

LAS BODEGAS DE LOS MODERNISTAS CATALANES, UNA MIRADA DESDE LA ESTRUCTURA

THE WINERIES OF THE CATALAN MODERNISTS, A VIEW FROM THE STRUCTURE

Hugo O. Bonaiuti ¹

RESUMEN

Al comienzo del siglo XX, un grupo de arquitectos catalanes, enrolados en el Modernismo Español respondieron con sus obras a una difícil situación económica de la producción vitivinícola, principal sustento de la región. La filoxera, introducida en 1878 acabó con los viñedos de la región.

Campeños, productores y terratenientes formaron cooperativas para enfrentar la situación y construyeron “cellers” (bodegas) para recuperar sus mercados. La Gran Guerra aumentó las dificultades al hacer escasear la energía, la madera y el acero. Los arquitectos utilizaron materiales y técnicas constructivas tradicionales basadas en el ladrillo y piedra por su bajo costo y disponibilidad.

A fines del siglo XIX se incorporaron métodos de cálculo de la Estática Gráfica usados para diseñar arcos parabólicos de ladrillo según la teoría de los “antifuniculares”. Antoni Gaudí, entre otros arquitectos, los usaron en sus obras y los enseñaron a sus discípulos como Cesar Martinell quién diseñó cerca de 40 de estas bodegas.

De estos edificios singulares adecuados a su momento histórico, se analizan cronológicamente sólo algunos mostrando su evolución e innovaciones producidas en el período junto a su eficiencia estructural. Son elementos significativos del patrimonio cultural de España, aún hoy utilizados, denominados con orgullo “Catedrales de vino”.

PALABRAS CLAVE

Movimiento Modernista Catalán, bodegas, polígono antifunicular, mampostería eficiente, estructuras en arco, bóvedas catalanas.

ABSTRACT

At the beginning of the XXth century, several Catalan architects, who belonged to the Spanish Modernist Movement, coped with the hard economic situation in the region by means of their works. In 1878, the vineyards had suffered the devastating effects of “phylloxera”.

Peasants, producers and landowners created cooperatives to face the crisis and started building “cellers” (wineries) that worked efficiently to recover their markets. The Great War aggravated the economic difficulties, causing energy, wood and steel shortages. The architects had to use cheaper traditional construction techniques, based on bricks and stones.

Around 1890, new methods of Structural calculus taken from Graphic Statics allowed to solve parabolic arches with the “antifunicular” theory. Antoni Gaudí and other architects used these procedures, and taught them to their disciples. One of them, Cesar Martinell, designed over forty “cellers”.

This work describes chronologically the functionality and stylistic characteristics of these wineries and it shows the style evolution and innovations produced during the period.

Furthermore, this article analyses the building methods used, which inspired very efficient structures and singular buildings. These wineries belong to the cultural patrimony of Spain, and are proudly known as “Cathedrals of Wine”.

KEYWORDS

Catalan Modernist Movement, wineries, antifunicular polygon, efficient masonry, arched structures, Catalan vaults.

¹ Arquitecto recibido en la FAUD UNC en 1969. Actividad profesional junto a los Arqs. Guillermo Iros, José Rettaroli y Tomás Pardina desde 1969 hasta 2004. Profesor Consulto UNC 2012. Profesor Adjunto Encargado de Estructuras III. FAUD. Hasta 2011. Investigador SECyT desde 1994 hasta 2012. Vicedecano y Decano FAUD desde 2006 a 2011. Director de la carrera de Especialización en Diseño Estructural de obras de Arquitectura (EDIEST) - FAUD -UNC.

Las Bodegas en Contexto

“La historia de la arquitectura es la historia de la evolución de las estructuras. Ambas historias siempre estuvieron de la mano y lo siguen estando en nuestros tiempos.”

Norman Foster

A mediados del siglo XIX tuvo lugar la Revolución Industrial en Europa. Los avances que esta revolución trajo consigo (la electricidad, el ferrocarril, la máquina de vapor) provocaron la migración del campo hacia las ciudades, donde se establecían las fábricas. Con la Revolución Industrial surgió una nueva clase social, la burguesía.

A finales del siglo XIX, las nuevas generaciones de la burguesía quisieron rebelarse contra el conservadurismo creando movimientos artísticos, culturales y asociaciones literarias. Esta nueva corriente artística recibió el nombre de Modernismo.

En Europa, el movimiento modernista, recibió diferentes nombres: Art Nouveau (en Francia), Modern Style (en Gran Bretaña), Sezession (en Austria), Jugendstil (en Alemania), Floreale (en Italia), etc. En España, Luis Domenech i Montaner lo definió como Modernismo Español.

La Exposición Universal de Barcelona en 1888 puede considerarse el punto de partida del Modernismo en Cataluña, donde los grupos de intelectuales considerados modernistas, que coincidían en el café llamado “Els Quatre Gats”, aún hoy existente conformaron una expresión propia de estilos que influyeron en arquitectura, urbanismo, pintura, música, literatura y hasta en la política. Este acontecimiento, permitió a los egresados de la recientemente fundada Escuela de Arquitectura y a sus maestros, interactuar con otros arquitectos provenientes de toda Europa.

ARQUITECTO	Nacimiento	Graduación	Deceso
Antoni Gaudí i Cornet	Reus, 1852	1878	Barcelona, 1926
Lluís Domènech i Montaner	Barcelona, 1850	1873	Barcelona, 1923
Josep Puig i Cadafalch	Barcelona, 1867	1891	Barcelona, 1956
Joan Martorell i Montell	Barcelona, 1833	1876	Barcelona, 1906
Cesar Martinell i Brunet	Valls, 1888	1916	Barcelona, 1973
Claudí Duran I Ventosa	1893	1888	1902
Joan Rubió i Bellver	Reus, 1870	1893	Barcelona, 1952
Pere Domènech I Moura	1881	1907	1962

Tabla 1. Lista de los principales arquitectos que actuaron en la región de Cataluña durante el periodo estudiado.

La obra de arquitectos como Antoni Gaudí i Cornet, Luis Domenech i Montaner, Josep Puig i Cadafalch, Joan Martorell i Montell, entre otros, dió una impronta particular a Barcelona (VER TABLA 1). La principal característica de este movimiento radica en que tanto la estructura como el ornamento se resuelven a través de elementos de tipo orgánicos. Estos elementos inspirados en vegetales, con formas redondeadas y entrelazados, recuperan características del gótico: la unión de lo decorativo con lo funcional y el predominio de la línea curva, a lo que se suman las disimetrías, el empleo de nuevos materiales constructivos -como el hierro- en trabajos de forja artística y algunos que ya estaban en desuso, como el ladrillo y azulejos decorados y cromados (a veces rotos).

La libertad e imaginación en la utilización de estos recursos, consiguieron sacar al arte de las normas convencionales y concebir una arquitectura simbólica, sugerente que despierta los sentidos.

Las cellers

Cataluña fue, desde muy antiguo, una región característica por la producción de vinos. El sistema productivo integró terratenientes, productores y campesinos en cooperativas vitivinícolas, ubicados en diversos valles, y requirió de establecimientos específicamente adecuados que recibieron el nombre cellers.

Las *cellers* son instalaciones de grandes luces para facilitar las maniobras y traslado de productos y personas, bien iluminadas y ventiladas naturalmente para eliminar los gases producidos durante el proceso de producción y evitar así que influyan negativamente en el resultado, junto a un sinnúmero de condiciones adecuadas para producir vinos de buena calidad. Las restricciones en la disponibilidad de energía requería que la arquitectura considerara estos aspectos dada su influencia en la calidad del producto. La situación económica afectaba la disponibilidad de materiales de construcción. Por ejemplo, a causa de la Gran Guerra, escaseaba la madera para encofrados, el acero y el hormigón armado aún no era lo suficientemente conocido.

César Martinell i Brunet, discípulo de Antoni Gaudí, Lluís Domènech i Montaner y Josep Puig i Cadafalch; fue uno de los que más cellers construyó (alrededor de 40), la mayoría entre los años 1918 y 1925, con influencia del “neo gótico catalán”, características del estilo desarrollado por sus maestros.

Gaudí llamó a estos arquitectos funicularistas (Mercader, 2002), porque construían naves extensas de carácter industrial, sencillas, con gran preocupación por el funcionamiento, con poca ornamentación y colorido comparadas con las obras de los clásicos modernistas tales como, el Palau de la Música de Domènech o Santa Coloma, el Parque Güell o la propia Sagrada Familia de Gaudí, en las que la luz interior y la ornamentación toman una importancia significativa además de la calidad arquitectónica. Martinell, muestra en la construcción de estos edificios cierta influencia de la arquitectura de Gaudí y de Domènech, que se descubre en el uso de superficies de revolución y regladas, en las formas parabólicas de los arcos, en el uso decorativo de la albañilería del ladrillo a la vista y en las ménsulas de ladrillos superpuestos en voladizo, para mencionar algunos de los elementos más comunes. Es en la racionalidad de estos procedimientos de diseño y en la correcta ubicación de silos y cubas, donde el arquitecto puede ser el heredero del método y del sentido analítico y experimental aprendidos de la arquitectura de Gaudí.

Martinell utilizaba técnicas artesanales sencillas y resolvía eficientemente el edificio teniendo en cuenta todos los aspectos funcionales que requería el proceso de producción del vino. Mantenía contacto con técnicos y productores para atender en detalle los requerimientos que el proceso planteaba, por lo que puso un especial cuidado en no cometer errores que perjudicaran el resultado del producto.

Debido a la carencia y altos costos de la madera y el acero, sustituyó las cabriadas de madera o metal por arcos de mampostería y las correas y techos de madera por bóvedas artesanales de ladrillo en los cellers más modernos. Ubicó pequeñas aberturas a ras del piso para dejar salir el ácido carbónico resultado del proceso, separó los depósitos subterráneos de vino colocados en serie con vacíos para aislarlos y evitar la transmisión de la temperatura entre ellos, ventiló estos espacios con tubos cerámicos para facilitar la circulación del aire y planteó un aventanamiento en los paramentos para brindar luz natural y ventilación a todo el edificio. Como resultado, obtuvo edificios económicos y eficientes, lo que le valió la consideración de sus clientes, justificando así el importante número de establecimientos que construyó.

El hecho de tener que utilizar estructuras en arco de ladrillos para cubrir luces importantes, le indujo a la construcción de arcos parabólicos, ya que es un sistema muy ventajoso porque se basa en el uso de un material local, económico y disponible, que requiere poco transporte y una mano de obra tradicional y conocida.

La mampostería a la vista se definió como el elemento principal de construcción de estas catedrales del vino e hizo necesaria la aplicación de una teoría de las estructuras y de su resistencia que garantizara el trabajo eficiente de las mismas. En otras palabras, se trata de estructuras de ladrillos comunes trabajando a compresión, en las que se considera despreciable su capacidad de soportar tracciones.

