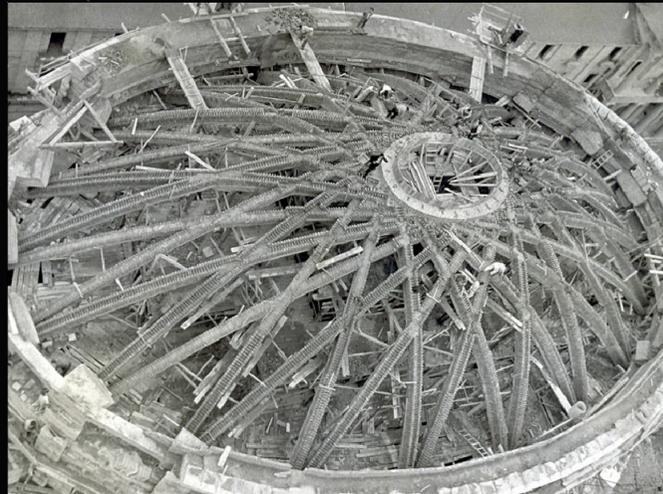


# El Espacio Divinizado. Universidad Laboral de Gijón

Félix. L. Suárez Riestra



MASTER UNIVERSITARIO en REHABILITACION ARQUITECTONICA

Métodos Avanzados de Cálculo para Rehabilitación de Estructuras

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de A Coruña

Emilio Martín Gutiérrez

2011-2012



# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>LOS ORÍGENES</b>
<b>2.</b>	<b>EL PROYECTO</b>
<b>3.</b>	<b>EL PROYECTISTA</b>
<b>4.</b>	<b>DESARROLLO FORMAL</b>
<b>5.</b>	<b>DESARROLLO MATERIAL</b>
<b>6.</b>	<b>CONDICIONES DE ANÁLISIS</b>
6.1.	CONDICIÓN FORMAL
6.2.	CONDICIÓN MATERIAL
6.3.	CONSIDERACIÓN DE CARGAS
<b>7.</b>	<b>IDEALIZACIÓN Y ANÁLISIS</b>
7.1.	PRE-PROCESO
7.2.	PROCESO (ENVIRONMENT)
7.3.	POST PROCESO
7.3.1.	RESULTADOS GENERALES
7.3.2.	RESULTADOS PARTICULARES
7.3.3.	ANÁLISIS EN CONDICIONES DE CARGA TÉRMICA
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>
<b>A.1</b>	<b>ANEXO GRÁFICO</b>

# 1. LOS ORÍGENES.

1. *La Universidad Laboral de Gijón es un monumento al Trabajo: una obra de arte. Pretende exaltar al individuo: hombre racional, elevado al orden sobrenatural, "portador de valores eternos" y no mera máquina que produce.*

*En la Universidad Laboral de Gijón resplandecen las formas clásicas grecorromanas: han sido consideradas como representativas de la dignidad humana.*

"Guía de la Universidad Laboral José Antonio Girón". A. Huerta S.J. (1956).

2. Primeras Noticias en Prensa sobre el proyecto



A la derecha, los pabellones Escuela-Taller, y contiguas, las piscinas para deportes diversos y una de las tres piscinas, con el resto de la edificación, desde el acceso principal.

3. Aquí están casi todos los Técnicos y políticos partícipes, representados en el que se conoció como el "fresco de los frescos", se dice que bautizado así por Ramiro Moya. Curiosamente en esta representación sólo faltan de La Puente y él mismo.

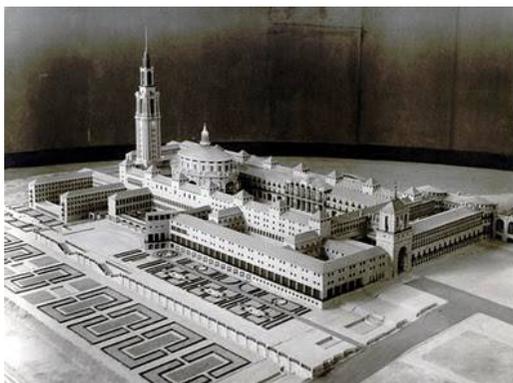


A mediados de los años cuarenta, ocurre un grave accidente minero en la cuenca del río Caudal, en el que fallecen ocho mineros. Esta situación marca el punto extremo de unos años en los que la accidentalidad laboral en las minas alcanza niveles tan altos que se cree que puedan dar lugar a una problemática social no conveniente para el Régimen Franquista. Al funeral de las víctimas acude el subsecretario del Ministerio de Trabajo, Carlos Pinilla Turiño, que se reúne en Gijón con las autoridades locales con el fin de promover la construcción de un Orfanato Minero. De dicha reunión surge la propuesta de constituir la Fundación José Antonio Girón (Ministro de Trabajo por entonces), que destinará sus esfuerzos a: *"la formación cultural, moral, patriótica y profesional de niños huérfanos cuyos padres hayan sido víctimas de accidentes de trabajo en la minería"* <sup>1</sup>.

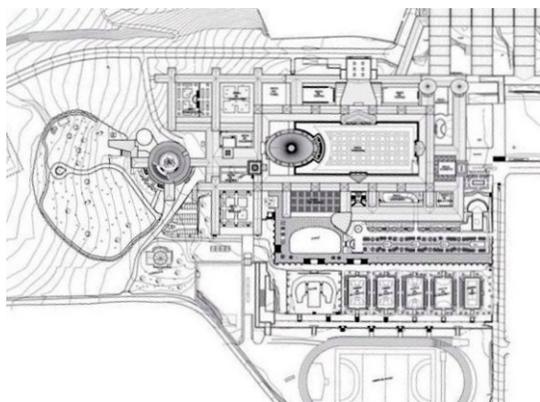
Para ello se proyecta un edificio con capacidad para mil alumnos y que contaría con diversas instalaciones: residencias, escuelas, talleres industriales, granja, instalaciones deportivas, con suficiente extensión de terreno para los cultivos de alimentos básicos (autosuficiencia). Los terrenos "adquiridos" por la Fundación, en la carretera de Gijón a Villaviciosa, llegaron a contar con una extensión de 1.544.572 m<sup>2</sup> cuadrados, de los que 381.551 m<sup>2</sup> se consiguieron mediante el trámite de expropiación forzosa. Una superficie complementaria de 1.464.300 m<sup>2</sup> se adquirió para la Granja Lloreda, en El Infanzón <sup>2</sup>.

