boston: Ticknor and Company.
- Gurrea, M. F. (1841). *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*. Valencia: Imprenta de Cabrerizo.
- Huerta, S. (1990). *Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España, ca. 1500- ca.1800*. Madrid: E.T.S. Arquitectura de Madrid.
- Huerta, S. (2001). La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico: la aportación de los Guastavino. En S. Huerta, *Las bóvedas de Guastavino en América* (págs. 87-112). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Huerta, S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Huerta, S. (2017). Las bóvedas tabicadas en Alemania. La larga migración de una técnica constructiva. *Actas del Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano, Noveno Nacional, de Historia de*

- la Construcción* (págs. 759 - 772). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Leicher, J. d. (2015). Al límite de la tradición. La arquitectura moderna en las bóvedas tabicadas de la Feria de Campo, Madrid 1950. *Noveno Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 461 - 470). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Luna, M. F., & López Bernal, V. (2007). Bóvedas tabicadas: Mitos. *Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 315 - 323). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Martínez, E. R. (2013). *La bóveda tabicada en España en el siglo XIX. La transformación de un sistema constructivo*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Moreira, M. (2 de Febrero de 2019). Rafael Guastavino, el arquitecto español que reinventó Nueva York. *El Independiente*.
- Moreno-Navarro, J. L. (2000). Configuración constructiva y comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas. Estudio de dos edificios abovedados del siglo XIX en el Baix Llobregat (Barcelona). *Tercer Congreso de Historia de la Construcción* (págs. 437 - 441). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Mosteiro, J. G.-G. (1996). El sistema de bóvedas tabicadas en Madrid: de Juan Bautista Lázaro (1849-1919) a Luis Moya (1904-1990). *Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 231-241). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Mosteiro, J. G.-G. (2000). Las bóvedas tabicadas de Guastavino: forma y construcción. *Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (págs. 365 - 374). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Rodríguez, V. (2004). *Manual de patología de la edificación*. Madrid: Departamento de Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Madrid.
- Truño, Á. (2004). *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

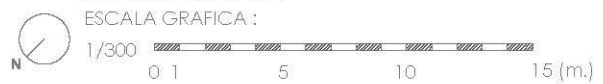
ANEJO 1. PLANOS

Los planos a continuación expuestos, tanto plantas como alzados, son el resultado del levantamiento propio del autor del trabajo en base a los datos recopilados "in situ", sirviendo como material de apoyo las plantas proporcionadas por la Junta de Castilla y León.

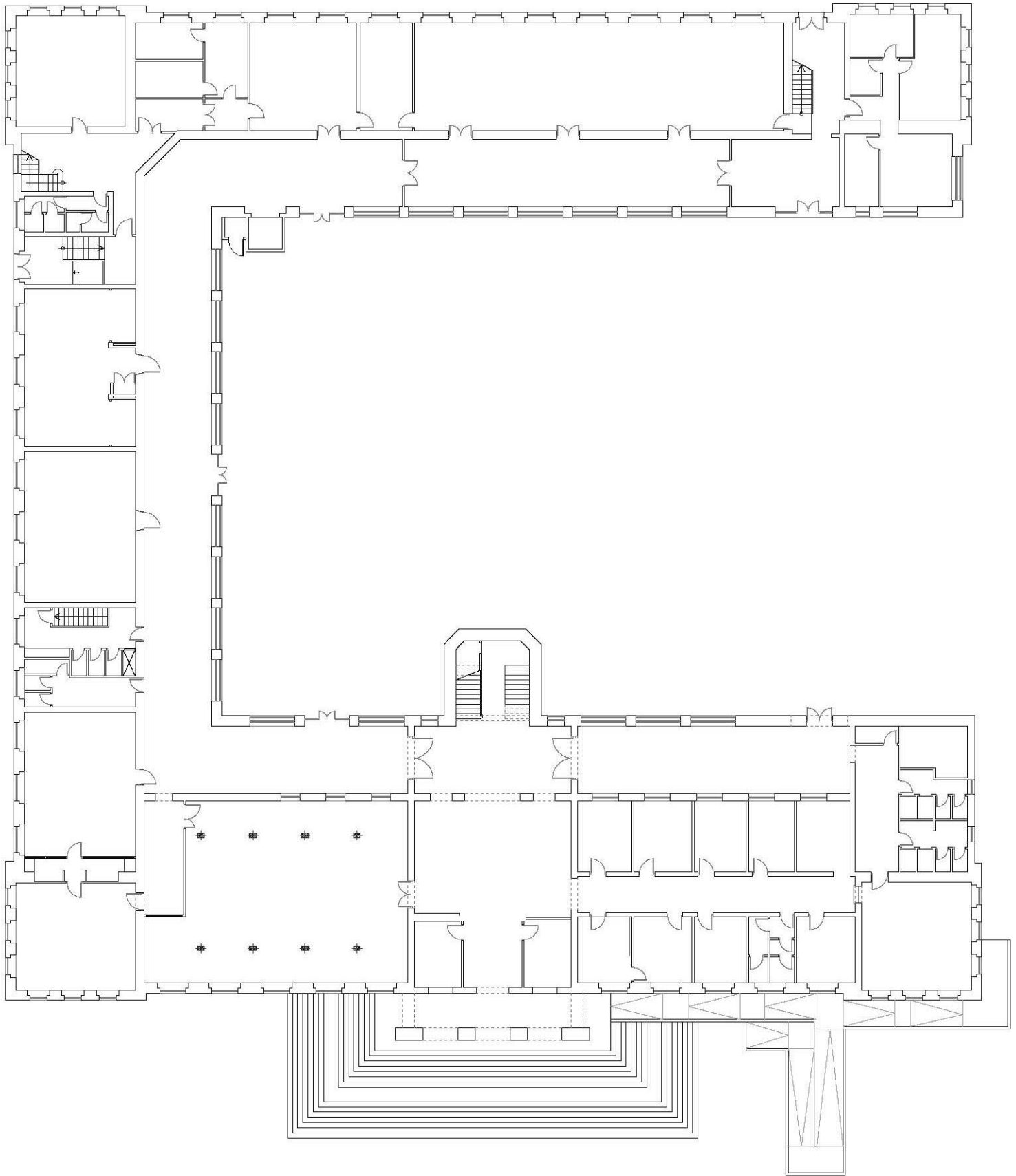
Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