Los arquitectos modernistas conocían la construcción en mampostería a partir de técnicas constructivas tradicionales como la bóveda catalana o los arcos tabicados. El conocimiento del funcionamiento² de esas complejas estructuras, que utiliza el concepto de las “líneas de presiones”, se remonta a Robert Hooke en 1670. Posteriormente, en el decenio 1830-40, fue desarrollado por Moseley en Inglaterra (1835) y Méry en Francia (1840). (Huerta, 2004; Llorens, 2012).

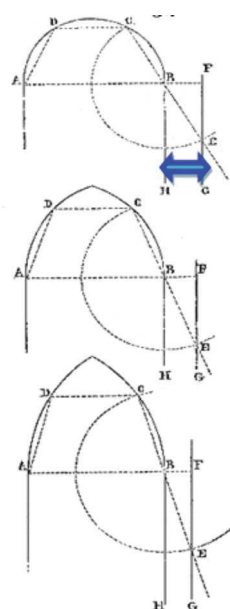
La construcción

Se conoce que para un trabajo eficiente de la mampostería es necesario limitar las excentricidades de las cargas, a fin de minimizar la posibilidad de que las secciones trabajen a tracción, evitando así el mayor de los peligros para una estructura en arco, el agrietamiento. Esta fue la razón principal del uso de los polígonos funiculares que aseguraban estructuras que trabajaban a tracción pura, al invertirlos (antifuniculares), en teoría, si las líneas de presiones pasan por los núcleos de las secciones, trabajan a compresión pura. Decimos, en forma teórica, ya que sabemos que en la realidad es imposible determinar con una exactitud suficiente la posición de una línea de presiones ante mínimas y casi imperceptibles variaciones de los estados de cargas que soporta una estructura.

Podemos definir a la línea de presiones como la línea virtual que une las sucesivas posiciones de las resultantes de todo el sistema de fuerzas sobre cada sección de una estructura. Algunos autores llaman a esta figuración línea de empujes o línea funicular.

Este concepto ya era intuitivo y aplicado por todas las culturas que utilizaron los arcos como tipo estructural para realizar construcciones importantes. En España, por ejemplo, los romanos, los visigodos en el SVI y posteriormente los musulmanes. Durante toda la Edad Media y hasta principios de la edad moderna se utilizaron recetas y métodos gráficos³ que sin conocer sus fundamentos más o menos científicos, se verificaron por el método de la prueba y el error, dejando sepultados aquellos intentos que los transgredieron o que no fueron lo suficientemente cuidadosos en su aplicación.

El método que aún hoy se utiliza, para construir un sencillo arco, consiste en tallar las dovelas y montarlas sobre una cimbra; tras asentar la última piedra (la clave) se procede al descimbramiento.



Las piedras que tienden a caer hacia abajo impulsadas por la fuerza de la gravedad, son sostenidas en equilibrio mediante esfuerzos transmitidos a través de las juntas, producidos por las piedras adyacentes.

El conjunto de piedras estará en equilibrio bajo la acción del empuje de la clave, su peso, y otro empuje procedente de las otras piedras. Por supuesto estos deben estar contenidos dentro de la sección, en cada una de las juntas.

Los empujes deben ser inclinados y dado que las cargas de las dovelas son verticales, los empujes deben tener la misma componente horizontal en todo el arco. Esta componente horizontal -que se va transmitiendo hasta los arranques- es lo que se suele denominar empuje del arco.

Por otra parte, la mampostería tanto sea de piedra o ladrillo, permitió que los arcos se esparcieran por todo el territorio con el simple conocimiento de procedimientos gráficos como el que se muestra en la Figura 1, que aseguraba una dimensión apropiada para el estribo (distancia H-G ó R-F de la figura) en función de la forma del arco.

Estas fuerzas se transmiten hacia los apoyos y su trayectoria se denomina línea de empujes. Los arranques presionan contra la cimentación o contra un estribo, que debe tener dimensiones suficientes para resistirlo.

Fig. 1. Dimensionamiento de arcos mediante procedimientos gráficos. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_(arquitectura))

² Mercader cita a Joan Martorell Montels (1833-1906), de quien fuera auxiliar Gaudí, como el introductor en España de los estudios de Estática Gráfica que sirvieron de base para el desarrollo de las estructuras de este último.

³ [https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_(arquitectura))

Así, durante la alta Edad Media, cuando el gótico comenzó a mostrarse como una solución para aligerar las estructuras de sostén y ser más eficientes, los pilares fueron construidos en forma escalonada, aumentando su sección a medida que se llegaba a la cimentación y más tarde se agregaron los arbotantes y pináculos sobre ellos, en un intento de desviar la línea de empujes y verticalizarla.



Fig. 2, 3 y 4. Ejemplos de estructuras de sostén góticas. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_(arquitectura))

Volviendo a Hooke, podemos decir que el funicular es una de una de las ideas más fecundas de la historia de la teoría de estructuras. Si bien Hooke no halló la ecuación matemática de la curva, algunos autores como Truesdell afirman, por ello, que no resolvió el problema del arco. Heyman, defendiendo a Hooke, sostuvo que aunque no resolvió el problema matemático, sí resolvió el problema técnico: el saber que un arco funciona como un cable invertido. Pocos años más tarde, otro inglés, Gregory (1697), en los corolarios de un artículo sobre la catenaria, repite la afirmación de Hooke y la amplía: “el arco ideal es el que tiene forma de catenaria invertida”, y «si arcos de otras formas se sostienen es porque en su interior hay una línea de presiones». En realidad catenaria viene de “catena” y es la forma que adopta una cadena suspendida de dos puntos de apoyo y corresponde a una parábola de tercer grado cargada con su propio peso.

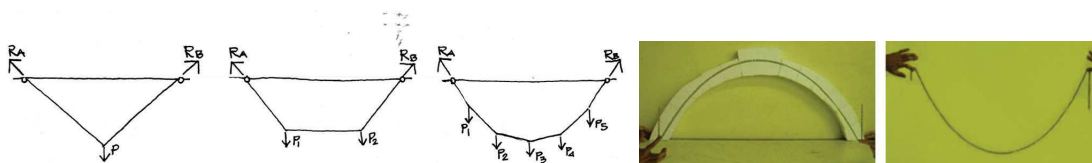


Fig. 5, 6, 7, 8, 9. El arco considerado como una catenaria invertida. Fuente: elaboración propia.

Con lo expuesto podemos deducir un posible proceso de diseño estructural de los arcos parabólicos que consiste en:

1. Construir un modelo en el que se representan a escala, con la mayor aproximación posible, tanto las dimensiones como las acciones. El mismo es un simple cordel con pesos al tipo de los que podemos ver en las figuras 5, 6 y 7.
2. Al invertir los polígonos funiculares se observa la geometría de las estructuras trabajando a compresión, como se muestra en la Fig 8 y 7.
3. Por medio del uso de los polígonos de fuerzas asociados a los antifuniculares se puede determinar el esfuerzo en cada tramo de la estructura del arco.
4. Conocido el valor del esfuerzo y dividiéndolo por el valor de la tensión de trabajo del material que se quiere emplear, se obtiene la sección necesaria del arco. Algunos valores de tensiones de trabajo utilizados en aquellas épocas estaban tabulados y se utilizaban con la tolerancia que el arquitecto tomaba en función de su experiencia y su contexto (Huerta, 2004:26).

INDICATION DES MATÉRIAUX.	Poids de décimètres cubés.	Charge d'écrasement par centimètre carré.	Hauteur représentative de la charge d'écrasement (1).	OBSERVATIONS.
<i>Pierres volcaniques.</i>				
Basalte de Sublé.	2,06	1012	6248	Rondelet.
Basalte d'Auvergne.	2,88	2078	7215	Id.
Lave du Vésuve, dite <i>Piperno</i> . . .	2,00	563	2165	Id.
Lave grise des environs de Rome. . .	1,97	228	1157	Id.
Tuf de Rome.	1,22	38	478	Id.
<i>Granits.</i>				
Granit d'Aberdeen bien.	2,62	767	2927	G. Rennie.
Granit vert des Vosges.	2,85	620	2175	Rondelet.
Granit gris de Bretagne.	2,74	654	2383	Id.
Granit de Normandie, Gâtmos. . . .	2,66	702	2639	Id.
Granit gris des Vosges.	2,64	423	1603	Id.
<i>Grès.</i>				
Grès très-dur.	2,52	813	3226	Id.
Grès blanc.	2,48	923	3713	Id.
Grès bigarré des Vosges.	2,17	400	1843	Conservatoire des arts et métiers.
<i>Pierres calcaires.</i>				
Marbre noir de Flandre.	2,72	789	2901	Rondelet.
Marbre blanc veiné.	2,70	298	1104	Id.
Marbre rouge du Devonshire. . . .	2,70	522	1933	Rennie.
Calcaire de Portland.	2,42	262	1083	Id.
Pierre de Caserte, près Naples. . .	2,72	595	2191	Rondelet.
Pierre noire de St-Fortunat (Lyon) . .	2,65	627	2366	Id.
Lias de Bagnoux, près Paris. . . .	2,44	445	1824	Id.
Travertin de Rome.	2,36	298	1262	Id.
Roche de Châtillon, près Paris. . .	2,29	174	769	Id.
Roche douce de Châtillon.	2,08	134	644	Id.
Roche d'Arcueil, près Paris. . . .	2,30	253	1100	Id.
Pierre de Saillancourt, 1 ^{re} qualité. .	2,41	141	585	Id.
<i>Briques.</i>				
Brique dure très-cuite.	1,55	159	962	
Brique rouge.	2,17	57	262	
Brique rouge pâle.	2,08	39	187	
<i>Mortiers.</i>				
Mortier de chaux et de sable de rivière.	1,63	31	"	Rondelet.
Mortier de ciment de tuileau. . . .	1,46	48	"	Id.
Mortier de pouzzolanes de Naples et de Rome mêlés.	1,46	37	"	Id.
Mortier avec chaux éminemment hydraulique.	"	144	"	Vicat.

(1) Cette colonne indique la hauteur du prisme droit de la matière considérée dont le poids serait suffisant pour écraser sa propre base (§ 15).

Tabla 2.

Tabla de resistencias a compresión de las piedras (en kg/cm^2 ; $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 0,1 \text{ N}/\text{mm}^2$) tomada de un manual de ingeniería de la segunda mitad del siglo XIX. (Collignon 1885) La segunda columna por la derecha representa la altura máxima (en metros) de una torre o columna de sección constante sometida a su propio peso.

Las obras

Las obras de estos arquitectos, principalmente de Martinell, manifiestan el equilibrio entre la construcción simple, el tratamiento de los materiales, la economía de medios, las formas estructurales, la expresión de su arquitectura y la funcionalidad.