El Proyecto (y posterior ejecución) se encargó a un equipo de arquitectos y técnicos afectos al Régimen, dirigido por Luis Moya Blanco y formado, además, por su hermano Ramiro Moya Blanco, el gijonés José Marcelino Díez Canteli, y Pedro Rodríguez A. de la Puente <sup>3</sup>. Los mejores técnicos de la época se

4. Maqueta final del Proyecto desarrollado (1950).



5. Planos Definitivos del Proyecto Director de la Universidad Laboral (en torno a 1950)



6. Pedro Muguruza Otaño (1893-1952) ocupó importantes cargos en el gobierno del régimen dictatorial de Francisco Franco. Fue Director General de Arquitectura desde donde organizó, junto con la Dirección General de Regiones Devastadas, la reconstrucción de los destrozos bélicos. Entre sus obras de este período destacan los trabajos de reconstrucción de la Ciudad Universitaria de Madrid y el Valle de los Caídos. Otras obras relevantes son el Monumento al Sagrado Corazón de Jesús en Bilbao o la reforma de la Estación de Francia de Barcelona.

ocuparon de las diferentes especialidades que el proyecto demandó. Los jardines fueron diseñados por Javier de Winthuysen, que era el Inspector Nacional de Parques y Jardines Artísticos; el proyecto de granja agronómica se encargó al ingeniero agrónomo Gabino Figar; las esculturas fueron realizadas por Manuel Álvarez Laviada y Florentino Trapero; y los mosaicos por Santiago Padrós, sobre trabajos del pintor sevillano Joaquín Valverde.

En abril de 1950, J. A. Girón pronuncia una conferencia en el Ateneo de Sevilla, en la que anuncia la creación de unos *centros para la formación de los hijos de los trabajadores*, es decir, anuncia el nacimiento de la Universidades Laborales. El modelo se inspiró en la Universidad del Trabajo "Paul Pastur" de Charleroy (Bélgica). La urgencia política de dar fuerza a esta nueva idea y los problemas económicos que está atravesando la recién constituida Fundación del Orfanato Minero, favorece que ésta ceda todos los derechos de construcción y uso al Estado, conformando la que se conoce desde entonces como Universidad Laboral de Gijón.

Las obras comenzaron el 1 de abril de 1948, pudiendo fijar su finalización (al menos parcial) el día 25 de Febrero de 1957, día en el que cesó J. A. Girón como ministro. El nuevo ministro, Fermín Sanz Orrio, entre acusaciones de malversación y enriquecimiento de los anteriores gestores políticos del Proyecto, ordenó suspender las obras. Se interrumpieron zonas como el Rectorado y las Aulas Especiales, por lo que podemos considerar el conjunto como obra inconclusa. A pesar de ello el conjunto dispone de una planta de más de 270.000 m<sup>2</sup>, de los cuales 119.759 m<sup>2</sup> corresponden con superficie edificada<sup>4</sup>.

El conjunto dispone de una planta sensiblemente rectangular<sup>5</sup>, con una diagonal de 600 metros, desarrollando un planteamiento de "orden ideal", casi de ciudad estado bajo las ideas más clásicas que reproducen las bases neoplatónicas-católicas que Luis Moya ensalza en su obra (al menos durante un largo periodo de su obra). Además la relación personal que mantiene Moya con el Arquitecto Pedro Muguruza<sup>6</sup>, auténtico prócer de la "Arquitectura Imperial" del Régimen Franquista facilita el desarrollo de esta arquitectura de fundamentos clásicos, lo que posibilita la ejecución de esta obra faraónica, que viene siendo considerada el "mayor edificio construido en España".

7. Las nuevas arquitecturas que se están desarrollando en el espacio de la Universidad Laboral, como el LABoral Centro de Arte y Creación Industrial, obra del Arquitecto Andrés Diego Llaca, tratan de cubrir en buena medida la imagen rígida que caracterizaba visualmente los espacios definidos por Luis Moya.



La enseñanza y dirección del centro se encomendó a la Compañía de Jesús y la intendencia se encargó a las monjas clarisas, que disponían de un convento en el mismo recinto. En 1978 se sustituye a los jesuitas y se entrega la dirección al personal docente de las Universidades Laborales. Años después, también se rescindió el convenio con las monjas. En 1979, las Universidades Laborales pasan a convertirse en Centros de Enseñanza Integrada, y a partir de 1996 se denominará Instituto de Enseñanza Secundaria Universidad Laboral, momento en el que contaba con 2.250 alumnos.

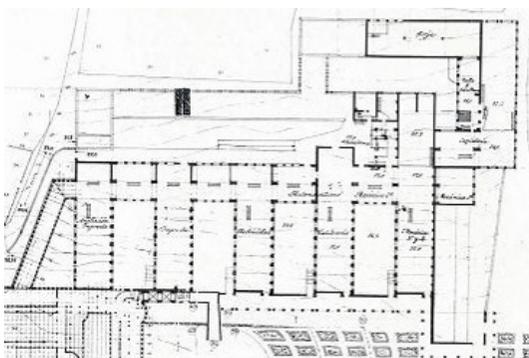


La Universidad Laboral fue transformándose con el paso del tiempo y adaptándose a las nuevas necesidades, y en la actualidad ha dejado buena parte de su función docente para convertirse en un espacio social conocido como "*Laboral. Ciudad de la Cultura*", fruto de un proyecto de reacomodo que el Gobierno del Principado de Asturias acomete desde el año 2001 y que aún continuará durante bastantes años 7. La sede de Radiotelevisión del Principado de Asturias en el antiguo Convento de las Clarisas, **LABoral** Centro de Arte y Creación Industrial, el Centro Integrado de Formación Profesional, el Patio Corintio que alberga la Tienda y zona de Recepción de Visitantes, la Torre, la

Escuela de Arte Dramático y Profesional de Danza, la Iglesia, el Café, el Teatro, el Paraninfo y la Facultad de Comercio, Turismo y Ciencias Sociales "Jovellanos", son algunos de los espacios que tienen su sede en la Ciudad de la Cultura y cuyo número da idea de la extensión construida del recinto.

Estas nuevas actuaciones se están llevando a cabo en espacio situados en la periferia del recinto, tratando de "recuperar" los espacios de menor compromiso formal con respecto a la idea germen de Arquitectura Imperial que domina el Proyecto original <sup>8</sup>. Aunque la imagen exterior de estos nuevos espacios ha tratado de distorsionar la imagen "clásica" de la arquitectura original, la riqueza visual de los espacios interiores ha obligado a su conservación prácticamente intacta. Las referencias a edificios históricos se encuentran presentes incluso en partes de la edificación en la que se asumen nuevos requerimientos de uso derivados de la "modernidad".