PLANTA SÓTANO

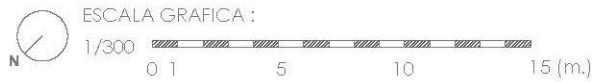


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

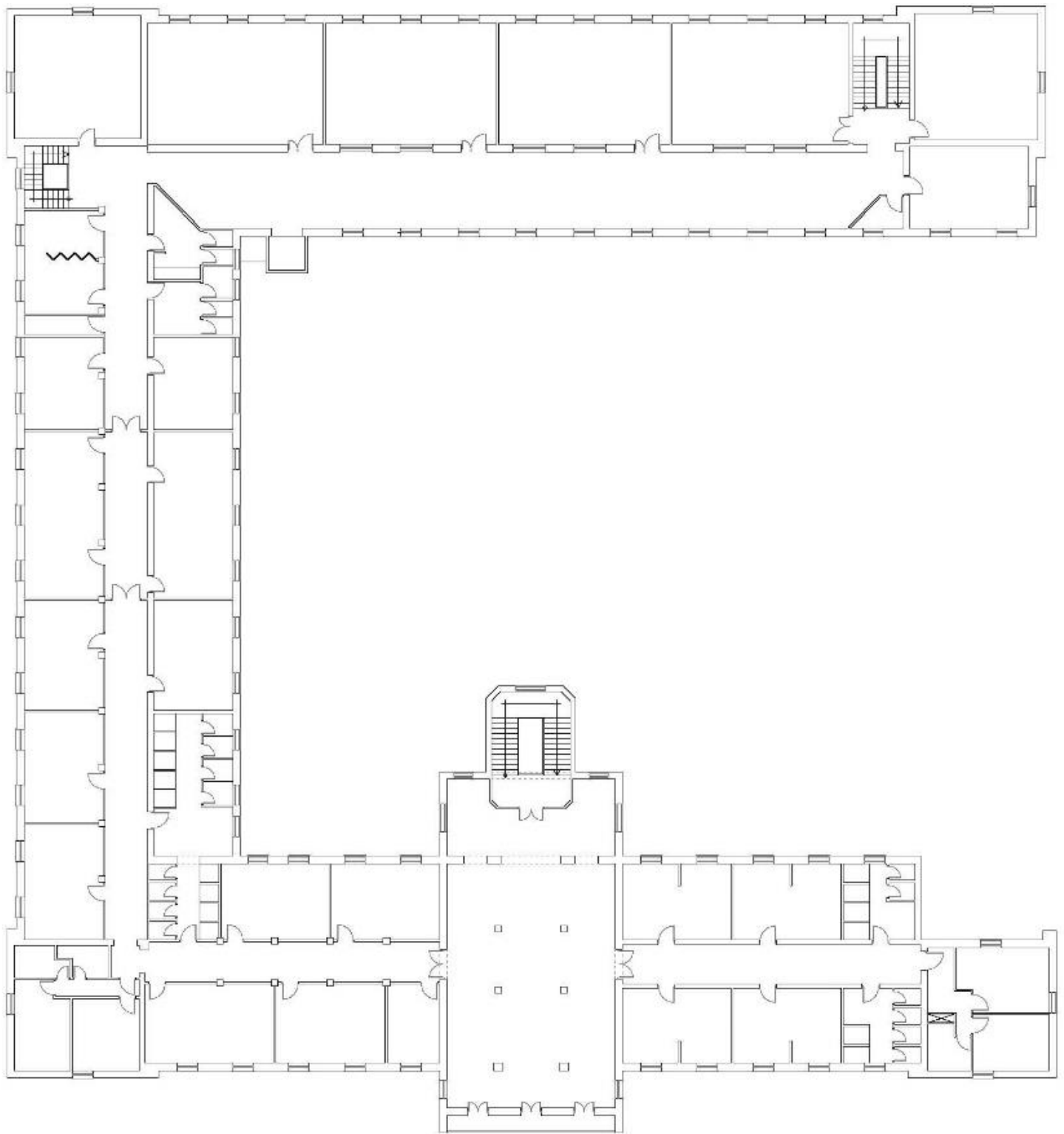


PLANTA BAJA

ESCALA GRAFICA :

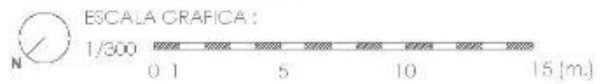


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

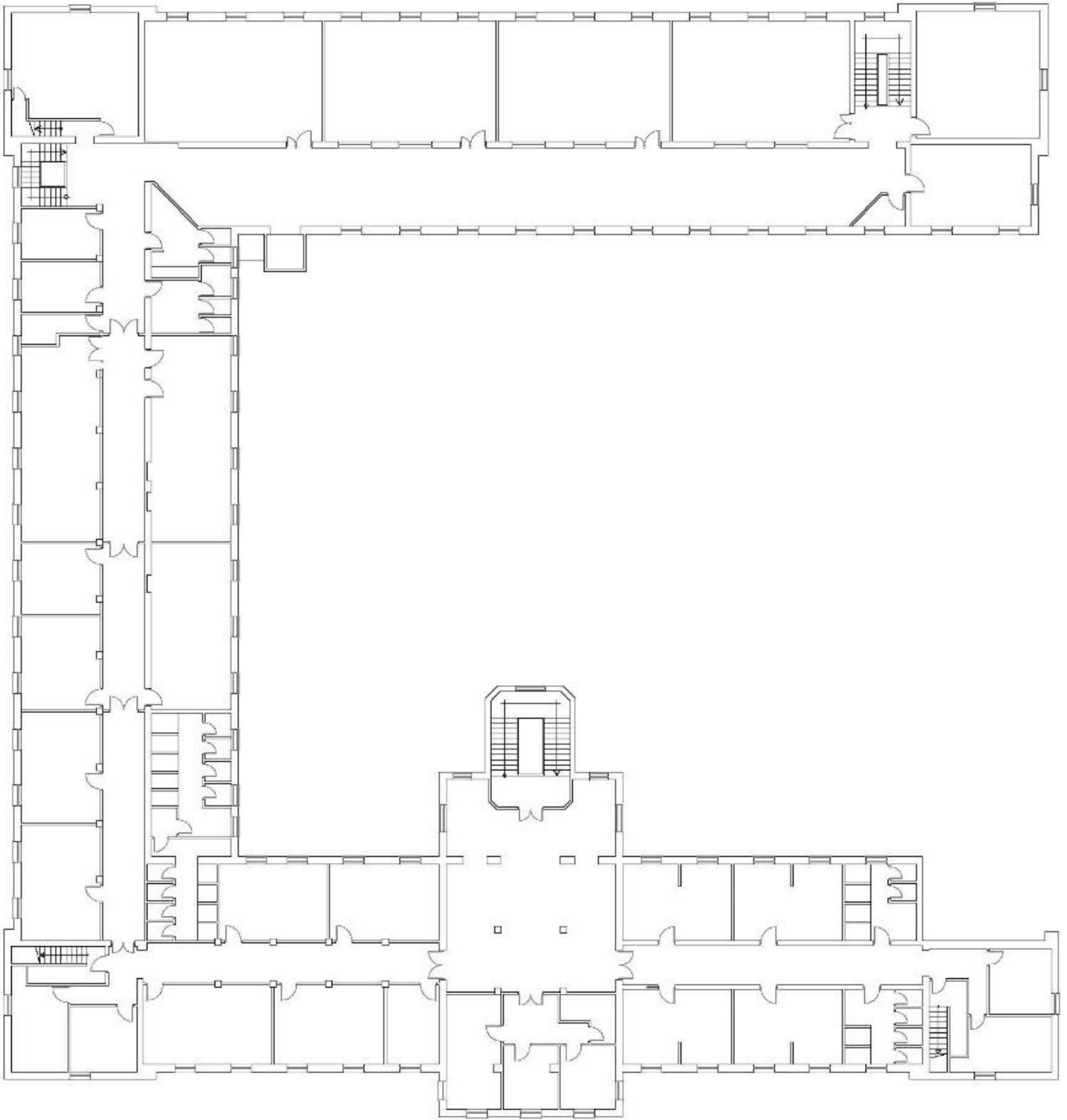


PLANTA PRIMERA

ESCALA GRAFICA :