OBRA	ARQUITECTO	FECHAS
Güell	Antoní Gaudí i Cornet	1900
Alió	Claudí Duran i Ventosa y César Martinell I Brunet	1911
L´Spluga de Francolí	Pere Domènech i Roura	1913
El Pla de Santa María	Claudí Duran i Ventosa	1913
Sarral	Pere Domenech I Moura	1914
Vila Rodona	César Martinell I Brunet	1918
Rocafort de Queralt	César Martinell I Brunet	1918
Nulles	César Martinell I Brunet	1919
Santes Creus	César Martinell I Brunet	1919
Falset	César Martinell I Brunet	1919
Cabra del Camp	César Martinell I Brunet	1919
Cornudella de Monsants	César Martinell I Brunet	1920
Gandesa	César Martinell I Brunet	1920
Pira	César Martinell I Brunet	1920
Barberá de la Conça	César Martinell I Brunet	1921
Rubí	César Martinell I Brunet	1921
Sant Guim de Freixenet	César Martinell I Brunet	1921
Montblanc	César Martinell I Brunet	1922
Pinell de Brai	César Martinell I Brunet	1922
Sant Cugat	César Martinell I Brunet	1922
Raimat	Joan Rubió i Bellver	1925

Tabla 3. Listado de Obras referenciadas, ordenadas cronológicamente. Fuente: Elaboración propia.

Pasaremos, ahora, a describir las características principales de algunos de estos edificios que se han ordenado cronológicamente según la fecha aproximada de terminación de construcción.

Güell

Si bien esta es una obra muy anterior al resto que vamos a estudiar, no podemos ignorarla ya que puede constituirse en un antecedente importante para las que luego se construyeron, toda vez que esa generación de arquitectos fue muy influenciada por Gaudí, su autor. Ubicada en Sitges, región de Garraf, el arquitecto la diseñó en un período de su producción que se denominó neogótico. El conjunto se constituía por una bodega con dependencias de caza.

La construcción terminó en 1900 bajo la dirección de su colaborador Francisco Berenger y la obra fue ejecutada, principalmente, con la piedra caliza del lugar. En su interior alberga una capilla cubierta con una bóveda parabólica.

Si bien carece de algunos elementos típicos del estilo gótico como arbotantes, vitrales, pináculos, etc., es innegable la influencia transmitida por Gaudí y el desarrollo que se califica como neo-gótico en esta etapa de su obra además de los agregados que van a estar presentes no sólo en su obra sino en la obra de muchos de sus discípulos, como los arcos catenarios reemplazando a las clásicas ojivas góticas.



Fig. 10: Bodegas Güell. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Bodegas_G%C3%BCell

La construcción terminó en 1900 bajo la dirección de su colaborador Francisco Berenger y la obra fue ejecutada, principalmente, con la piedra caliza del lugar. En su interior alberga una capilla cubierta con una bóveda parabólica.

Si bien carece de algunos elementos típicos del estilo gótico como arbotantes, vitrales, pináculos, etc., es innegable la influencia transmitida por Gaudí y el desarrollo que se califica como neo-gótico en esta etapa de su obra además de los agregados que van a estar presentes no sólo en su obra sino en la obra de muchos de sus discípulos, como los arcos catenarios reemplazando a las clásicas ojivas góticas.

Alió

En la región del Alt Camp, encargada por el Sindicato Agrícola de Alió, diseñada y construida por Claudi Duran i Ventosa alrededor de 1911, fue ampliada posteriormente en 1917 por Cèsar Martinell i Brunet. La fachada muestra una interesante combinación de piedra, revoque, cerámica y ladrillo a la vista alrededor de las ventanas logrando muy armónico conjunto.

Construida sobre una planta rectangular de 16 x 30 m y 10 m de altura. La techumbre es de tejas a dos aguas sobre la estructura de madera que apoya sobre cabriadas también de madera, que a su vez apoyan sobre muros de mampostería de piedra caliza y mortero de cal.

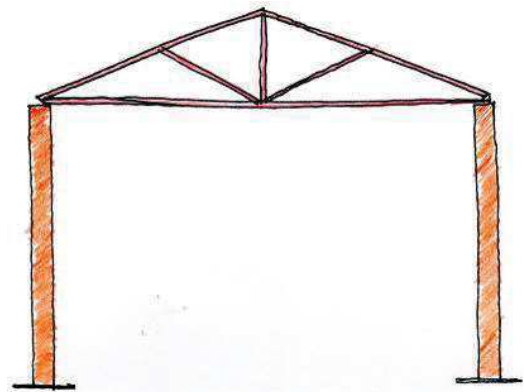


Fig. 11:

L'Espluga De Francolí

L'Espluga de Francolí se sitúa en el extremo suroriental de la comarca catalana de la Conca de Barberà, La bodega cooperativa de L'Espluga de Francolí se construyó durante el año 1913 según diseño del arquitecto Pere Domènech i Roura, hijo de Lluís Domènech i Montaner.

El edificio luce como una mixtura entre el Art Nouveau y el Novecentista, siendo este último desarrollado entre los años 1910 y 1930 en Cataluña.

Las obras se iniciaron en marzo de 1913 y se terminaron en septiembre del mismo año.

En un principio, la bodega contaba con dos naves paralelas destinadas a las tinas y una nave rectangular destinada a la maquinaria.

Las dos naves paralelas y contiguas, de 44 metros de longitud y 12 metros de ancho cada una, tenía en su interior un total de 40 tinas de cemento armado.

La tercera nave está adosada perpendicularmente, y retrasada con respecto a las naves mayores, en el lado derecho del edificio, con unos 13 metros de longitud y 8 metros de ancho. Esta nave tiene un muelle para la recogida de la vendimia y la sala de prensa, fue reformada y ampliada por Cesar Martinell en 1929 como sala de elaboración. La torre que contiene el depósito de agua está situada encima del muelle de descarga, es un cuerpo cilíndrico terminado con una cúpula cónica revestida de cerámica blanca y azul. El conjunto de las tres naves paralelas da a la construcción una forma simétrica.

Cada nave tiene una cubierta inclinada a dos aguas. En sus fachadas, las naves alternan partes ciegas con un acabado de mortero y partes de ladrillo a la vista, que enmarcan tres grandes aberturas ojivales, con una traba reticulada ortogonal de mampostería a la vista, donde se insertan las ventanas flanqueadas por pequeños arcos ciegos enlucidos.

Entre las dos naves originales se construyó un arbotante bajo el que se dispuso la garita de la báscula de la bodega.

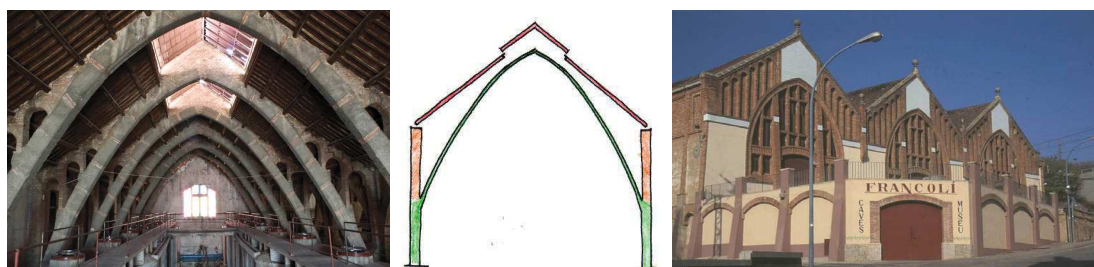


Fig 12, 13: Bodega cooperativa de L'Espluga de Francolí. Fuente: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18559>

Pere Domènech i Roura utilizó diversos materiales en la construcción de la bodega, pero el principal material es el ladrillo, que fue aparejado de diferentes formas según la función que fuera a realizar. Otros materiales empleados fueron la piedra, para la realización de los zócalos, y cerámica vidriada blanca en los frentes.

Las pilastras y las cornisas se coronan con esferas ornamentales de piedra artificial, haciendo que la combinación de materiales y volúmenes diferentes den a la fachada un gran juego cromático.

La estructura interior de las naves se basa en pilares cruciformes de ladrillo, de los cuales arrancan los arcos ojivales que las configuran. Estos arcos ojivales son, en el caso de las dos naves originales, de hormigón armado con dos hiladas transversales de ladrillo. Los arcos laterales que separan estas dos naves son de medio punto, contruidos totalmente con ladrillos planos que soportan las cubiertas. En el caso de la tercera nave, los arcos están contruidos completamente con ladrillo plano, siguiendo una tendencia que prosperó en la época para las construcciones industriales.

La cubierta es tradicional, compuesta por alfájas, correas y tablero de madera con tejas planas, con claroboyas cenitales por las cuales penetra la luz.

Sarral

Pere Domènech i Roura fue el encargado de proyectar y construir esta bodega en 1914, con la idea de una basílica, una nave importante central y dos laterales más pequeñas.

Respetando los clásicos conceptos vigentes en la época, utilizó los mismos materiales que en la anterior bodega en cuanto a la cubierta, muros de sostenimiento y frontales, salvo el diseño de los arcos que esta vez construyó de ladrillo en la nave central y, aunque ojivales, más rebajados. Esto, sin duda, le llevó a utilizar tensores para soportar los empujes laterales que se incrementan notablemente al disminuir la altura del arco, además de la diferencia importante entre la nave central y las laterales mucho más pequeñas, seguramente no muy capaces de equilibrar estos empujes.

Si bien el carácter modernista es predominante, hay ya algunos indicios nevecentistas.

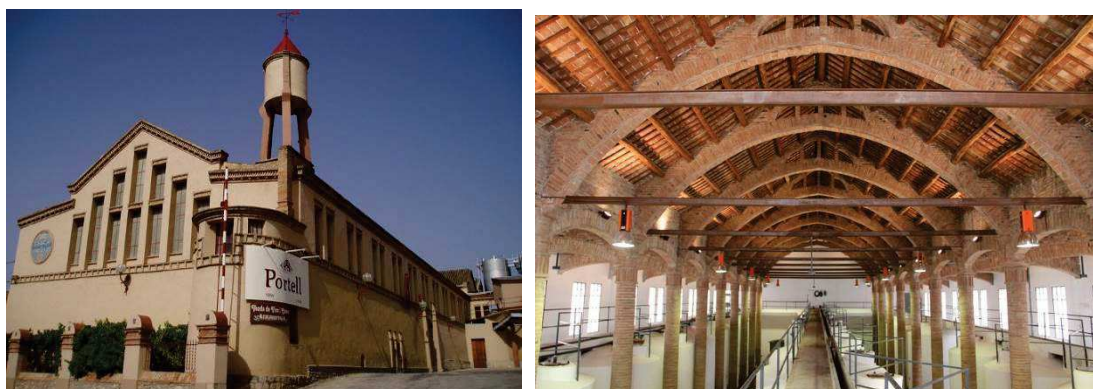


Fig. 14. Bodega Sarral. Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

Rocafort de Queralt

En la región de Conca de Barberá, por encargo del Sindicato Agrícola, Martinell diseñó este edificio, uno de los primeros de su arquitectura agrícola, que se construyó el 1918, siguiendo los principios básicos de la arquitectura modernista catalana tomados de su maestro Gaudí: trazado de los polígonos funiculares, inversión de la catenaria, compresión por la forma según la línea de presiones, evitando el trabajo a tracción en las secciones de los arcos.