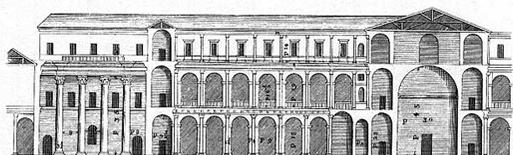
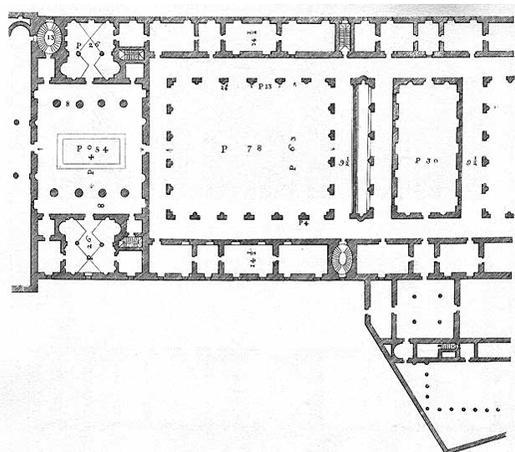
8. Riqueza visual de los espacios exteriores de las zonas "menos nobles" del conjunto y que actualmente albergan diversas salas del LAB.



Tal podría ser la solución para los Talleres Laborales, en cuya concepción Luis Moya confesó haberse inspirado en las Termas de Caracalla de Roma, diseñando unas bóvedas de hormigón atirantadas, en pendiente descendente norte-sur, de modo que cada tramo permitía intercalar un ventanal orientado al norte para lograr una buena iluminación natural. El módulo base, una bóveda de 19,20 metros de luz y 9,60 metros de largo, se repite indefinidamente, tapizando con el mismo sistema constructivo una extensa superficie robada a la antigua ladera. A pesar de la rigidez de la trama, la adaptación de la edificación a la topografía da como resultado una gran variedad tipológica, con naves espacialmente diferentes, encontrándose, en ocasiones, sorprendentes soluciones estructurales.



9. Acceso a la Plaza Central desde la Puerta de Acceso, atravesando el "Patio o Atrium Corintio". Comienza a señalarse el recorrido visual, el eje director que nos lleva directamente a la contemplación del Patio abierto y la Iglesia como fondo de este espacio.



La aparente permisividad formal con que estas nuevas actuaciones se están llevando a cabo en espacios exteriores al recinto principal chocan con el respeto al Proyecto Original con que se han planteado las actuaciones de reforma y rehabilitación parcial desarrolladas en el intradós de los muros que delimitan el gran recinto, y en el que se encuentran los edificios destinados inicialmente a un uso más noble

Atravesando la gran puerta de acceso y tras el que se conoce como "Patio o Atrium Corintio"<sup>9</sup> se accede a la Plaza Central, patio descubierto, que con unas dimensiones similares a la Plaza de San Marcos de Venecia (ciento cincuenta metros de largo por cincuenta de ancho), hace la función de plaza mayor del recinto, estructurándose todo el complejo en torno a él. Por supuesto, en el centro del lado menor, remarcando el eje longitudinal del recinto, se sitúa el edificio principal, la Iglesia, que preside la plaza, conformando el único espacio de todo el recinto abierto que se aparta de la rigidez y limpieza compositiva que denotan los insistentes planos ortogonales que dominan el resto de las construcciones, que más que aisladas, se conciben como elementos pertenecientes a un listado secuencial de usos cuya presencia sólo es visible a partir de ligeras "alegrías" en el frente de acceso a los mismos. El Teatro o gran Salón de Actos, la Rectoría, ..., aparecen únicamente enmarcados por la columnata que señala el punto de ingreso, sobresaliendo un tanto del plano continuo de fachada. Sin embargo la Iglesia merece la especial atención de conformar un cuerpo independiente, vinculado al resto del conjunto a partir de dos ligeros espacios de transición.

10. Imagen "propagandista" de la Universidad Laboral, realizado por R. Gómez Gimeno.



11. Bocetos de concepto del interior de la Iglesia en fase muy inicial, obra del propio Luis Moya.



De esta manera la Iglesia se convierte sin duda en el edificio más espectacular del conjunto arquitectónico de la Universidad Laboral <sup>10</sup>. Con una superficie de 807 m<sup>2</sup>, es la Iglesia de planta elíptica más grande del mundo<sup>11</sup>. En el exterior, sobre el dintel de la puerta, está colocada una imagen de la Virgen de Covadonga en una hornacina central y, flanqueándola, cuatro columnas corintias sostienen las imágenes de San José, San Ignacio, San Pedro y San Pablo. Por encima, el Apóstol Santiago a caballo y dos ángeles adorando una reproducción de la Cruz de la Victoria, símbolo de Asturias, obra del escultor Espinos realizada en bronce con incrustaciones de cristales, mármoles y piedras de color. Desde luego la iconografía desarrollada deja bien a las claras la intencionalidad del uso a que se destina el recinto: Asturias cuna de la Reconquista, con Santiago de adalid, conjuntamente con la imagen alusiva del sacrificio a través del trabajo y del sacrificio a través de la meditación espiritual.

Pero si la Iglesia se convierte en edificio prioritario, será la gran cúpula elíptica <sup>12</sup> que la corona, el elemento que mayor atracción provocará desde el mismo momento de su concepción y a la que Luis Moya dedicará una especial atención.