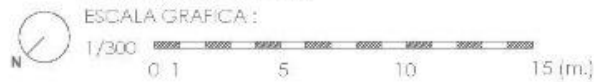


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

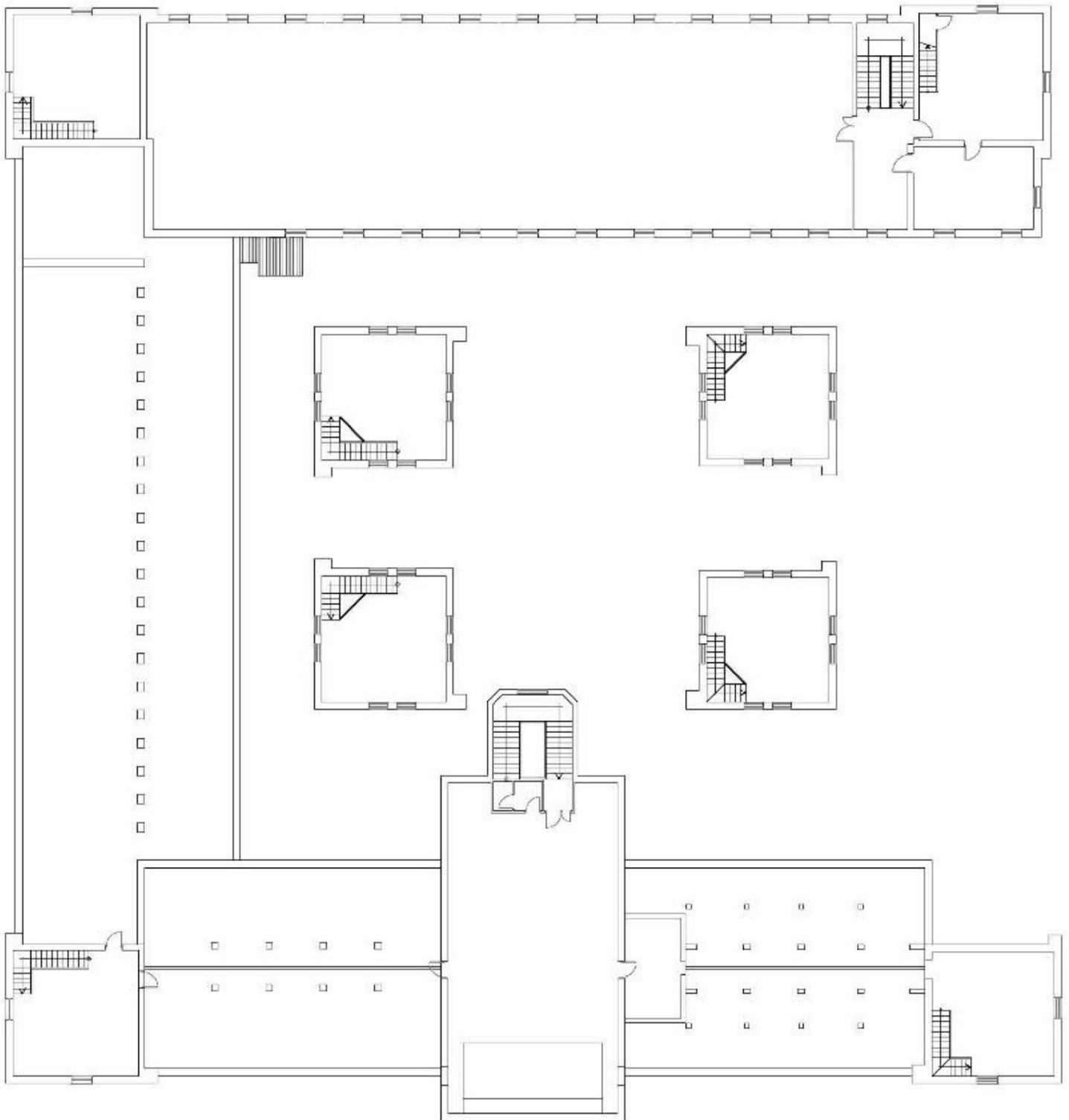


PLANTA SEGUNDA

ESCALA GRAFICA :



Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

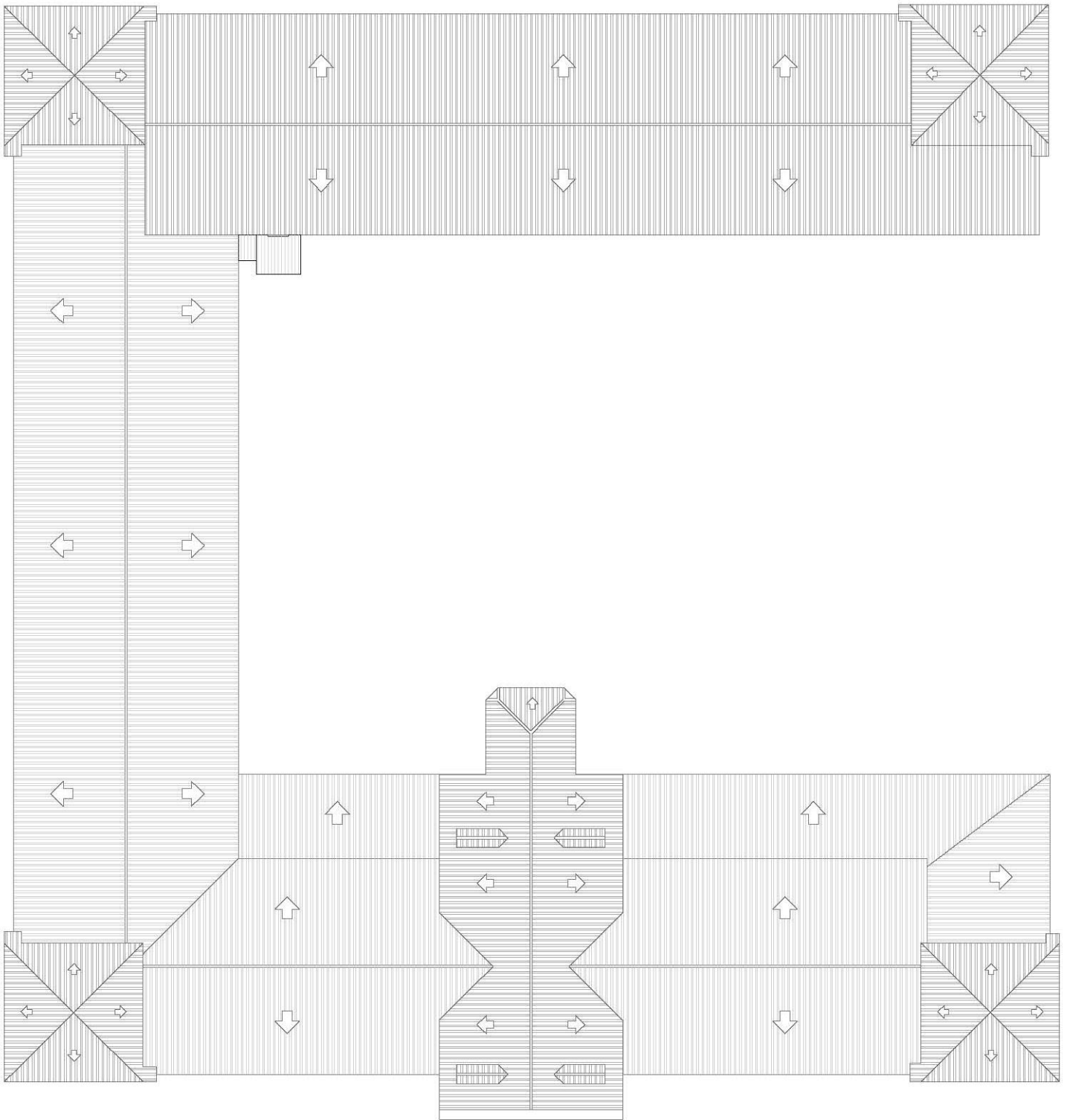


PLANTA TERCERA Y BAJOCUBIERTA

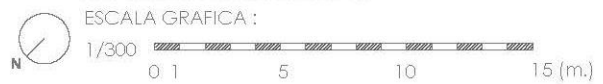
ESCALA GRAFICA:



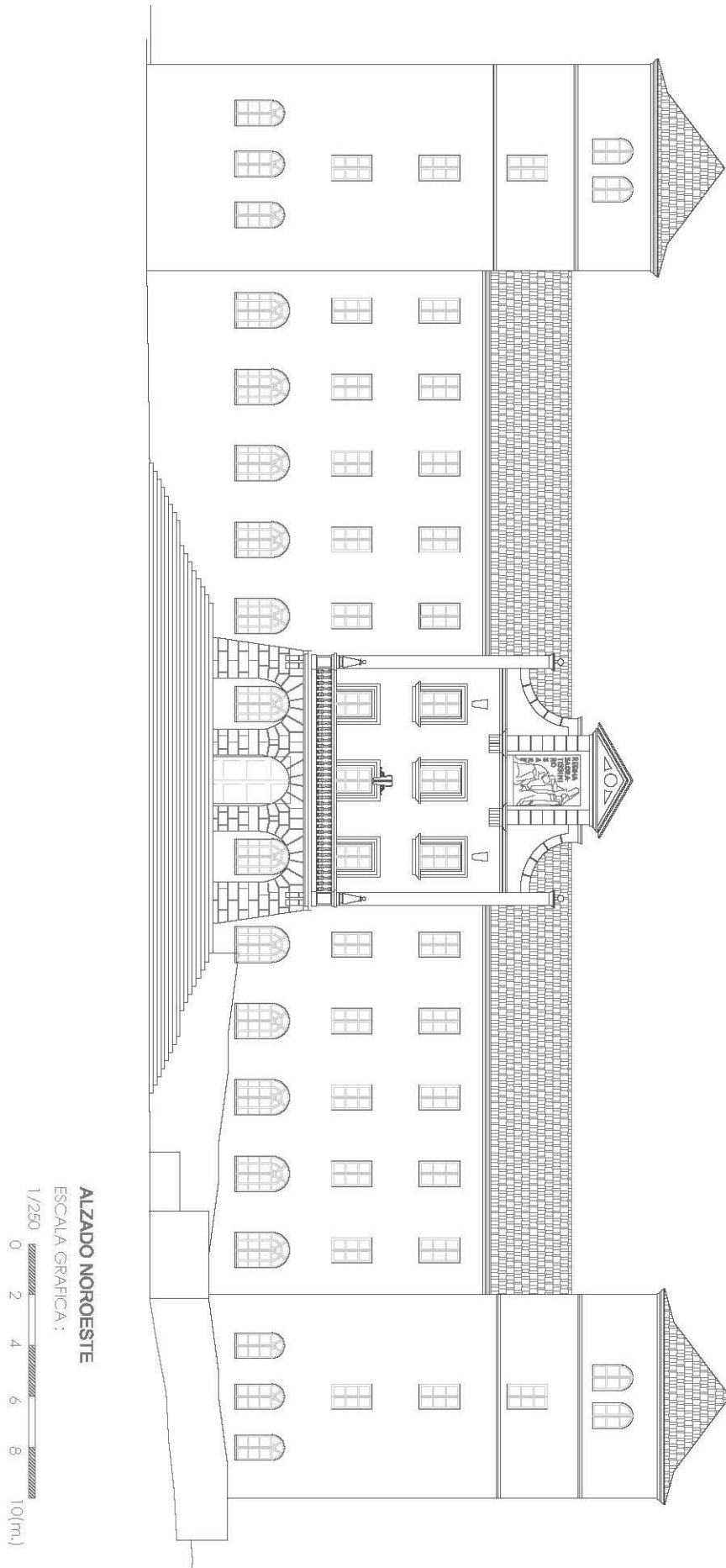
Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



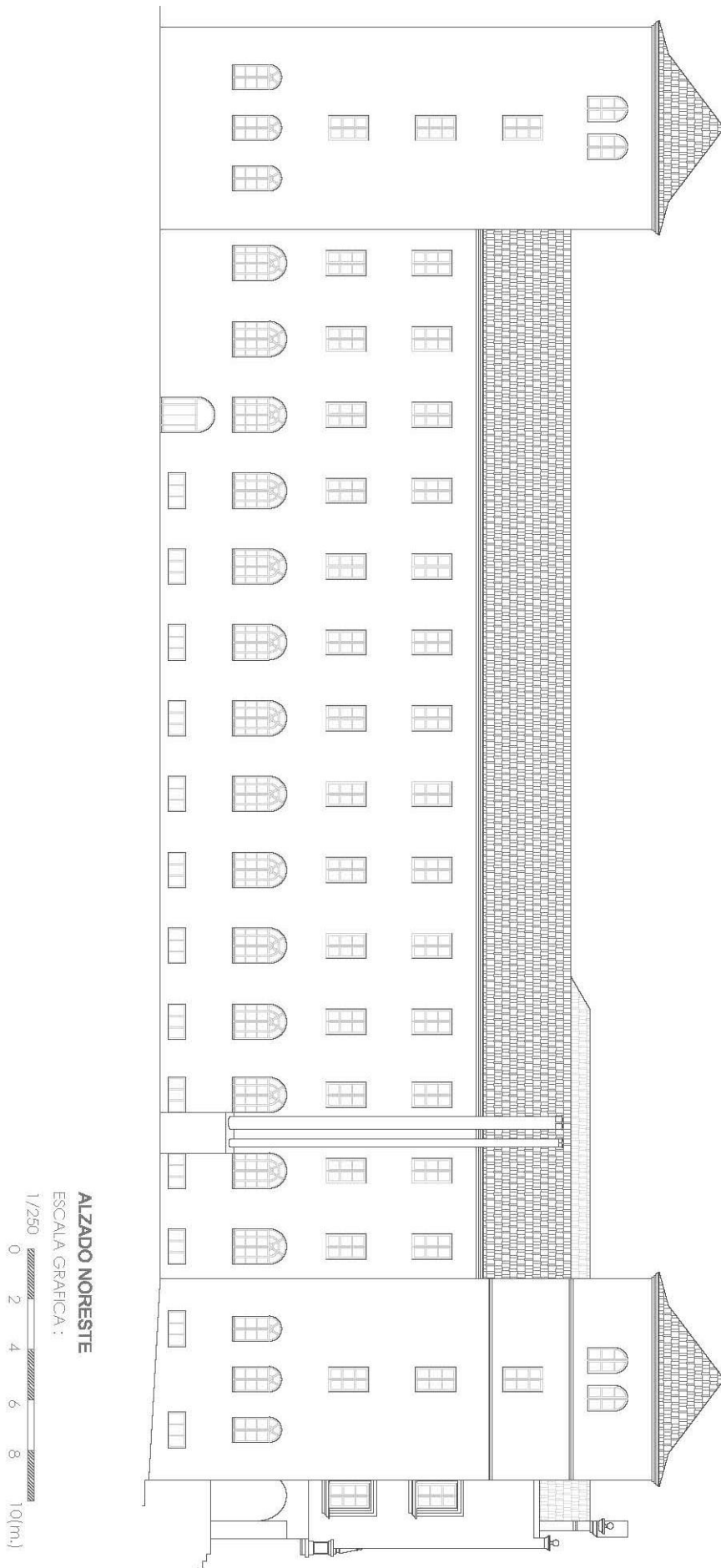
PLANTA DE CUBIERTAS



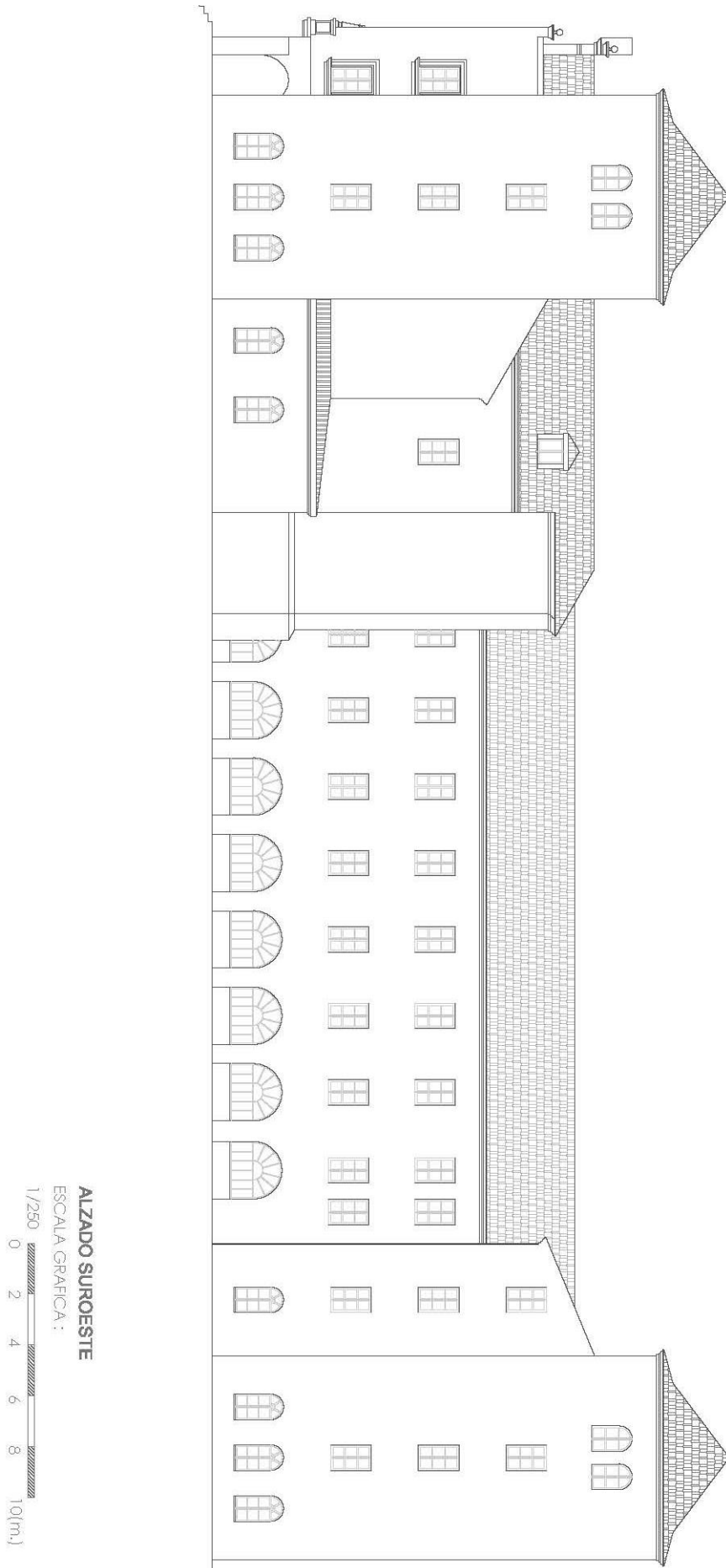
Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