Fig. 15. Bodega de Rocafort de Queralt. Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

El edificio está formado por un grupo de tres naves, las cuales fueron construidas en diferentes épocas (1918, 1931 y 1948 respectivamente). El trazado de los arcos, que forman los pórticos transversales, difiere en su geometría en cada una de las naves. Se construyó primero la nave central B y luego las laterales A y C. El basamento de mampostería de piedra con las clásicas perforaciones en su parte inferior y las ventanas enmarcadas por pilares de mampostería, son elementos que se van a repetir en casi todas las obras de este tipo.

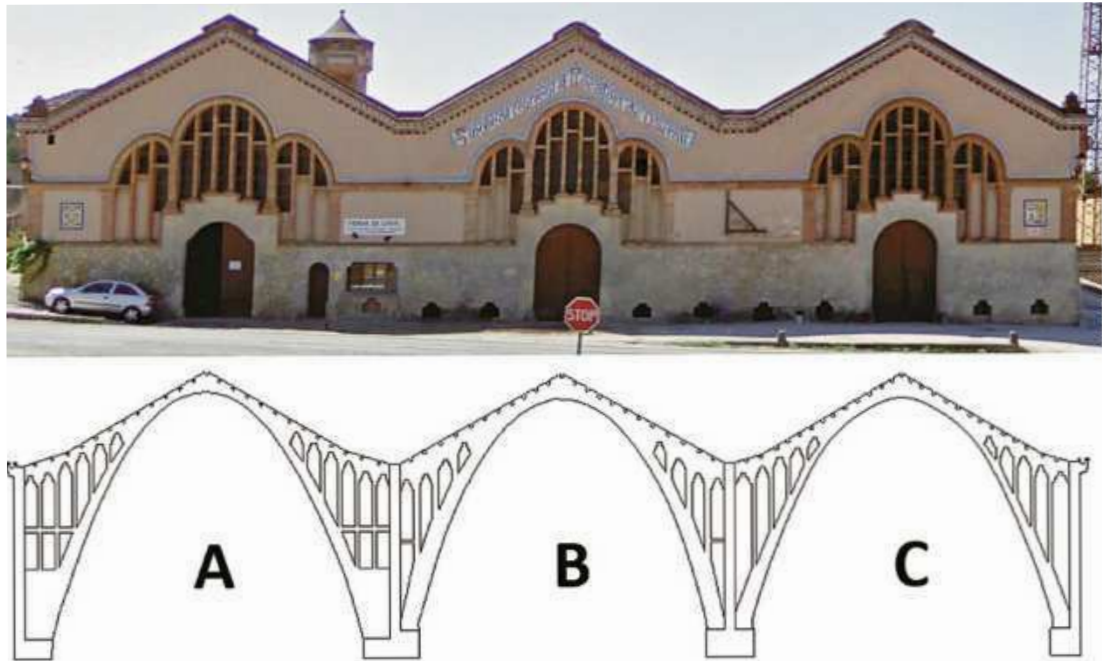


Fig. 16 y 17. Bodega de Rocafort de Queralt: Planta, Vista y Esquema estructural. Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

El edificio está formado por un grupo de tres naves, las cuales fueron construidas en diferentes épocas (1918, 1931 y 1948 respectivamente). El trazado de los arcos, que forman los pórticos transversales, difiere en su geometría en cada una de las naves. Se construyó primero la nave central B y luego las laterales A y C. El basamento de mampostería de piedra con las clásicas perforaciones en su parte inferior y las ventanas enmarcadas por pilares de mampostería, son elementos que se van a repetir en casi todas las obras de este tipo.

Las tres naves tienen una apariencia muy similar aunque difieren en pocos centímetros tanto en su ancho como en su alto. La nave A, la primera en construirse, es la mayor de las tres con 11,50 m de ancho y 9,90 de alto. Pero la diferencia es más fácil de advertir en los arcos interiores, si se observan los pilares de mampostería que transfieren las cargas del techo sobre los arcos principales.

Es de considerar que, al parecer, ésta fue la primera obra en donde Martinell utilizó estos arcos parabólicos de mampostería de ladrillos comunes. Por esta razón los operarios -que carecían de experiencia en construirlos- manifestaron desconfianza con respecto a la resistencia y capacidad de soportar la techumbre de la estructura que, a su juicio, era demasiado débil; esto hizo que se le presentaran al arquitecto innumerables problemas durante la ejecución.

La techumbre se resolvió de forma tradicional con tejas cerámicas sobre estructura de madera, que carga directamente sobre los arcos. La cubierta tiene en cada faldeo dos pendientes, siendo más pronunciada la que se desprende de la cumbre. Entre naves se dispuso un canal de desagüe pluvial alojado en el plano divisorio entre ambas.

Nulles

Ubicada en la región del Alt Camp, diseñada también por Cèsar Martinell i Brunet por encargo del Síndic Agrícola de Sant Isidre, fue construida alrededor de 1917. Martinell comenzó a definir conceptualmente el estilo basado en los conceptos ya mencionados en este trabajo, con arcos parabólicos de mampostería, columnas también de mampostería y de secciones variables, cubiertas de tejas sobre estructura secundaria de madera, piedra en los zócalos, aventanamiento enmarcado entre los pilares, ménsulas de ladrillos sobrepuestos, etc. Consta de dos naves de 21 m por 28 m sin muro divisorio.



Fig. 18, 19 y 20. Bodega Nulles. Fuente: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13707>

El basamento de la fachada, que incluye las dos puertas, fue construido en piedra como soporte de la misma y las perforaciones que permiten la salida de los residuos ácidos de la producción han sido enmarcadas, destacándolas plásticamente. Esta fachada fue hecha en mampostería de ladrillos con un interesante diseño que enfatiza la verticalidad. La cubierta carga sobre los arcos de mampostería a través de columnas de sección variable, para permitir una mejor ventilación entre los diferentes sectores de la sala como también la iluminación natural.

Falset

El edificio, construido César Martinell en 1919, tiene la tipología de una basílica con una nave principal más alta y dos laterales menores. En total la sala consta de 23,50 m por 37,50 m. La separación entre ambas se materializa con un plano virtual de arcos de mampostería de medio punto y claristorio en su parte superior, para ventilar e iluminar naturalmente el interior.

La estructura del techo a dos aguas es un sistema de cabriadas de madera de aproximadamente 15 m. de luz, que apoyan sobre el plano virtual que divide las naves.

El depósito de agua en sí mismo, una pequeña escultura de mampostería de ladrillos combinada con el hormigón del depósito propiamente dicho, constituye una clara expresión del estilo modernista.



Fig. 21 y 22. Bodega Cooperativa de Falset. Fuente: <http://www.3viajes.com/bodega-cooperativa-de-falset>

Cornudella De Monsants

Ubicada en la región del Priorat, el edificio, encargado por el Sindicato Agrícola y Caja Rural, fue diseñado y construido entre 1919 y 1922 por el arq. César Martinell. Inicialmente, el proyecto contemplaba un establecimiento para procesar tanto vino como aceite de oliva, por lo que el arquitecto pensó en tres naves paralelas con una fachada simétrica como se ve en la acuarela de la figura. Finalmente, la Cooperativa decidió reducir el edificio a una sola nave ya que no se produciría aceite.

La fachada muestra todos los elementos típicos y característicos del estilo, tales como el basamento de piedra, las perforaciones inferiores en el mismo, las ventanas enmarcadas en pilares de mampostería, etc.



Fig. 23 y 24: Bodega Cornudella de Monsants. Fuente: <http://www.3viajes.com/bodega-cooperativa-de-falset>

Una diferencia notable consiste en la estructura del techo, que se resolvió con un sistema de cabriadas de madera que apoyan sobre las paredes laterales de mampostería aventanada.

Gandesa

La construcción, ubicada en la región de Terra Alta, también dirigida y proyectada por César Martinell, se realizó entre 1919 y 1920. Es más sencilla que la de Pinell de Brai en su aspecto exterior. La curiosidad, con respecto a las anteriores bodegas descritas, consiste en la incorporación de bóvedas catalanas para la cubierta del techo que se apoyan en la estructura principal constituida por arcos parabólicos de mampostería de ladrillos, eliminando así las estructuras de madera para sostener las techumbres. Estas bóvedas cubren el techo con diferentes alturas, lo que permite la clásica iluminación y ventilación naturales laterales, además de las ventanas en las fachadas.



Fig. 25, 26, 27. Bodega Cooperativa de Falset. Fuente: <http://www.3viajes.com/bodega-cooperativa-de-falset>

Desde el punto de vista de la imagen del edificio, son característicos los remates laterales con dos torres que soportan sendos depósitos de agua con soportes de mampostería. Una fachada absolutamente simétrica entre ellos posee trabajo decorativo de ladrillo en estilo modernista. Además se mantienen las perforaciones en el basamento de mampostería de piedra, también clásico.

Cesar Martinell produjo una importante modificación tecnológica en esta bodega, utilizó las clásicas bóvedas catalanas para cubrir la techumbre entre los arcos. Con este recurso eliminó las estructuras de madera de los techos. Esta determinación se condice con criterios económicos teniendo en cuenta el uso del ladrillo como material más barato y la independencia de materiales -como la madera- que comenzaron a escasear a causa de la Gran Guerra.

También es interesante destacar la utilización que se le da a las diferencias de altura al incluir la colocación de ventanas superiores que permiten la iluminación y ventilación naturales.

Pira

Diseñada por Martinell, su construcción comenzó en 1917 y terminó en 1919. Esta obra le fue encargada para desarrollar un proyecto que siguiera los lineamientos y criterios utilizados en otras construcciones rurales similares.

Consta de una nave principal de dos plantas con dos laterales más pequeñas, como si se tratara de una basílica. Esto le permitió diseñar una fachada simétrica con un basamento de piedra donde se enfatizan dos portales de ingreso con arco de medio punto. Las importantes aberturas se hallan enmarcadas por columnas de mampostería y aseguran la iluminación y ventilación natural en el establecimiento. Utilizando la diferencia de nivel entre los techos de la nave principal y las naves laterales se ubican otras ventanas con el mismo propósito.

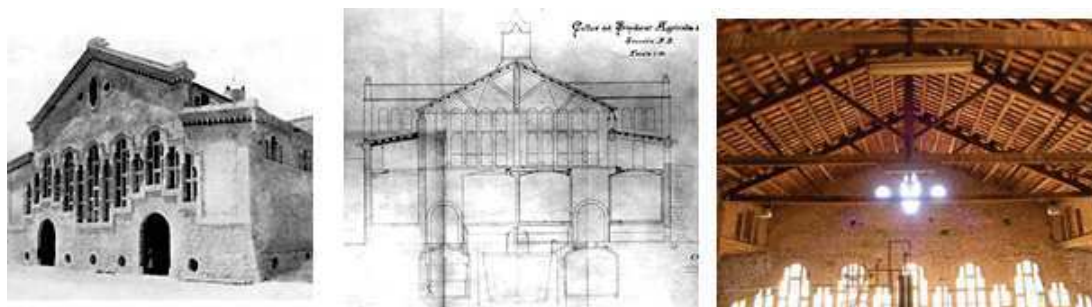


Fig. 28, 29 y 30: Bodega Pira. Fuente: <http://www.doconcadebarbera.com/es/node/132>

La techumbre se resuelve con techo a dos aguas de tejas sobre madera en la nave principal, cargada sobre cabriadas de madera que asientan en los portantes configurados con planos de mampostería que separan la nave principal de las laterales.