*En el interior, aún sin terminar, se puede admirar la cubierta “audaz y valiente” según la han calificado revistas extranjeras.*

*Es una bóveda de ladrillo formada por el sistema de nervios cruzados al modo hispanoárabe y de tradición mediterráneo-oriental. Son arcos de ladrillo, unos de 40,80 metros de luz y otros de 25,20, sin elemento metálico.*

*La cúpula pesa dos mil trescientas toneladas. De ellas mil de ladrillo contrarrestadas por un zuncho de hierro elíptico de cien toneladas. Las dificultades de su construcción fueron mayores por tener esa forma elíptica, siendo diversos, naturalmente, los empujes de los arcos de 40,80 metros a los de 25,20.*

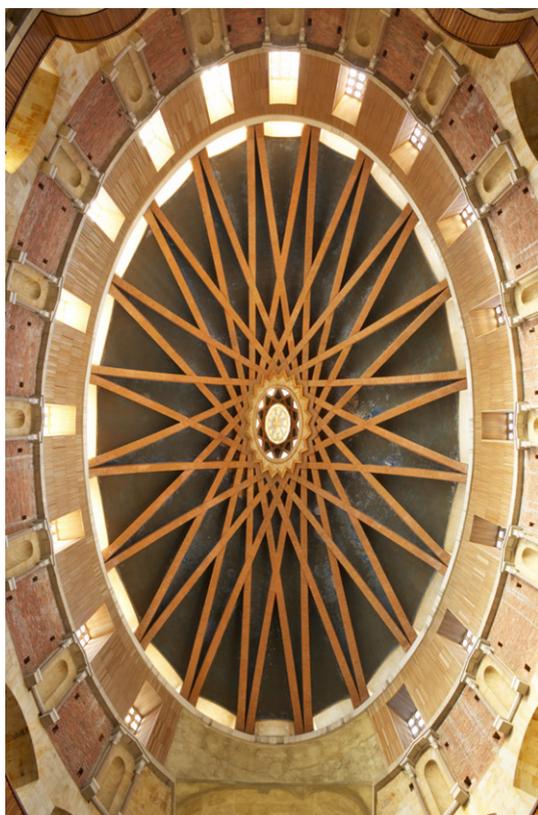
*Al terminar la construcción los arcos se apuntaron por la fuerza de presión del zuncho de hierro. El linternón, cierre de la cúpula, con sus trescientas toneladas, hizo que los arcos recobraran su exacta posición.*

*Dejan en el centro un hueco en forma de estrella.*

*El momento de quitar los andamios fue de cierta expectación. Poco a poco fueron desapareciendo los soportes. Allí estaba la valiente cúpula cubriendo la Iglesia, para ser contemplada en toda su belleza. Al entrar arrastra la mirada de todos los visitantes.*

“Guía Artística de la Universidad Laboral de Gijón” (1965).

12. Imagen de la solución “nervada” utilizada para cubrir el espacio de la planta elíptica.



## 2. EL PROYECTO \*.

1. Aspecto anterior al proceso de cesión de la Iglesia para usos propios de la Ciudad de la Cultura (2006). En la actualidad se mantiene esta configuración, no habiendo sido aún desacralizada, aunque en su interior se efectúan exposiciones y reuniones de todo tipo.



La concepción del Proyecto comienza en torno a 1947 y se desarrollará de forma continuada durante el desarrollo de las propias obras (hemos fijado la fecha de inicio en abril de 1948 y su final, al menos de forma parcial y continuada en el mes de febrero de 1957). Resulta normal que en un periodo de más de diez años se desarrollen continuas modificaciones, que conforme notas de Ramiro Moya se podrían ordenar en un número de 16 Proyectos sucesivos. Aún así podemos comprobar la semejanza que existe entre la imagen alusiva que se ha mostrado en el apartado anterior, correspondiente a bocetos muy iniciales y el aspecto final que presentó la construcción finalizada <sup>1</sup>.

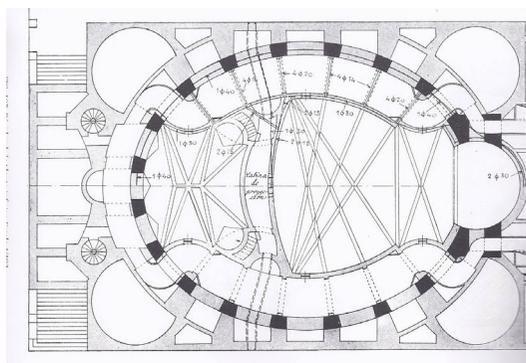
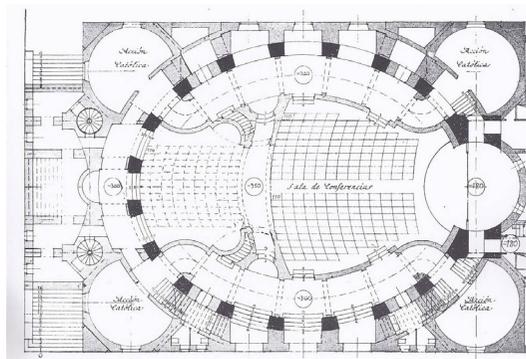
La razón no es otra que Luis Moya tenía muy clara la forma en que se ha de materializar una arquitectura religiosa. Entiende que el programa, ha de determinar la solución formal, de tal manera que el tipo de iglesia, su estructura espacial y organizativa, debe resolver de forma clara los problemas derivados de su función, potenciando además su fin.

La concentración de la gente, la liturgia, la acústica o la visión, han de ser condiciones resueltas por la propia forma de la construcción. Pero además la función del edificio debe de ser patente para cualquier observador. Entiende de esta manera que la correcta solución para una Iglesia ha de fundamentarse en la tradición icónica y formal que hemos arrastrado durante siglos.

\* Dada la extensión del espacio ocupado por el conjunto edificado, nos ocuparemos solamente de los aspectos que se refieren con mayor concreción a la Iglesia y especialmente a la cúpula que la corona.