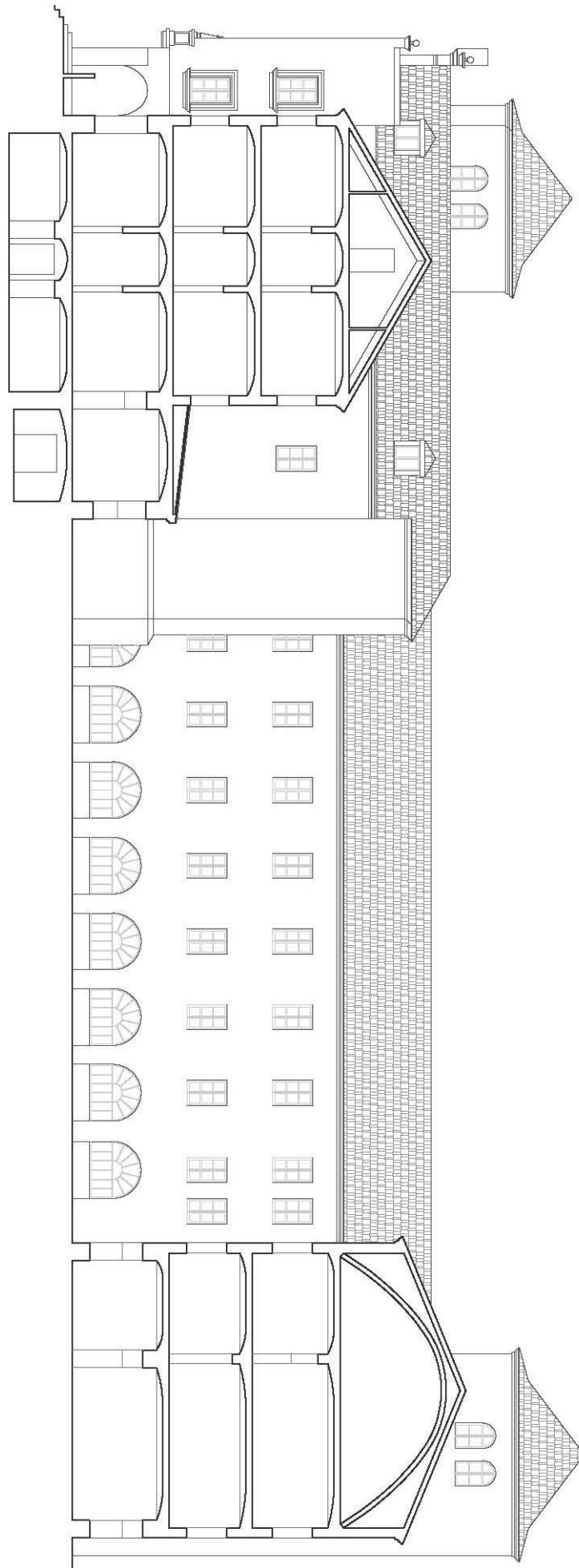


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

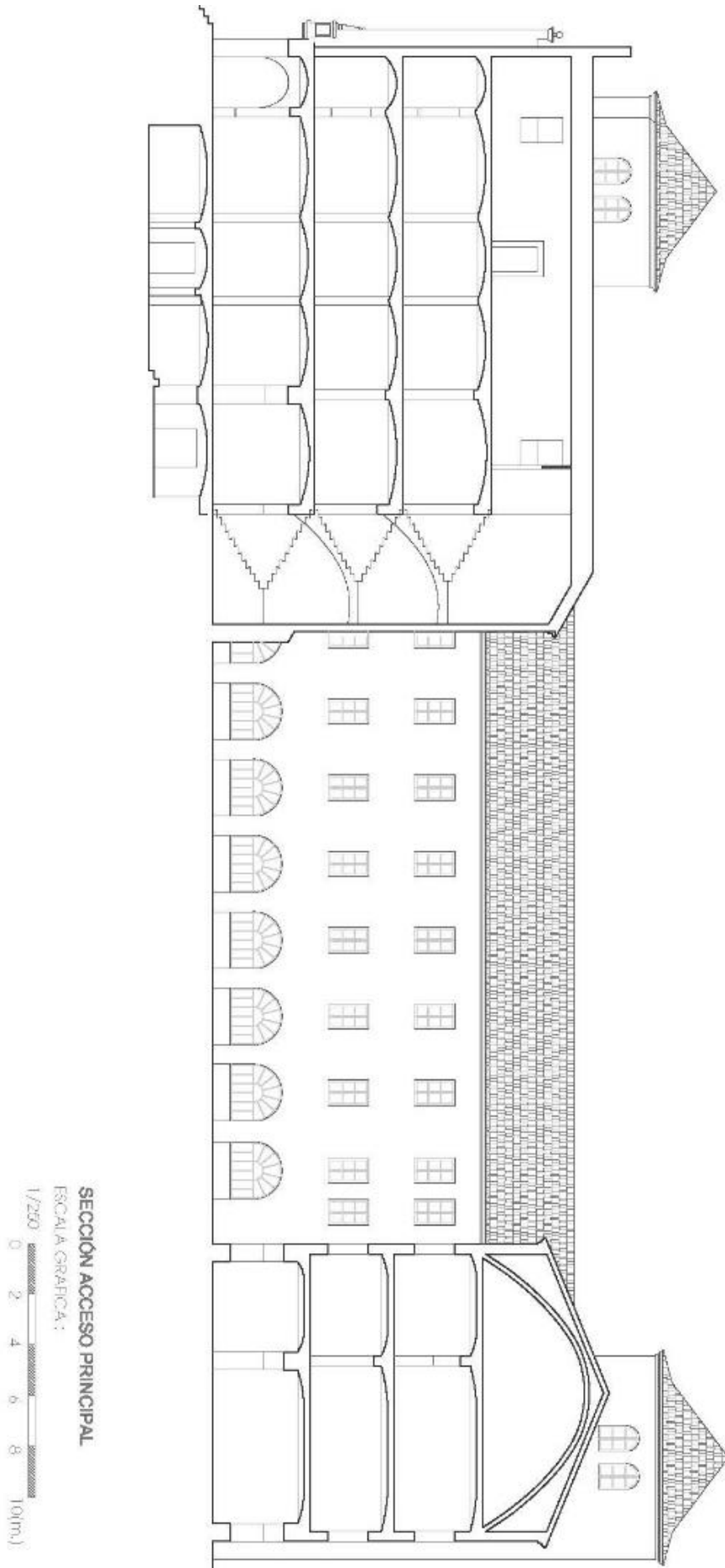


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca

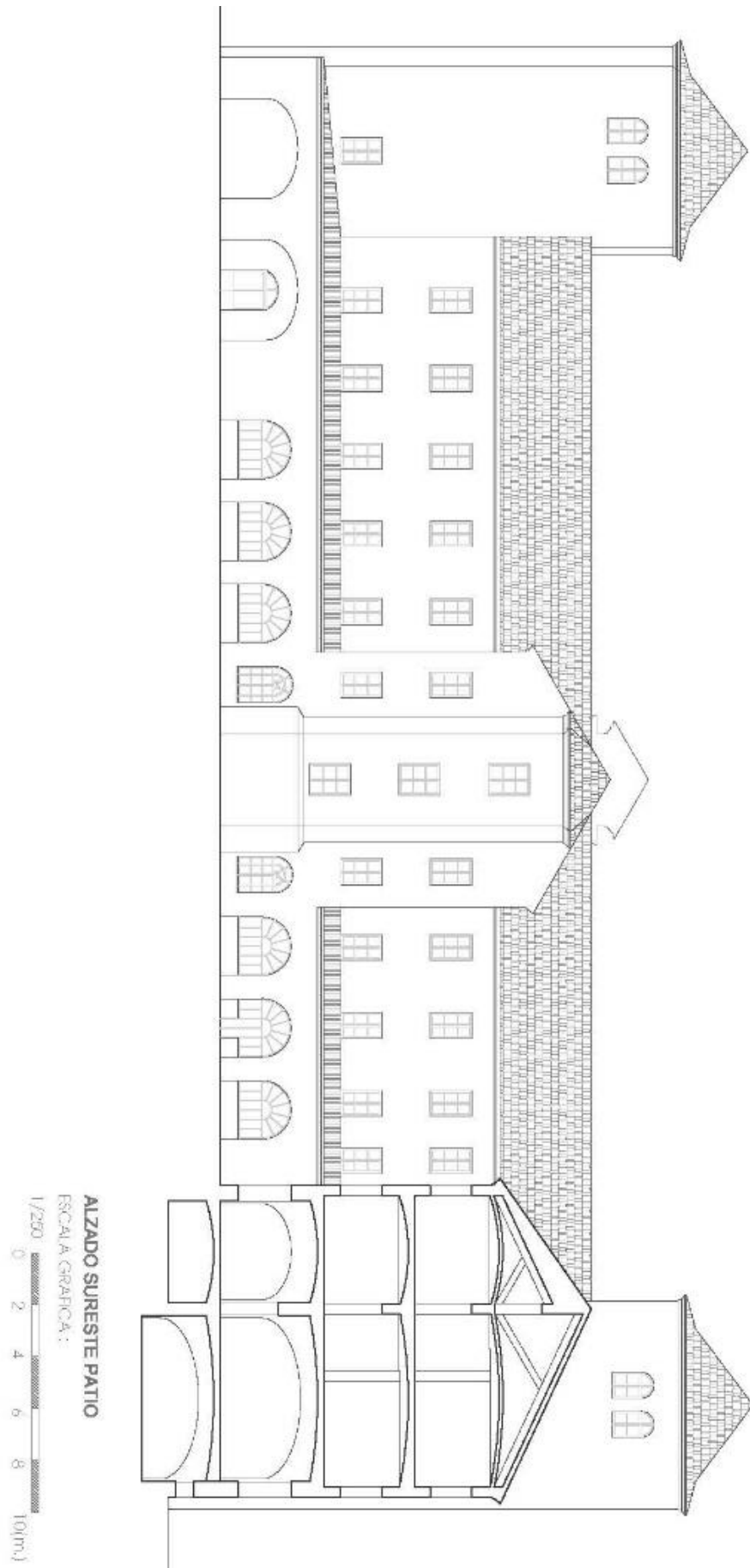




SECCIÓN ALAS NOROESTE Y SURESTE
ESCALA GRÁFICA :
1 / 250
0 2 4 6 8 10(m.)