Barberá de la Conca

El edificio, que se terminó de construir en 1921, está ubicado en la región de la Conca de Barberá y fue diseñado por Martinell. Consta de una nave principal y dos naves rectangulares más bajas, de diferentes dimensiones, dispuestas en forma paralela a la primera, al tipo de una basílica. Las cubiertas se materializan con estructuras de arcos parabólicos ojivales de mampostería más apuntados que en L'Spluga de Francolí, que reciben la carga de la cubierta, al tipo de las anteriores descritas. La carga de la cubierta es transferida a los arcos por medio de pilares verticales de mampostería. Este sistema se repite en la otra dirección, en los planos que delimitan los espacios de las naves.

Consta además, de una sala lateral de dos pisos que contiene una característica torre frontal que enfatiza el eje de simetría. La torre contiene un depósito de agua.

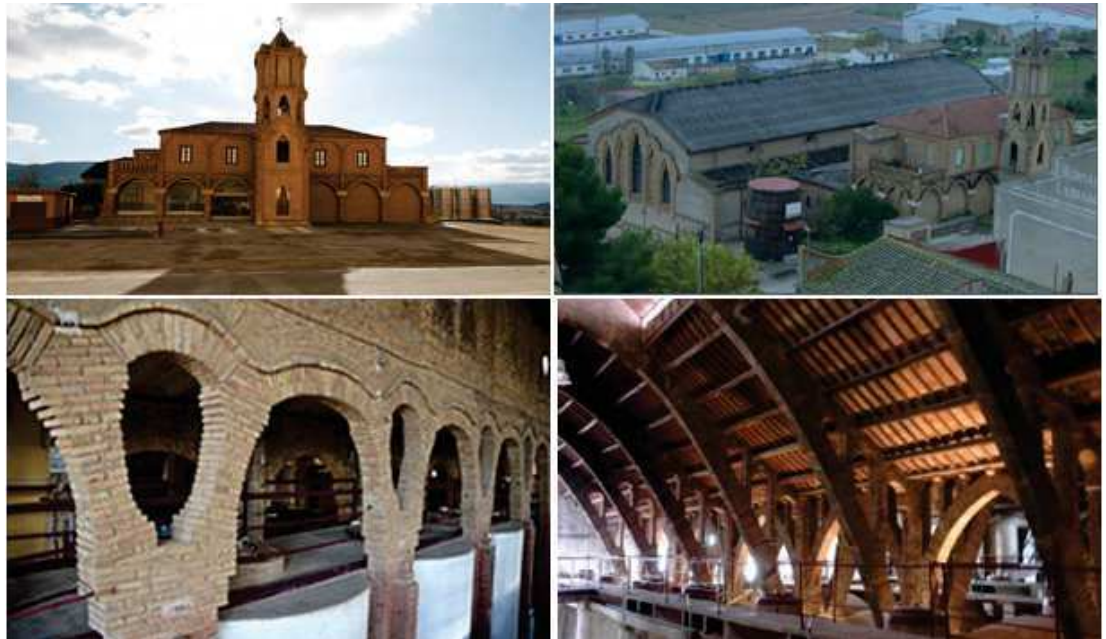


Fig. 31 y 32: Bodega Pira. Fuente: <http://www.doconcadebarbera.com/es/node/132>

Sant Guim de Freixenet

La bodega es obra del arquitecto César Martinell Brunet, que siguió las pautas de otras construcciones agrarias construidas durante los años veinte, con la característica que ésta no es una bodega vinícola, como la mayoría de las del país, sino un almacén de grano. El edificio fue construido por encargo del Sindicato Agrícola de Cervera y de su comarca.

El edificio modernista es de fachada simétrica, con dos grandes arcos de entrada, que se apoyan en una esbelta columna redonda. En el intradós de los arcos se abren pequeños balcones, que corresponden al piso, antigua vivienda y oficinas. En la fachada no existe el clásico basamento de piedra con las perforaciones de los edificios para bodegas dado que su función es diferente.

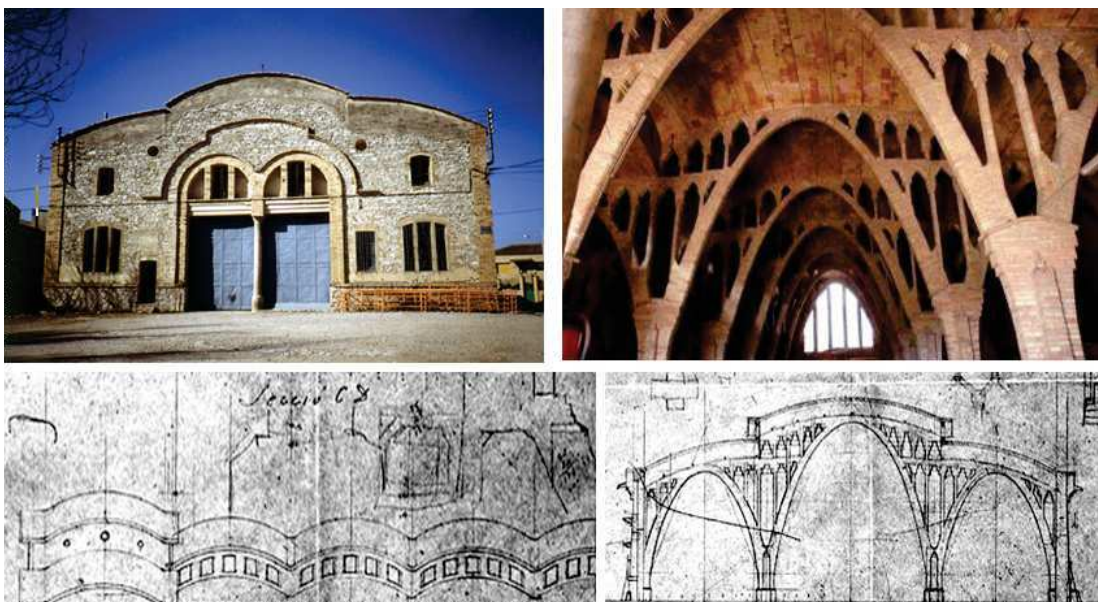


Fig. 33,34,35,36: Bodega Sant Guim. Fuente: <http://www.catalunya.com/celler-cooperatiu-de-sant-guim-de-freixenet-17-16003-2>

El edificio está hecho de mampostería de piedra y ladrillo, con cubierta de bóveda catalana ejecutada con ladrillos planos. El interior es de planta rectangular de 20 m por 34,50 m, organizada en tres naves de altura desigual, con la tipología de una basílica, formadas por grandes arcos parabólicos que soportan las bóvedas de cubierta y se apoyan en pilares de forma sensiblemente cruciforme, elevados sobre basamento de piedra. La diferencia de altura entre las naves permite el aventanamiento lateral que, como en otras obras, facilita la ventilación e iluminación natural.

El edificio fue construido en 1921 y sigue los principios y conceptos desarrollados tanto por el arquitecto en anteriores obras similares, como por sus maestros.

Montblanc

Esta celler, diseñada por Martinell y construida alrededor de 1919, consta de tres salas iluminadas y ventiladas lateralmente por la sucesión de ventanas en las fachadas, sobre los portales del ingreso. La estructura del techo se apoya en una línea marcada por seis columnas en el centro de la nave principal. El tanque de agua, apoyado sobre uno de los dos cubículos que presenta la fachada, es tratado especialmente y se destaca con respecto a la simplicidad notoria de la fachada sobre la calle.

La techumbre es plana, a dos aguas con remates transversales en sus extremos, construida con tejas sobre madera. Las ventanas están enmarcadas en mampostería rehundida, para darle mayor movimiento a la fachada y se las ubica sobre el clásico basamento de piedra.



Fig. 37 y 38: Bodega Montblanc. Fuente: <https://www.google.com.ar/search?q=celler+modernista+pira&espv=2&biw=1024&bih=476&ctbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjp2-&dpr=1.88#tbn=isch&q=celler+modernista+montblanc>

Pinell de Brai

Ubicada en la región de Terra Alta, la construcción de la bodega fue planteada por Martinell a fines de 1918 y fue, hasta ese momento, la más atrevida desde el punto de vista monumental y posiblemente la más relevante de su obras. Fue construida con materiales básicos tradicionales como mampostería de piedra en el basamento y ladrillo de arcilla en la estructura y los cerramientos. El arquitecto definió el espacio global de forma similar a Rocafort, usando arcos parabólicos que habían utilizado en edificios industriales o similares, incluso privados, Gaudí y Josep Puig Cadafalch. Diseñó no sólo el edificio en sí mismo, sino los espacios para desarrollar el proceso de producción, la distribución de la maquinaria y el diseño de los contenedores de líquidos con sus sistemas de aislación.

Los arcos parabólicos son de mampostería de ladrillos cerámicos y tienen secciones cruciformes variables, como se muestra en la figura del corte. Su función principal la de resistir el peso de la cubierta y de los entresijos, respondiendo sus directrices al antifunicular de las cargas. En los subsuelos se utilizó la clásica y tradicional bóveda catalana.

La cerámica esmaltada que decora partes del edificio fue diseñada y ejecutada por Xavier Nogués, y representa escenas de la producción tradicional de la uva y otras domésticas, en su relación con el consumo y disfrute del vino.