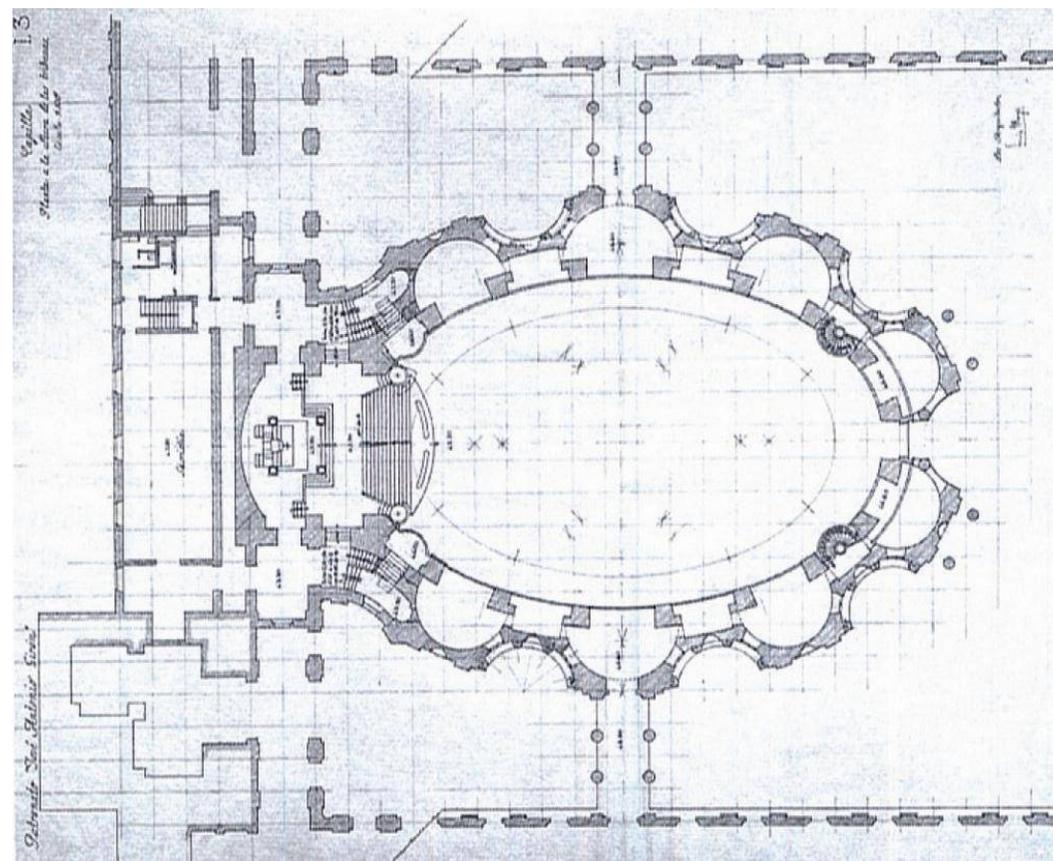
2. "El tipo es como sigue: La Iglesia se eleva sobre un podio que aloja la cripta. Sobre él se traza una única nave de forma elíptica, encerrada por un doble muro que aloja las exedras y capillas laterales, con las entradas en un extremo del eje mayor y el presbiterio ocupando una gran exedra elevada en el contrario. A uno y otro lado del presbiterio y de las entradas se disponen cuatro capillas de planta circular. La nave elíptica, de altas proporciones, queda definida en su parte baja por un sistema de arcos rebajados sobre grandes machones que dan paso a exedras y capillas, escaleras y entradas. Sistema continuo excepto en el presbiterio, al que se destina la exedra más alta y más ancha. La nave se prolonga verticalmente mediante un tambor perforado por algunos huecos y cubierta mediante una cúpula de arcos entrecruzados y rebajados".

"La Arquitectura de Luis Moya". Antón González Capitel.



Planta de la Iglesia de San Agustín (Madrid, 1946-1950) que bien puede ser considerada como la "hermana menor" de la Iglesia de la Universidad Laboral.

El clasicismo, el ideal artístico de la tradición heredada se convierte en la razón que determina el "orden preciso" de las cosas, y esta ha de ser el fundamento básico para la construcción de la "casa del creador perfecto". La experiencia que poseía Luis Moya en la construcción de Iglesias y espacios religiosos, y su amplio conocimiento de la tradición clásica le permiten crear un cierto patrón formal que asegure el buen fin de lo proyectado<sup>2</sup>.



Pero no debemos olvidar que a esa solución se llega desde el adecuado compromiso entre función y forma, sin desligarse en ningún momento de las necesidades mecánicas que derivan de la consecución de ese espacio

- La importancia de la Iglesia en el interior de la plaza queda resaltada por el hecho de que el acceso a la misma se realiza de forma sensiblemente lateral, alejada del punto de simetría visual que podría configurar la disposición central del acceso. De esta manera se recibe una impresión "extraña" del volumen de la Iglesia, que parece reflejar una distorsión formal en su construcción. La impresión de cilindro deformado parece hacer resaltar la verdadera forma elíptica que caracteriza su planta.

Podemos apreciar este efecto en estas imágenes tomadas sobre la maqueta original del Proyecto.



deseado. El espacio único que domina su idea de Iglesia perfecta requiere de un sistema de cubierta que resulte así mismo unitario. Surge la cúpula como solución formal (y no solo estructural) que dota al conjunto constructivo y formal de esa idea de unidad.

Dada esta claridad de ideas a desarrollar el Proyecto de la Iglesia de la Universidad Laboral sólo debe de adaptarse a las características propias del recinto en que se engloba. De esta manera la Iglesia adopta además un papel "plástico" al caracterizar la plaza en la que se ubica. A pesar de estar englobada en ella, se independiza un tanto del entorno, a modo de baptisterio, permitiendo resaltar su preponderancia sobre el resto de las edificaciones<sup>3</sup>.



"La citta Ideale" según Francesco di Giorgio (1439-1502).

- La Iglesia ha sido proyectada de modo que los 1000 alumnos y sus profesores ocupen holgadamente la nave en buenas condiciones de visión y acústica (la planta elíptica presenta una superficie de 724 m<sup>2</sup>, con un amplio espacio añadido para procesiones a su alrededor).

El Altar Mayor, que dispone de una superficie de 125 m<sup>2</sup>, se macla tangencialmente al espacio central, presentando también una planta elíptica, pero con dimensiones más próximas entres sus ejes mayor y menor. Se encuentra elevado con el fin de garantizar la buena visibilidad desde todas las ubicaciones y compensar la ausencia de pendiente en la planta de la nave.