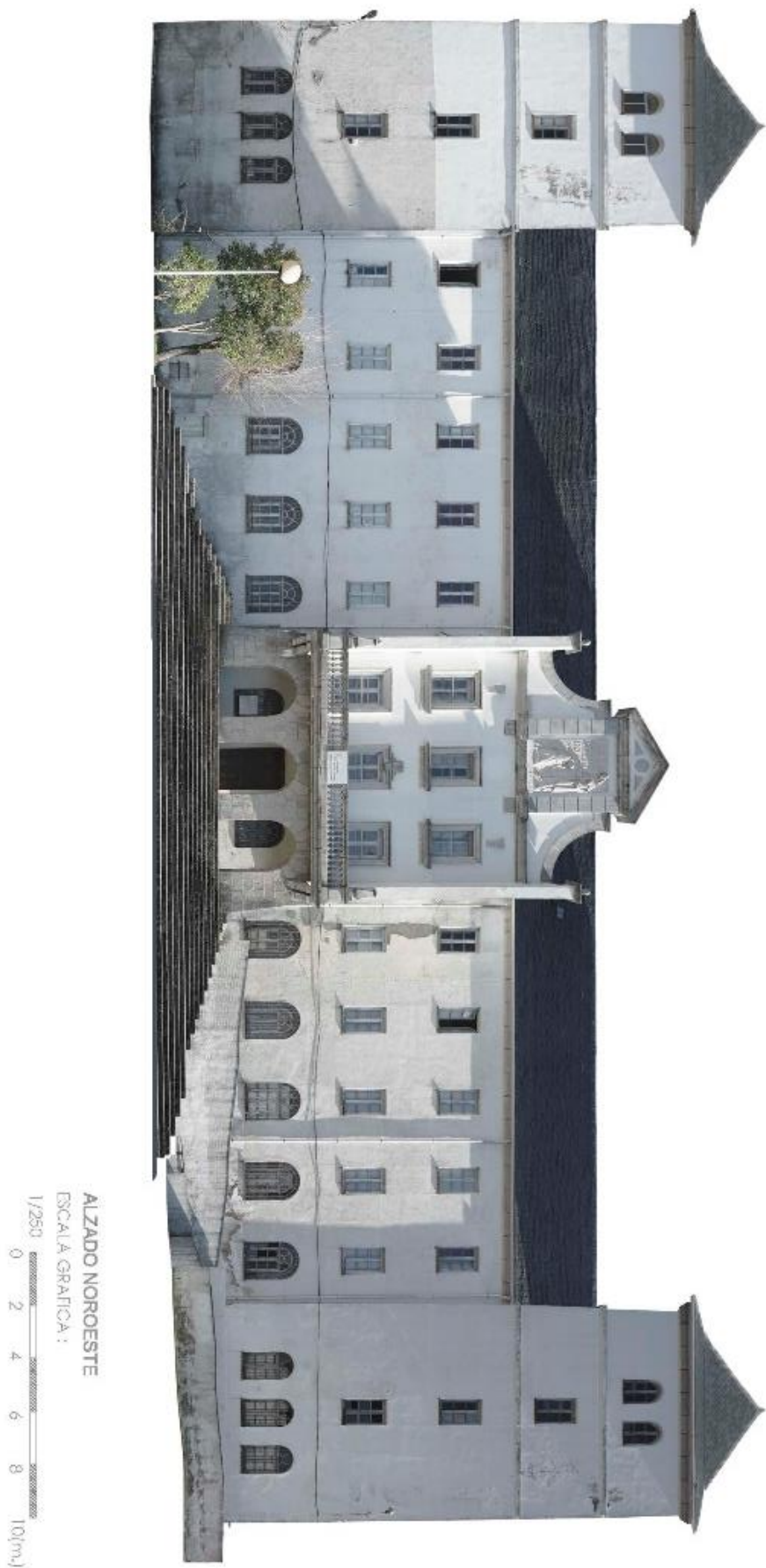


Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



ANEJO 2. ALZADOS RECTIFICADOS

Los alzados rectificados a partir de la restitución fotográfica, han sido también producto de este trabajo y de otro realizado durante el 5º curso de la carrera, con la ayuda de Javier Roperó Giralda.