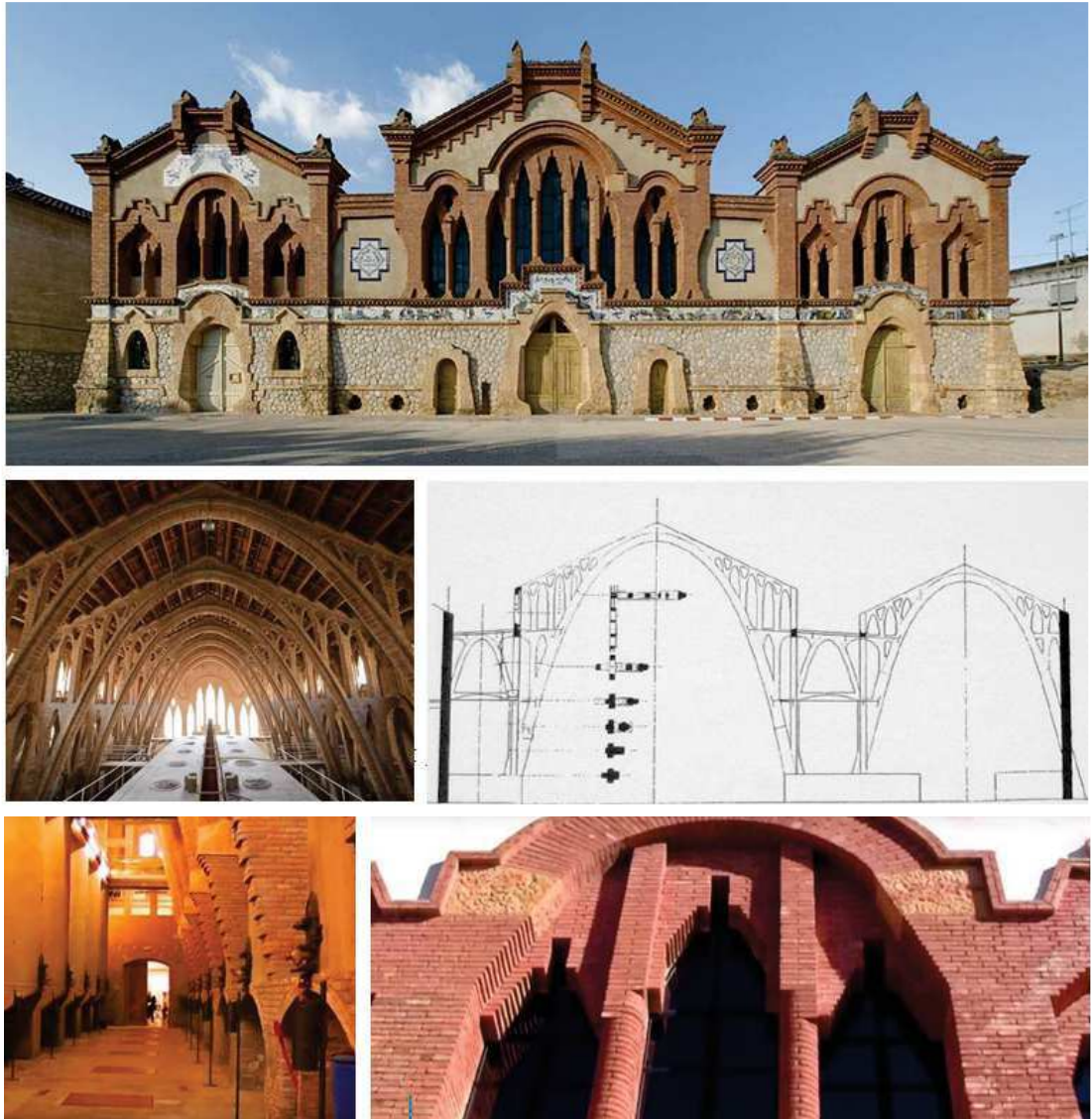


Fig. 39: Bodega Pinell de Brai. Fuente: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/1476>

Fig. 40, 41, 42,43: Arcos del Edificio de la Bodega Pinell de Brai. Fuente: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/1476>

Sant Cugat de Valles

Por encargo del Síndicato Vitivinícola y Caja Rural de Sant Medir en la región de Vallés Oriental, se le encargó al arquitecto César Martinell el diseño y la construcción de este celler en la ciudad de Sant Cugat, a 20 Km de Barcelona. Finalizado en 1922, forma parte del Inventario del Patrimonio Arquitectónico de Cataluña. A diferencia de otras construcciones del mismo autor, la falta de financiación hizo que sólo se llevara a cabo una pequeña parte del proyecto original: la nave donde se realiza el tratamiento inicial de la uva, con los muelles de descarga, las trituradoras, las prensas y los cubos que recibían el mosto.

El edificio consta de una nave principal para la producción, una lateral para recibir las descargas del producto y una torre de agua intercalada asimétricamente en el borde la fachada longitudinal de la nave de descarga, que se encuentra sobre elevada con respecto a la primera. Las dimensiones de la planta del esquema son aproximadas y han sido representadas al solo efecto de dar una mejor idea de su materialización.

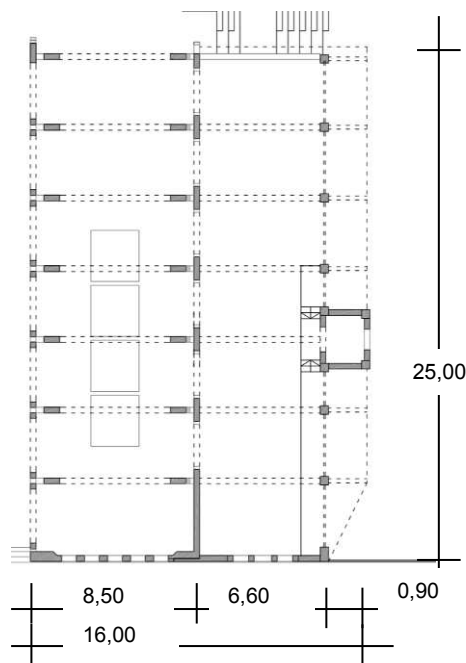


Fig. 44. Esquema de la Planta del edificio de la Bodega Sant Cugat de Valles. Fuente: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7076>

Las cubiertas en su totalidad, fueron construidas con las clásicas bóvedas catalanas de capas de ladrillo plano. Éstas, en la nave principal, están quebradas para dar lugar a tímpanos que contienen ventanas que, como en otros casos, favorecen la iluminación y ventilación natural.

En este edificio se observan tensores metálicos en el extremo de las bóvedas, seguramente, para tomar los esfuerzos producidos por los empujes laterales de aquellas. Estas bóvedas transfieren, en la nave principal, sus cargas a los arcos por medio de columnas cortas y de sección variable permitiendo el fluido paso del aire en las partes superiores del edificio.

La estructura principal está constituida por vistosos y peraltados arcos parabólicos de mampostería de ladrillos, que en algunas partes fueron conformados según el diseño propio del arquitecto. Estos arcos son utilizados tanto en el sentido transversal como en el longitudinal. Esa es la rigidez

necesaria del sistema, considerando que el edificio se halla en una zona calificada como de moderada sismicidad y el uso de la mampostería, tanto para la estructura principal como para las cubiertas, implica una masa importante a tener en cuenta como originario de esfuerzos sísmicos sobre la estructura.

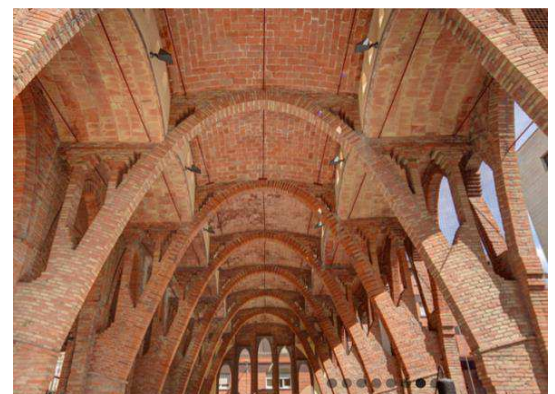
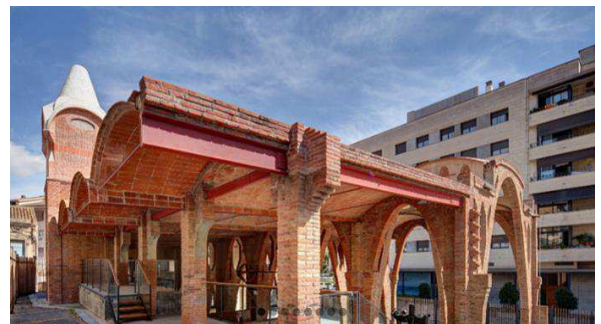


Fig. 45, 46 , 47 y 48. Bodega Sant Cugat de Valles.

Fuente: <https://sites.google.com/site/barcelonamodernista/bodega-cooperativa-sant-cugat>

Las bóvedas de la nave principal son de doble curvatura, conformando un sector de cúpula. En el sentido longitudinal del edificio también los empujes son absorbidos por tensores metálicos para no transmitir éstos a los arcos de mampostería.

Los arcos son de secciones variables de forma rectangular, en “t” y cruciformes. En la fachada lateral el arquitecto aumentó sus dimensiones a medida que los arcos llegan al terreno, enfatizando el plano que se forma.

Raimat

En la región de Segriá, Joan Rubio I Bellber, arquitecto, discípulo de Gaudí fue el encargado de construir esta bodega en 1918, una de las primeras construcciones de hormigón armado en España. Un edificio de 150 m de longitud por 30 de ancho. El ingreso principal se enfatiza con una sucesión de arcos parabólicos. Las secciones de los grandes arcos tienen unas perforaciones que constiutuyen su sistema de refrigeración a través de la cubierta, en forma de escaleras con peldaños, para dar lugar al aventanamiento que sirve para iluminar y ventilar. El agua de lluvia, al derramarse en cascada sobre las losas desde la cumbrera hacia abajo, favorece esta acción.

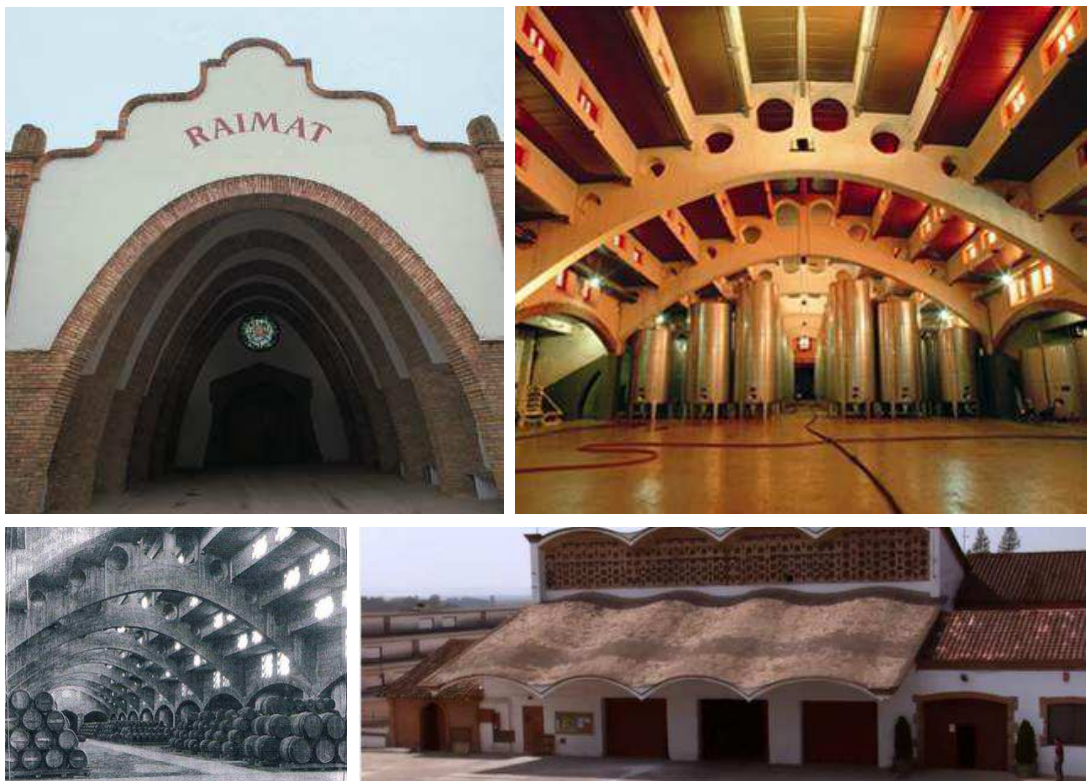


Fig. 49,50, 51 y 52. Bodega Raimat. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Raimat>

El techo se constituye mediante un sistema de losas que forman escalones que cargan sobre vigas muy esbeltas, perforadas, que a su vez transfieren las cargas sobre los arcos de hormigón armado, aunque sus armaduras no son muy importantes debido a las escasas flexiones que soportan sus secciones.