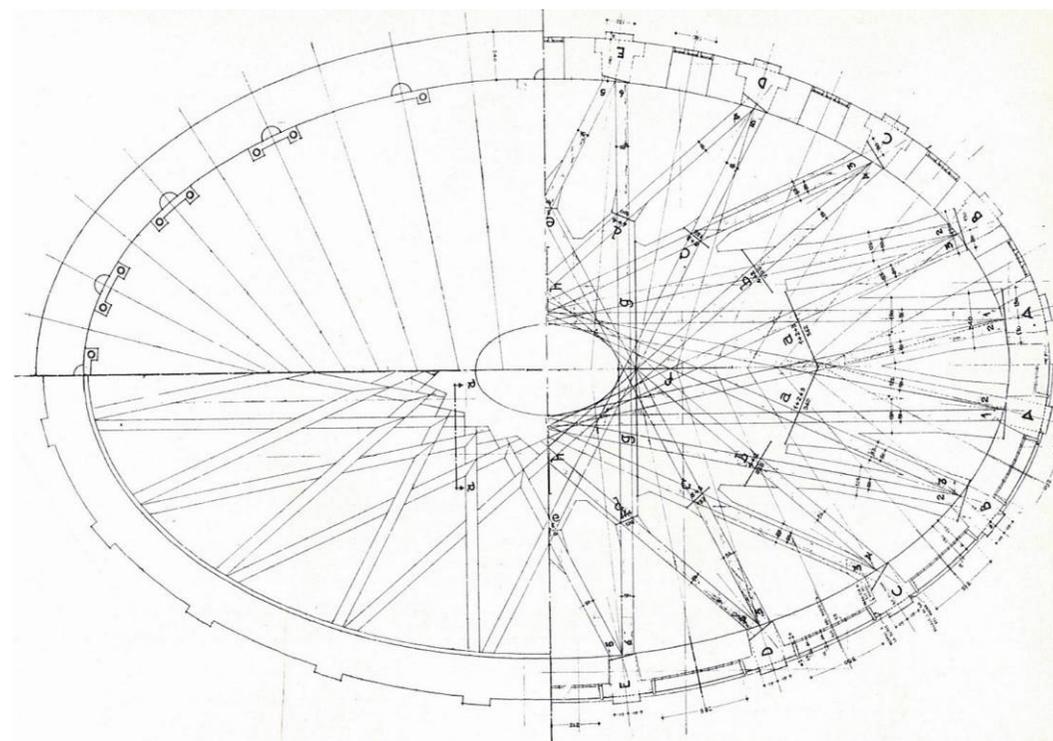
En el espacio restante lateral, por el que podrían discurrir procesiones, presenta capacidad para disponer a otras 250 personas más y en las galerías superiores habría espacio para otras tantas, pudiendo albergar, sin problemas, 1500 personas en buenas condiciones de visibilidad y acústica.

- Imagen de la gran cúpula que cubre la Iglesia.



Resuelto el reto del acceso, los esfuerzos se centraron en dotar al edificio de la monumentalidad acorde con el conjunto, para lo que se adoptaron dimensiones y proporciones suficientes para el uso requerido <sup>4</sup>.

De esta manera surge la planta elíptica, con ejes de dimensiones 38,40 metros por 24,00 metros, que se encuentra cubierta por una cúpula, que la “publicidad” se encargó de estimar con un peso de más de dos mil trescientas toneladas, montada sobre veinte pares de nervaduras de ladrillos cruzadas entre sí que sostienen la estructura principal. La altura desde el suelo hasta el arranque de los arcos de la cúpula es de veinticinco metros y de treinta y tres hasta el centro del óculo.

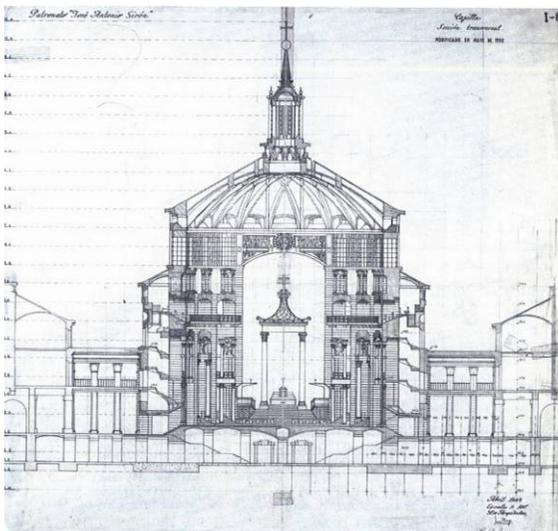


Planta Esquemática del entramado de nervaduras (arcos).

6. Rosetón central en donde se pretendía "proyectar" la imagen de la vidriera dispuesta en el linternón.

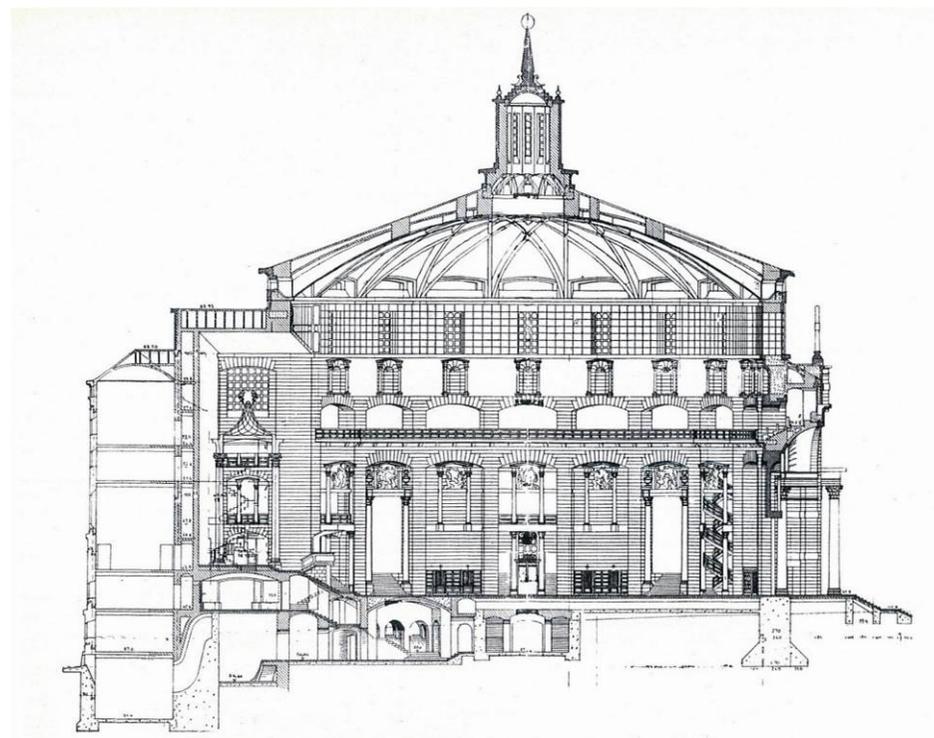


7. Sección Transversal de la Iglesia, por el eje menor de la elipse, en la que resulta visible la esbeltez del conjunto.



Sobre éste se encuentra el linternón de piedra, de 17 metros de altura (que se supone con un peso de 270 toneladas), que alberga una vidriera con la Cruz de la Victoria, que debería de proyectar su imagen en la parte central de la nave (en la que existe un mosaico-rosetón con todos los mármoles y granitos utilizados en la construcción del complejo), aunque en la actualidad no es así debido, según la "opinión técnica de compañeros de profesión del autor del Proyecto", a que la cúpula cedió ligeramente <sup>6</sup>.