ALZADO SURESTE PATIO
ESCALA GRÁFICA :
1/250
0 2 4 6 8 10(m.)

Estudio constructivo de bóvedas tabicadas.
El caso del Colegio Nuestra Señora del Rosario en Linares de Riofrío, Salamanca



ANEJO 3. DOCUMENTOS HISTÓRICOS

La documentación histórica encontrada es la que a continuación se muestra. Parte de ella ha sido aportada por la Universidad Complutense de Salamanca y la otra parte ha sido fruto de la investigación en internet.

BOLETIN OFICIAL DEL OBISPADO DE SALAMANCA

Año 104

Octubre, 1957

Núm. 10

Sección Oficial

Documentos Episcopales

CIRCULAR acerca de la Cruzada del Rosario en Familia

«Días de cielo los que he pasado en Salamanca durante la semana de los actos finales de la Cruzada del Rosario en Familia». Así se expresaba el R. P. Peyton al despedirse. «No me olvidaré nunca de Salamanca», repelía con frecuencia.

Efectivamente han sido días de cielo los de la preparación, los de los triduos, los de las concentraciones. Las reuniones comarcales de los Sres. Párrocos para tratar de los medios más eficaces para promover en sus feligresías el rezo del santo Rosario, la incansable y delicadísima actuación de las Misioneras Seculares, el infatigable celo, la inagotable actividad y la prudencia desarrolladas por el P. Cándido Aniz, Delegado diocesano de la Cruzada, la colaboración de los religiosos de varias Órdenes, la predicación de los Sacerdotes en los triduos, el esfuerzo y entusiasmo desarrollados en las concentraciones, hicieron que la Diócesis de Salamanca, toda al unísono, como un solo corazón, viviera espiritualmente al lado de nuestra Madre, la Sma. Virgen; lo cual es vivir en la tierra-vida del cielo. Las numerosísimas confesiones purificadoras de las conciencias, y las comuniones vivificadoras y fortificadoras de los espíritus, convirtieron la Cruzada en general misión de amor, atraídos los corazones por el amor de nuestra Madre.

«Salamanca por el Rosario» clamaban los entusiastas jóvenes de Guijuelo y su comarca, al despedir al P. Peyton.

Esto es lo que buscábamos al proponer al P. Peyton la Cruzada del Rosario en Familia en nuestra Diócesis: acercar los corazones a María para que Ella reine en nuestros hogares, con el recuerdo diario de los misterios del Rosario y la repetida invocación a Nuestro Padre que está en los cielos y a nuestra Madre, llena de gracia, para que ruegue por nosotros.

Universidad Pontificia de Salamanca

— 202 —

celentísimo Nuncio de Su Santidad, ha sido nombrado Prelado Doméstico el Director de las Obras Misionales Pontificias en España, Ilustrísimo Monseñor don Angel Sagarminaga.

Crónica Diocesana

Solemne Bendición del Seminario Menor de Linares de Riofrío por el Excmo. y Rvmo. Sr. Nuncio Apostólico en España

Hace nueve años el Excmo. y Rvdmo. Sr. Obispo de la Diócesis, Dr. Fr. Francisco Barbado Viejo, O. P., bendecía y colocaba la primera piedra del Seminario de Verano de la Diócesis en Linares de Riofrío.

Lo que entonces parecía sólo un símbolo, se convirtió al correr de los últimos años en la preciosa realidad de un magnífico edificio, orgullo de Linares, gracias a la ayuda del Señor y a los desvelos y entusiasmo del Prelado, a los que correspondió la Diócesis toda y, de manera especial, la Villa de Linares con la donación de los terrenos y otras generosas aportaciones.

Las necesidades y circunstancias de los últimos años han hecho que lo que iba a ser Seminario Diocesano de Verano, se convirtiera a la vez en Seminario Menor de la Diócesis desde el presente Curso.

Como el Seminario de Linares no había tenido propiamente inauguración oficial, debido, entre otras cosas, al no haber terminado de manera definitiva sus obras y dado el nuevo carácter que iba a tener, el Rvdmo. Prelado de la Diócesis invitó al Excmo. y Rvdmo. Sr. Nuncio Apostólico para la bendición del nuevo edificio, quien, con la amabilidad que le caracteriza, accedió gustosísimo y complacido.

Linares recibió lleno de júbilo y alegría la noticia y desde el primer momento comenzó los preparativos para recibir lo más dignamente posible al representante de Su Santidad el día 21 de septiembre.

A las once de la mañana llegó el Nuncio acompañado del Prelado de la Diócesis a la plaza de la Villa, donde le esperaban las autoridades provinciales Excmo. Sres. Gobernador Civil, Presidente de la Diputación y Alcalde de Salamanca, Ayuntamiento y demás

— 203 —

autoridades de Linares, Arquitecto y constructores, Ingeniero Jefe del Distrito Forestal, Ayudante de Montes, D. Francisco Poudereux, Consiliario, Presidente y varios miembros de la Junta Diocesana de A. C. y otras representaciones de la Capital; Sr. Párroco Arcipreste de Linares con los Párrocos de las Parroquias vecinas y todo el pueblo de Linares, que vibrante de entusiasmo y lleno de emoción aplauden y vitorean con cariño al Papa y al Nuncio, mientras éste saluda y es cumplimentado por las Autoridades.

Desde la plaza el Excmo. Sr. Nuncio y demás Autoridades con todo el vecindario se dirigieron a pie al Seminario, en cuya puerta principal fueron recibidos por el Sr. Rector y demás Superiores del mismo.

Seguidamente el Nuncio acompañado del Prelado y autoridades pasó a la Capilla procediendo a la Bendición del edificio; colocada la Cruz, según ordena el nuevo Rito de la Bendición, en una de las paredes del patio y rezadas las últimas oraciones, el Excmo. Sr. Nuncio tuvo la delicadeza de dirigirse a las autoridades y pueblo de Linares para llamar su atención sobre la trascendencia del acto, exponiendo lo que es el Seminario para la Diócesis y lo que significa para los pueblos; la importancia y trascendencia de la buena formación del clero que depende totalmente del Seminario. Y terminó manifestando, en nombre de la Iglesia, su gratitud y agradecimiento a todos cuantos habían colaborado con el Rvdmo. Prelado, con sus sacrificios y aportaciones para llevar a cabo una obra de tanta importancia para la Diócesis.

Las cuartas Jornadas de Estudio para Educadores Primarios de la Iglesia

Durante los días finales de septiembre, y como ya es costumbre en la ciudad de Salamanca, se han celebrado este año las IV Jornadas Diocesanas de Estudio para Educadores Primarios de la Iglesia, religiosos y seculares.

En sesiones de verdadero trabajo intensivo se han ido conociendo temas de carácter informativo unos, de contenido didáctico otros y de actualidad los terceros. Así, del primer grupo, se tuvieron: «La Catequesis escolar», a cargo del Hermano Gabriel Santiago Mencia, de los

Universidad Pontificia de Salamanca

6.º Imponer a Fernando Vizcaino Jiménez la obligación de pago del sustitutivo de comiso, en el caso de recuperar el coche «Ibermotor».

7.º Absolver liberemente a los restantes inculpados.

8.º Reconocer derecho a premio a los aprehensores.

Lo que se publica para conocimiento del interesado y demás efectos oportunos.

Barcelona, 1 de agosto de 1968.—El Secretario del Tribunal.
Visto bueno: El Presidente.—4.601-E.

MINISTERIO DE LA GOBERNACION

ORDEN de 17 de julio de 1968 por la que se clasifica como de beneficencia particular mixta la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús.