Un elemento a destacar es la galería formada por bóvedas catalanas en voladizo sobre una de sus fachadas internas laterales.

Otras acciones sobre la estructura

Como se ha señalado, la región de Cataluña está clasificada hoy como de moderada sismicidad. Seguramente, en la época de la construcción de estos cellers, no se tenía un preciso conocimiento sobre la magnitud y los efectos de los terremotos ni cómo construir para mitigar sus efectos. Obviamente, como en toda zona de estas características, hace relativamente poco tiempo que la acción de los terremotos se tiene en cuenta obligatoriamente.

Por lo mencionado, no es de extrañar que estas estructuras conformadas por arcos parabólicos se hayan presentado como soluciones eficaces y suficientes para resolver los edificios, considerando sólo su participación en la forma de soportar cargas gravitatorias. Podemos observar que en la región de nuestro estudio, se pide considerar un coeficiente g entre 0,04 y 0,08, lo que la ubica en segundo lugar según el riesgo sísmico en el país.



Fig. 53 Mapa región de Cataluña. Fuente: Ministerio de Fomento. Norma de Construcción Sismorresistente

Aproximación al análisis estructural

A Partir de la Tesis de Grado del proyectista José García Madrid, de la UPC, de Octubre 2011, *LA ARQUITECTURA VÍNICOLA MODERNISTA: BODEGA DE ROCAFORT DE QUERALT, HISTORIA Y ARQUITECTURA*, cuyos directores fueron Benet Meca Costa y Héctor Gascó García, publicada en la página web de la Universidad Politécnica de Cataluña, proponemos el análisis del comportamiento sismorresistente de la estructura de la nave central del celler de Rocafort de Queralt. Este edificio fue ampliado en dos oportunidades, en sus comienzos, la nave en cuestión debió haber estado aislada y no había posibilidades de redistribución de esfuerzos con los otros arcos que se construyeron después.

En las figuras 54 y 55 se ha representado el esquema con el arco central actuando solo, con su modelación simplificada (en rojo) y los sistemas de cargas gravitatorias (en azul) y sísmicos (en verde) aproximados, no representándose las correspondientes reacciones en los apoyos que demostrarían el equilibrio del sistema.

Se ha representado sólo medio arco para simplificar el trazado. Las cargas de viento (empujes y succión) no han sido tenidas en cuenta, considerando que el peso de la construcción evitaría cualquier posibilidad de levantamiento de la cubierta y vuelco de las paredes laterales.

El análisis del sistema se realizará en forma plana utilizando el software matricial en estado elástico WinEva 8, desarrollado por el Dr. Arq. Ramón Sastre I Sastre de la Universidad Politécnica de Cataluña.

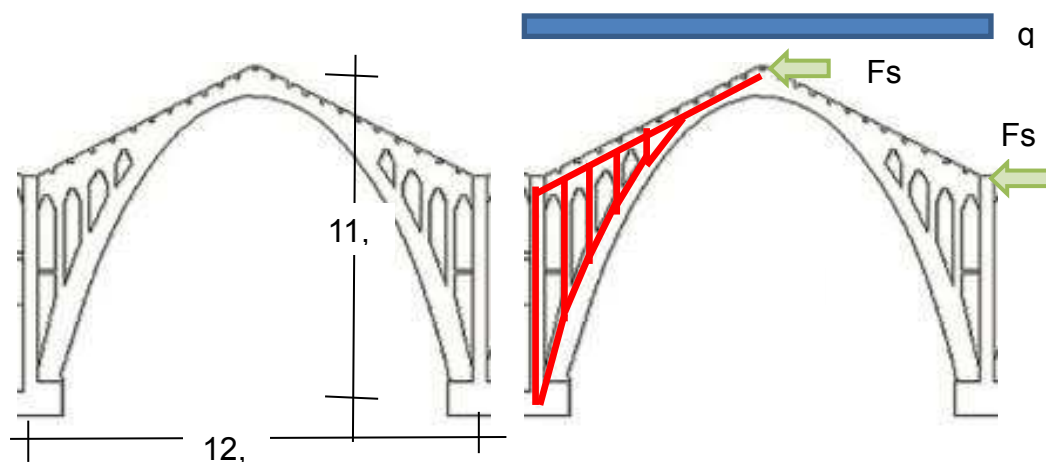


Fig. 54, 55. Estudio del Comportamiento Estructural de la nave central del celler de Rocafort de Queralt Bodega. Fuente: Elaboración propia

Para la modelación de la estructura se ha supuesto que la misma está compuesta solamente de mampostería de ladrillos comunes con un módulo de elasticidad de 450000 T/m^2 y una densidad de $1,70 \text{ T/m}^3$. Además, en el arco se ha supuesto una variación de las secciones, cuyas dimensiones han sido consideradas de espesor igual a 40 cm y sus alturas variando desde 70 cm en la base hasta 30 cm en las zonas más delgadas. Cabe aclarar que estas dimensiones se corresponden en forma aproximada a las notas e imágenes fotográficas tomadas en el lugar.

La separación entre arcos es de aproximadamente $4,50 \text{ m}$ y las cargas gravitatorias de la cubierta, transmitidas por las pequeñas columnas superiores o tramos de mampostería, se pueden suponer uniformemente distribuidas de un valor aproximado:

$$q \approx 4,50 \text{ m} \times 0,075 \text{ T/m}^2 = 0,34 \text{ T/m}$$

Una vez cargada la estructura podemos calcular su peso a través de sus reacciones verticales. Con esto simplificamos el análisis de cargas de origen sísmico y supondremos que un 5% del peso puede ser considerado como acción sísmica una fuerza horizontal, F_s , equivalente a la acción sísmica ubicada en la clave del arco.

Siendo las reacciones verticales simétricas y de valor aproximado $6,64 \text{ T}$ cada una, el corte basal sísmico horizontal V_o podemos calcularlo en forma aproximada en:

$$V_o \approx 0,05 \times 2 \times 6,64 = 0,66 \text{ T}$$

Tomaremos los $0,66 \text{ T}$ para la fuerza horizontal estáticamente equivalente ubicada a nivel de la clave del arco.

Procesamos entonces el esquema representado según dos hipótesis a saber:

$$\text{Cargas gravitatorias (80\%) + Sismo (70\%)}$$

El gráfico de la izquierda corresponde a las secciones adoptadas y el de la derecha al antifunicular de un sistemas de cargas similar al aplicado en el arco.

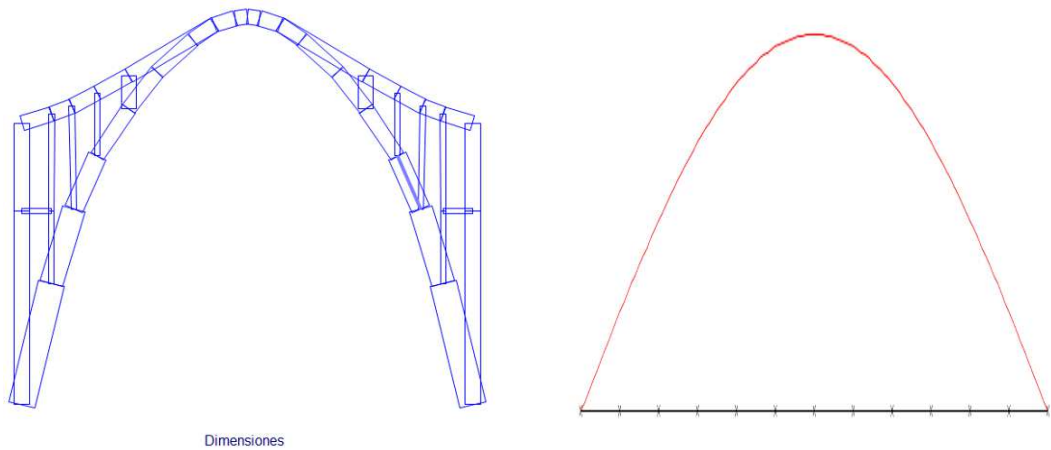


Fig. 56, 57. Esquema de Cargas de la nave central del celler de Rocafort de Queralt Bodega.
Fuente: Elaboracion propia.

Podemos observar una cierta similitud formal entre ambos aunque con algunas diferencias perceptibles como la curvatura más marcada en los cuartos del arco en la modelación, con respecto al antifunicular. Eso evidencia un aumento de las exentricidades en algunas zonas del arco al alejarse la curva de presiones de la directriz adoptada para el arco.

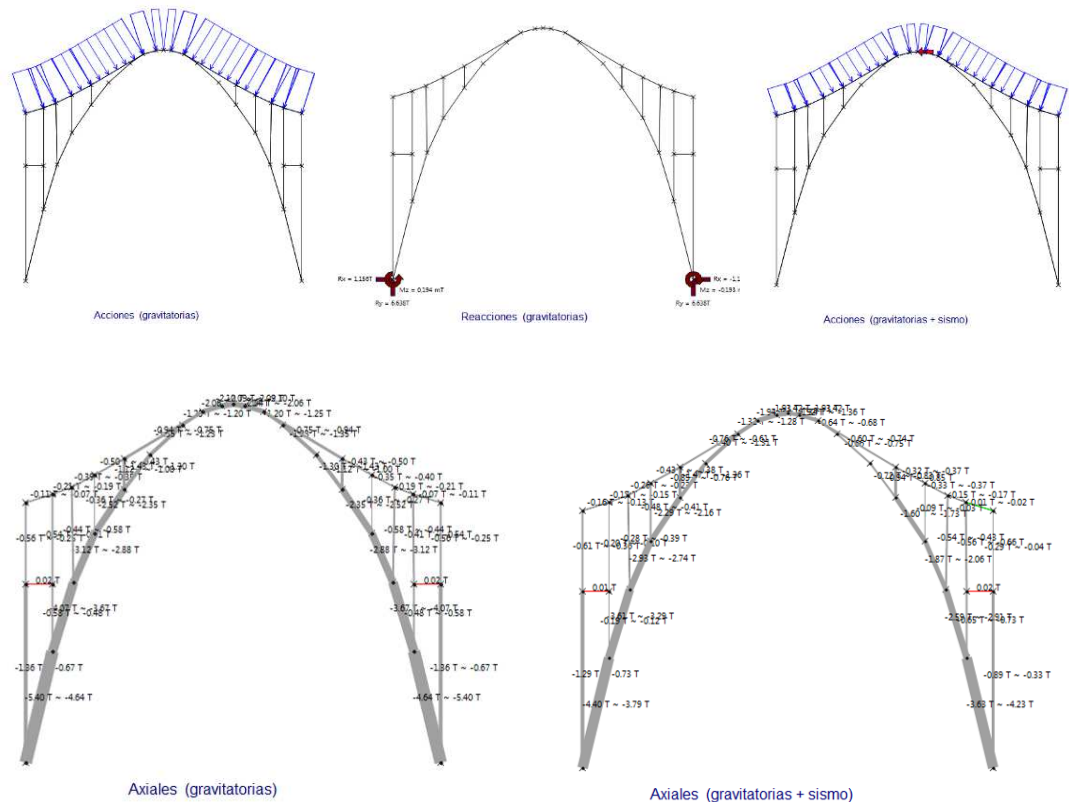


Fig. 58,59. Estudio de los Estados de Cargas de la nave central del celler de Rocafort de Queralt Bodega.
Fuente: Elaboracion propia

Se representan ambos estados de cargas, el de cargas gravitatorias que se ha adicionado el peso propio de la estructura, con sus reacciones y una de las combinaciones con sismo, por simetría.