El resultado volumétrico se muestra impactante por las proporciones que presentan la relación de planta y sección <sup>7</sup>, dotando al espacio interior de un efecto "ascendente" que provoca en el espectador la inmediata necesidad de contemplar la cúpula, antes aún de percatarse del volumen que encierra.



Sección Longitudinal (eje mayor de la planta elíptica).

### 3. EL PROYECTISTA.

1. Imagen de Luis Moya Blanco durante las obras de construcción de la Universidad Laboral.



2. *"Es evidente que la arquitectura clásica tiene sus normas y reglas, pero junto con ellas también disponemos de la posibilidad de modificar, adaptar o transgredir esas normas, tal como podemos apreciar en la amplia tradición de la arquitectura clásica y, muy especialmente, en los sistemas compositivos de la arquitectura española".*  
*"Sólo la tradición es un camino por el que se avanza"*  
*"La arquitectura cortés" (Luis Moya 1957)*
3. Juan Corominas afirmó que, comparando la Laboral con la arquitectura que él había visto recientemente en Holanda con ocasión del Congreso de la UIA, era patente que a Luis Moya *"se le había parado el reloj"*. A su vez, Luis Gutiérrez Soto le echó en cara que tenía *"demasiadas maletas cargadas de cultura para proyectar"*, apostillando que *"cuando la acción del tiempo borre las fechas, nadie podrá suponer que esta obra colosal se hizo a mitad del siglo XX, de espaldas a la arquitectura de hoy"*.

Tal vez la característica fundamental de la obra de Luis Moya Blanco (1904-1990) <sup>1</sup> sea el perfecto dominio y pericia en el uso del clasicismo, al que accede desde un punto de vista crítico de exploración, lo que le permite adoptar soluciones y recursos un tanto novedosos y originales. La posibilidad de adaptar las normas clásicas a los nuevos espacios derivados de usos actuales dotan a su arquitectura de un efectismo que bien pudo ser utilizado por un "cliente" particular <sup>2</sup>.

En este sentido la Universidad Laboral de Gijón constituye una manifestación del dominio del clasicismo, de sus formas, demostrando que lejos de ser un arte cerrado, encierra en su interior infinitas posibilidades y licencias para la creatividad. El clasicismo como algo evolutivo, y su arquitectura como una etapa más, un momento cualquiera, en la historia de esta tradición.

Sin embargo esta forma de concebir la Arquitectura fue fuertemente contestada por buena parte de sus compañeros que veían como en la que sin duda sería la mayor construcción de la época se adoptaban formas que alejaban a España de las novedosas corrientes europeas. La publicación de la Obra, en la que el autor muestra sus intenciones resulta contestada por artículos y comentarios diversos, que ven en ella una prolongación del atrasado medievalismo español <sup>3</sup>.

Pero junto a esta opinión crítica también hubo algún coetáneo que de alguna manera defendió la postura de Luis Moya, lo que sin duda se entendió también como un posicionamiento político del lado de la jerarquía ideológica del Régimen. Ya he citado a Pedro Muguruza como auténtico estandarte de la

dirección que debiera tener la arquitectura propia de la obra al servicio del gobierno instaurado, y debemos recordar que Luis Moya colaboró durante su época de estudiante en su estudio, lo que bien le pudo servir de pasaporte para realizar trabajos tan cargados de simbología como la reconstrucción y reforma del Teatro Real o la Gran Cruz del Valle de los Caídos, trabajando además, para la Dirección General de Arquitectura.

La defensa de su forma de hacer queda "aceptada" por otros Arquitectos que asumen como en ciertas obras señaladas (especialmente de carácter religioso) resulta deseable adoptar la tradición del clasicismo <sup>4</sup>. Tal vez el germen a tales componentes estéticos pudieran estar en las ideas expuestas por Fernando Chueca Goitia en su libro "*Invariantes castizas de la arquitectura española*" (1947), refrendando la visión de Unamuno en su "*En torno al casticismo*" (1943).

Si bien es cierto que la obra de Luis Moya se fundamenta en un preciso y exhaustivo conocimiento de la mecánica que rige los cánones clásicos <sup>5</sup>, este conocimiento no era más que el pretexto necesario para poder abordar nuevas soluciones espaciales, para lo que eso sí, acudió a los sistemas constructivos que mayor raigambre podrían tener en la tradición clásica española. Sus proyectos y edificios se manifiestan como procesos lógicos de la razón constructiva, convencido de que informa que surge de tal proceso es un lenguaje y ese lenguaje debe ser inteligible <sup>6</sup>.

La defensa de su arquitectura que en algunas ocasiones trata de realizar resulta desdeñada incluso por el discurso que utiliza, en el que resulta posible combinar frases y argumentos que mezclan componentes de arquitectura y sociedad, abordando conceptos de rearme patriótico, moral y cristiano del régimen. Frente a la corriente modernista de la arquitectura ( y apertura de la sociedad) contesta:

*"Creo, sin embargo, que estáis alucinados con estas modas, que tan pronto pasan en nuestro tiempo, y más en nuestro país, donde todo depende de la publicidad en las revistas extranjeras que recibimos, más que de necesidades internas, sean materiales o espirituales [...]"*

*Así que aquí me parece muy justo que se haya querido un edificio concebido en la más noble arquitectura que se pudo hacer, la que corresponde al hombre-héroe del humanismo clásico y cristiano, en vez de la arquitectura del hombre-masa de nuestro mecanicismo".*

4. Miguel Fisac en su artículo "*Lo clásico y lo español*" (1948) en la que desarrolla las ideas de su Proyecto para la Iglesia del Espíritu Santo afirma que la arquitectura española "*va hacia ninguna parte, y aboga por una búsqueda de la esencialización y abstracción de las formas, evitando el ropaje ornamental de los estilos clásicos*".

Sáenz de Oiza por su parte, presenta su Proyecto para la Basílica de la Merced en Madrid (1949), defendiendo una vía intermedia que "*respeta los elementos profundos e invariantes de la tradición española*".

5. Era tal el conocimiento que poseía de algunas construcciones españolas que se conocen anécdotas tales como las que era capaz de sorprender a sus alumnos situándose frente a la pizarra, con dos tizas, una en cada mano, dibujaba la fachada de El Escorial de memoria, desde el centro y con ambas manos al mismo tiempo.
6. "*Luis Moya Blanco manifestó con los modelos de su obra arquitectónica, las cualidades de su vida, aquellos que confieren al hombre los atributos de rigor en los planteamientos intelectuales, atención irónica para el juicio de las cosas, cultura integrada de manera orgánica y acusada imaginación teórica.*"

Enciclopedia Madrid S.XX . Antonio Fernández Alba.