Ilmo. Sr.: Examinado el expediente de clasificación de la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, que a virtud de escrito de 5 de abril de 1967 promueve la Madre Superiora provincial de las expresadas Religiosas, y que ha sido enviado a V. I. por la Junta Provincial de Beneficencia de Salamanca, que ha emitido en él su preceptivo informe, y

Resultando que la Madre Superiora de la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús dirigió un escrito solicitando que se clasificase como de beneficencia particular mixta la expresada comunidad, clasificación que habría de abarcar a todos los Centros que en lo sucesivo establezca, ya que los que actualmente tiene han sido objeto de clasificación: el de Canillejas, a virtud de Orden de 27 de junio de 1916, y el de Bilbao, por otra de 8 de febrero de 1950, figurando ambas transcritas por certificación del Jefe de la Sección de Asistencia Privada de la Dirección General de Política Interior y Asistencia Social en este expediente;

Resultando que del examen de los Estatutos que al mencionado escrito se acompañan aparece que el fin perseguido por la benéfica institución sigue siendo de carácter mixto, puesto que tiene por objeto al propio tiempo socorrer a los pobres en sus necesidades físicas y prestar enseñanza gratuita a niñas pobres y huérfanas y también a aquellas otras que por su inclinación a la vida religiosa acuden a los centros de la institución para prepararse moral y pedagógicamente, y, en último término, se añade en los referidos Estatutos, que completa el objeto de las Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús hacer el mayor bien a cuantos acudan solicitando amparo y ayuda;

Resultando que en el expediente se han cumplido todos los trámites previstos en los artículos 56 a 58 de la Instrucción de 14 de marzo de 1899, figurando en el mismo el Reglamento por que se rige la institución, debidamente autenticado; el edicto conforme al cual se concedió audiencia a los representantes de la misma e interesados en sus beneficios; la certificación del Secretario de la Junta Provincial de Beneficencia de Salamanca, expresiva de que durante el tiempo reglamentario de la exposición de los indicados edictos no se han presentado reclamaciones; el informe de la Jefatura Provincial de Sanidad, que considera el proyecto de los locales y servicios del Colegio de «Nuestra Señora del Rosario de Fátima», que las Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús piensan establecer en Linares de Riofrío, como apto y suficiente para la atención de cincuenta alumnas, entre internas y externas, y el de la Junta Provincial de Beneficencia, que dictamina en el sentido de que debe clasificarse como de beneficencia particular mixta la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, con carácter general, sin que al Protectorado le corresponda otra misión que la de velar por la higiene y por la moral públicas, salvo lo prevenido en la Ley de Asociaciones sobre la formalización de sus cuentas;

Vistos el Real Decreto y la Instrucción de 14 de marzo de 1899 y las Ordenes de 27 de junio de 1916 y 8 de febrero de 1950, y

Considerando que los hechos expuestos demuestran claramente el carácter de la institución objeto de este expediente, por ser su fin, de una parte, la satisfacción gratuita de modo permanente de necesidades físicas y espirituales ajenas, por cuanto se destina a proporcionar socorro a enfermos y personas necesitadas, y, de otra, a educar y sostener niñas huérfanas pobres, admitiéndose asimismo alumnas semiinternas y externas, a las que se prodigan las enseñanzas desde maternal primaria hasta la consecución del Bachillerato;

Considerando que en consecuencia con ello corresponde exclusivamente a este Ministerio el ejercicio del Protectorado sobre la misma, de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto de 11 de octubre de 1916, sin perjuicio de las facultades inspectoras que en materia de enseñanza incumben al de Educación y Ciencia;

Considerando que habiendo sido clasificados ya dos Centros de las Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, uno en Canillejas (Madrid), por Orden de 27 de junio de 1916, y otro en Bilbao, por la de 8 de febrero de 1950, al solicitar nuevamente esta clasificación y con motivo del Centro que intentan abrir en Linares de Riofrío (Salamanca), suplican se haga ella extensiva a todas las actividades que en unos y otros de esos Centros realizan las Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, lo que es indudablemente procedente, siempre que se lleven a cabo por la misma institución, en cumplimiento de sus fines estatutarios, con los bienes adscritos a ellos y mediante la capacidad que les confiere su entidad de persona jurídica.

Este Ministerio ha dispuesto, de acuerdo con el dictamen de la Junta Provincial de Asistencia Social de Salamanca y con las Ordenes anteriormente reseñadas:

1.º Que se clasifique como de beneficencia particular mixta la Comunidad de Religiosas Misioneras del Sagrado Corazón de Jesús, cualquiera que fuere el lugar en que se encuentren sus establecimientos, sin que a este Protectorado le corresponda otra misión que la de velar por la higiene y la moral públicas, salvo lo prevenido en la Ley de Asociaciones, que deberá ser cumplido en sus más estrictos términos, y

2.º Que de esta resolución se den los traslados oportunos.

Lo digo a V. I. para su conocimiento y demás efectos.

Dios guarde a V. I. muchos años.

Madrid, 17 de julio de 1968.

ALONSO VEGA

Ilmo. Sr. Director general de Política Interior y Asistencia Social.

ORDEN de 17 de julio de 1968 por la que se clasifica como de beneficencia particular mixta la Asociación «Ciudad de los Muchachos», instituida en Orense.

Ilmo. Sr.: Visto el expediente de la Asociación «Ciudad de los Muchachos», que para su clasificación remite la Junta Provincial de Beneficencia de Orense, y

Resultando que la Asociación de «Ciudad de los Muchachos» ha elevado a este Ministerio sus Estatutos, que fueron aprobados según Resolución de la Dirección General de Política Interior de 30 de abril de 1966, apareciendo inscrita al número 1.928 del Registro Nacional de Asociaciones y 24 del Registro Provincial, Asociación que tiene por objeto la asistencia docente, espiritual y material de jóvenes necesitados;

Resultando que las finalidades indicadas han de considerarse gratuitas al ser satisfechas por la Asociación, sin que conste el percibo de contraprestación alguna;

Resultando que los recursos de la Asociación están constituidos por los bienes muebles e inmuebles que constituyen su patrimonio, valorados en 10.509.000 pesetas, y por las cuotas de los asociados, aportaciones de beneficios y de la Cooperativa Industrial «Ciudad de los Muchachos» y donaciones o subvenciones de entidades o particulares;

Resultando que instruido el presente expediente de clasificación, se ha tramitado reglamentariamente sin oposición alguna y aparecen unidos, entre otros documentos, los Estatutos de la Asociación y la relación autorizada de las personas que constituyen su Junta Directiva, así como de los recursos con que cuenta;

Resultando que el expediente ha sido favorablemente informado, una vez instruido en forma reglamentaria y publicado edicto en el «Boletín Oficial» de la provincial, sin que conste reclamación alguna presentada en el periodo de audiencia, según certificación del Secretario de la Junta Provincial de Beneficencia que obra en el expediente;

Vistos el Real Decreto y la Instrucción de 14 de marzo de 1899 y disposiciones complementarias;

Considerando que la Asociación de que se trata tiene por objeto la asistencia docente, espiritual y material de jóvenes necesitados, contando con medios materiales para cumplir dichos fines, procedentes del capital propio, de las cuotas de los asociados y de donativos voluntarios de particulares, por lo que la Asociación «Ciudad de los Muchachos» reúne las condiciones precisas para ser clasificada como Asociación de beneficencia particular, al amparo de los artículos 2, 4 y 5 del Real Decreto de 14 de marzo de 1899;

Considerando que los fines de esta Asociación ofrecen diferente naturaleza, ya que, de una parte, pueden calificarse de beneficencia docente en cuanto se destinan a la asistencia docente, y de otra son de beneficencia propiamente dicha, al consistir en una asistencia espiritual y material, y como todas esas atenciones se cumplen con los mismos ingresos, ofrece esta fundación el carácter de beneficencia particular mixta, según lo dispuesto en el Real Decreto de 11 de octubre de 1916 y corresponde, por tanto, exclusivamente a este Ministerio el ejercicio del protectorado sobre la misma, sin perjuicio de las facultades inspectoras que en materia de enseñanza incumban al de Educación y Ciencia;

Considerando que por tratarse de una Asociación benéfica creada y reglamentada por la libre voluntad de sus miembros