De ambos estados se muestran los axiles que se los observa creciendo en sus valores a medida que llegan a los apoyos y todos comprimiendo las piezas.

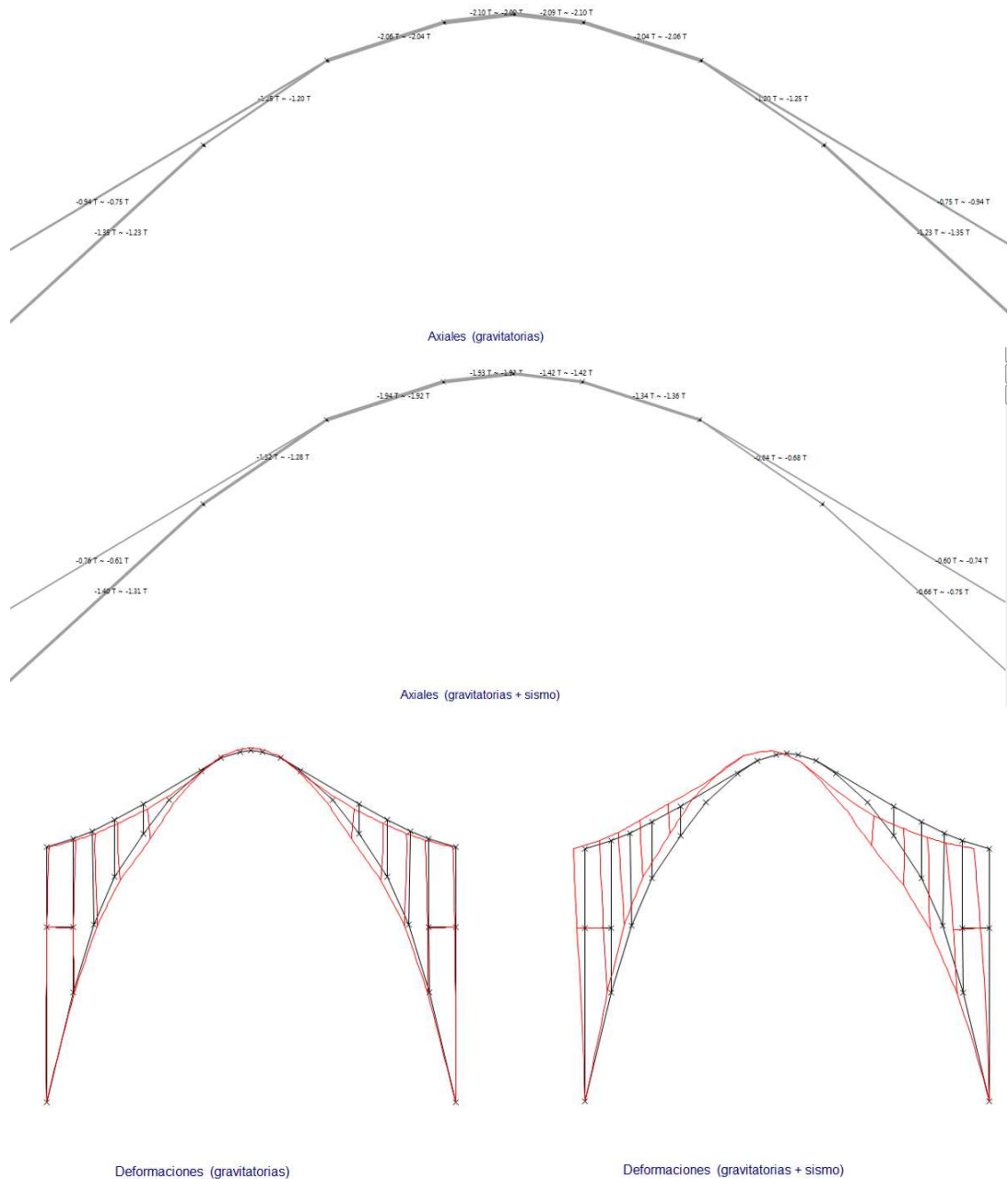


Fig. 60,61,62, 63. Estudio de las Deformaciones de la nave central del celler de Rocafort de Queralt Bodega.
Fuente: Elaboración Porpia.

Podemos observar:

- En ambos casos se muestra el predominio de las compresiones, sin variaciones sensibles en los valores. En las zonas grises la sección está trabajando a compresión.
- Ante la presencia de acciones horizontales en el arco de la derecha se evidencian variaciones en los valores de esfuerzos de compresión con respecto a su vecino pero, sin invertirse el sentido del esfuerzo.

- Los valores de los esfuerzos de compresión entre ambos estados, si bien difieren lo hacen en una no significativa proporción siendo su máxima diferencia apenas superadora de un 10%.

Al analizar las deformaciones se muestra que en la zona de los pulmones del arco y, más leve en la clave, la línea de presiones tiende a desplazarse con respecto a la directriz del arco según el estado de cargas. No obstante, esos desplazamientos no representan excentricidades muy importantes que pongan en peligro la estructura. Obviamente, estas diferencias se evidencian con mayor intensidad cuando consideramos acciones accidentales como las de origen sísmico, pero tampoco llegan a comprometer la estructura.

Como conclusión, según lo visto, los funiculares que quedan evidenciados por la “cuerda” que toma la forma según los pesos que sostiene, podemos decir que estas estructuras que los modernistas diseñaban eran por demás eficientes y capaces de soportar no sólo sus pesos sino también otros tipos de acciones que le permitieron perdurar en el tiempo y, ahora lucir como verdaderas “catedrales del vino”, representantes de un particular momento histórico de Cataluña que aún hoy se disfrutan. El singular sistema de Diseño Estructural estaba en gran parte garantizado por la forma de la estructura principal que sigue la “línea de presiones”, sabiendo que predomina un esfuerzo de compresión en todo el arco y restando sólo realizar una sencilla comprobación de la resistencia de la mampostería, considerando las cargas gravitatorias para asegurar el no agrietamiento.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, Santiago. (1965) Dialnet-HistoriaDelMovimientoCooperativoEnCataluna-1340768.pdf. ISBN [s.n.]
- Heyman, J. (2004) *Análisis de las estructuras- Un estudio histórico*. Madrid. Instituto Juan de Herrera. ISBN [s.n.]
- Huerta, S. (2004) *Arcos, bóvedas y cúpulas*. Madrid. Instituto Juan de Herrera, pág. 26. ISBN [s.n.]
- LaCuesta R. (2009) *Las catedrales del vino*. Barcelona: Angle Editorial, ISBN 978-84-92758-29-6
- LaCuesta R., González,A. (1997) *Arquitectura modernista en Cataluña*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 3a ed.
- Llorens, J. (2012) *De las cerchas a los arcos tabicados*.
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/18072?locale-attribute=es>
- Mercader, Laura. (2002) *Antoni Gaudí – Escritos y documentos*. Barcelona: El acantilado, ISBN 84-95359-64-2
- Ministerio De Fomento - Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02). Gobierno de España

Referencias Web

- https://ca.wikipedia.org/wiki/Celler_de_la_Cooperativa_Agr%C3%ADcola_d%27Ali%C3%B3
- <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18559>
- <http://www.cava-portell.com/es/nosotros/bodega-modernista>
- <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13707>
- [https://ca.wikipedia.org/wiki/Celler_del_Sindicat_Agr%C3%ADcola_\(el_Pla_de_Santa_Maria\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Celler_del_Sindicat_Agr%C3%ADcola_(el_Pla_de_Santa_Maria))

<http://www.doconcadebarbera.com/es/node/132>
<https://www.google.com.ar/search?q=celler+modernista+pira&espv=2&biw=1024&bih=476&tbn=isch&t>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/1476>
http://www.Raimat_Hist_Arq_Memoria.pdf
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13636>
https://ca.wikipedia.org/wiki/Celler_Cooperatiu_de_Barber%C3%A0_de_la_Conca
<http://blogs.descobrir.cat/modernismedinsiforadecatalunya/2014/06/24/cornudella-de-montsant-celler->
<http://www.3viajes.com/bodega-cooperativa-de-falset/>
<https://www.google.com.ar/search?q=arquitectura+de+gandesa&espv=2&biw=1517&bih=714&tbn=isch>
<https://visitasantescreus.wordpress.com/que-visitar/celler-modernista-de-santes-creus/>
<http://www.vila-rodona.altanet.org/niv1.php?id=9>
<https://www.google.com.ar/search?q=celler+modernista+pira&espv=2&biw=1024&bih=476&tbn=isch&tbo=>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/10353>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7076>
<http://www.monografias.com/trabajos21/antoni-gaudi/antoni-gaudi.shtml#funicul>
<http://upcommons.upc.edu/handle/10803/6802>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/18072>
<http://es.slideshare.net/proargex/bodegas-9862072>
<https://es.wikipedia.org/wiki/Raimat>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3850>
https://es.wikipedia.org/wiki/Bodega_Cooperativa_de_Gandesa
https://es.wikipedia.org/wiki/Bodega_Cooperativa_de_Rub%C3%AD
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/23129>
<http://www.coop-barbera.com/es/cooperativa/List/show/arquitectura-184>
https://ca.wikipedia.org/wiki/Celler_de_la_Cooperativa_Agr%C3%ADcola_de_Santes_Creus
<http://www.laopiniondecabra.com/ampliar.php?sec=especiales&sub=colaboraciones&art=1127>
<http://www.monografias.com/trabajos21/antoni-gaudi/antoni-gaudi.shtml#funicul>
Eduardo Quiroga y Eduardo Salomón UNMendoza
https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_visigoda
<http://gaudiallgaudi.com/AMWCatVi.htm>
<http://es.slideshare.net/proargex/bodegas-9862072>
<http://www.vegueries.com/asp/rutasVESP.asp?V=camp%20de%20tarragona&Id=2>
<http://upcommons.upc.edu/handle/10803/6802>
<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/18072>
<http://www.catalunya.com/rutas/ruta-de-las-bodegas-modernistas-24-1-15>