Esta rigidez de pensamiento hacen que su obra precise de un dogmatismo en el que se aúna construcción y razón, y de aquí nace su devoción por las soluciones constructivas tradicionales, razonando su uso en conceptos tanto de eficiencia económica (épocas de escasez de medios) como en el rigor que exigía su uso. En este sentido escribió en 1947 un texto sobre las “bóvedas tabicadas”, sistema constructivo por el que abogaba en base a diferentes razones a las que acudiré en apartados siguientes. Tal vez esta cita del Preámbulo del mencionado texto sea indicador de la naturaleza de su obra y de los requisitos “añadidos” que acompañaban a la construcción de este sistema:

*“Para que este método (bóvedas tabicadas) tenga aplicación económica, es necesario someterse a normas marcadas por la necesidad de respetar una estructura que debe ser lo más sencilla y clara posible. Esto impide las fantasías típicas del “hotelito”, sea de estilo pintoresco, más o menos regionalista, o de tipo cubista o judío. La construcción impone un orden y una dignidad semejantes a las que debían revestir las calles de Madrid en tiempo de Felipe II, según el plano de Teixeiras, o las que se ven todavía en algunos barrios felices de algunas poblaciones españolas; en ellos la sujeción a unas normas señaladas por la honrada construcción en madera (por lo general), ha puesto el sello de una variedad y nobleza como las que deseamos ahora”.*

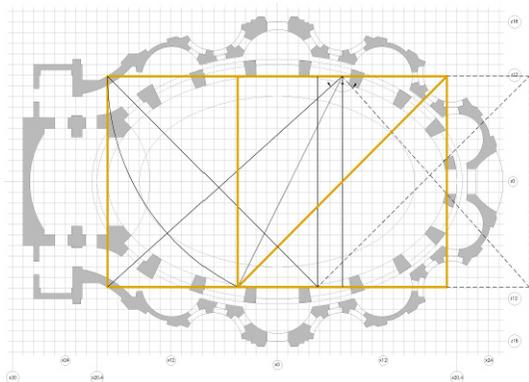
*Bóvedas tabicadas.* Luis Moya Blanco (1947)

Dirección General de Arquitectura. Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento, (2000, 2ª ed.)

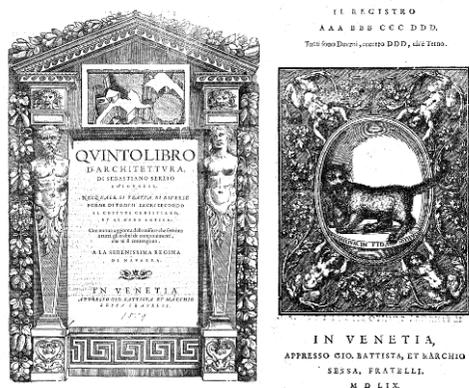
## 4. DESARROLLO FORMAL.

1. El control de las dimensiones era fundamental para Luis Moya. En todos sus documentos originales es visible el uso sistemático de una cuadrícula ortogonal que dominaba y acotaba las proporciones.

La redícula básica era de 1,20 m., con sus sucesivos múltiplos menores de 0,60 m. y de 0,30m. (analogía con el pie castellano). Esta condición hace que las dimensiones en planta de la Iglesia respondan a los 38,4 m. x 24,00 m., es decir, un eje mayor de 32 módulos de 1,20 m, y un eje menor de 20 módulos de 1,20 m.



2. Cubierta del Libro V d'Architettura de Sebastiano Serlio, fechado en Venecia en 1559

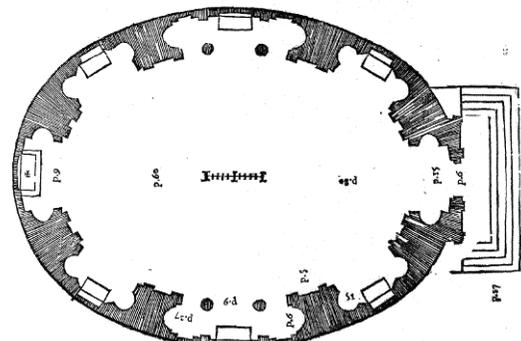


La idea de aunar el deseo lograr un espacio único y a la vez de dotar a la Iglesia del carácter lineal que poseían las plantas basilicales clásicas provoca que Luis Moya adopte la solución formal de la planta elíptica. Parece un figura un tanto forzada, pero es posible aceptar el clasicismo de esta forma si pensamos en su trazado desde el control dimensional que establece la proporción áurea que determina la relación métrica entre su eje mayor su eje menor <sup>1</sup>.

A este respecto podemos citar la influencia que sin duda tuvo la obra de Sebastiano Serlio (1475-1554) y en especial su Libro V <sup>2</sup>, en el que desarrolla las diversas formas que puede adoptar un templo y entre las que se encuentra la forma "oval". En dicha obra se cita que esta figura resulta la más cercana al círculo, figura perfecta y por tanto imagen de Dios, a la que alude:

*"apresso la rotondità perfetta, le forme ovali sono piu vicini a quella et pero m'e parso di formar un Tempio sopra tale figura"*

De la redondez perfecta los óvalos están más cerca, así que me parece que se puede formar un templo sobre dicha figura.



3. En su texto "Bóvedas tabicadas" Luis Moya introduce la problemática asociada a esta falta de "homogeneidad".

*"En el caso de arcos con arranques a distintas alturas es preciso tener cuidado con el zuncho para contrarresto, que no debe dejar libre ningún empuje. A veces puede resolverse el problema con un zuncho corriente, pero colocado en un plano inclinado, y disponiendo, como es natural, el apoyo de la obra inferior por medio de varios planos horizontales. Otras veces no puede resolverse el problema con solo un zuncho, y hacen falta varios en distintos planos horizontales, que han de calcularse para los empujes que se han de producir en los distintos niveles, y que conviene ligar entre ellos por elementos verticales de hierro o de hormigón armado, de modo solidario.*

*Quando los empujes de los arcos son contrarrestados simplemente por un zuncho que trabaja a tracción sencilla, como ocurre con una bóveda de arcos cruzados iguales sobre planta circular, aunque pueden construirse los arcos en cualquier orden, no debe dejarse que empiece ninguno a trabajar antes que los otros, pues la estabilidad del zuncho depende del empuje uniforme en todo su contorno."*

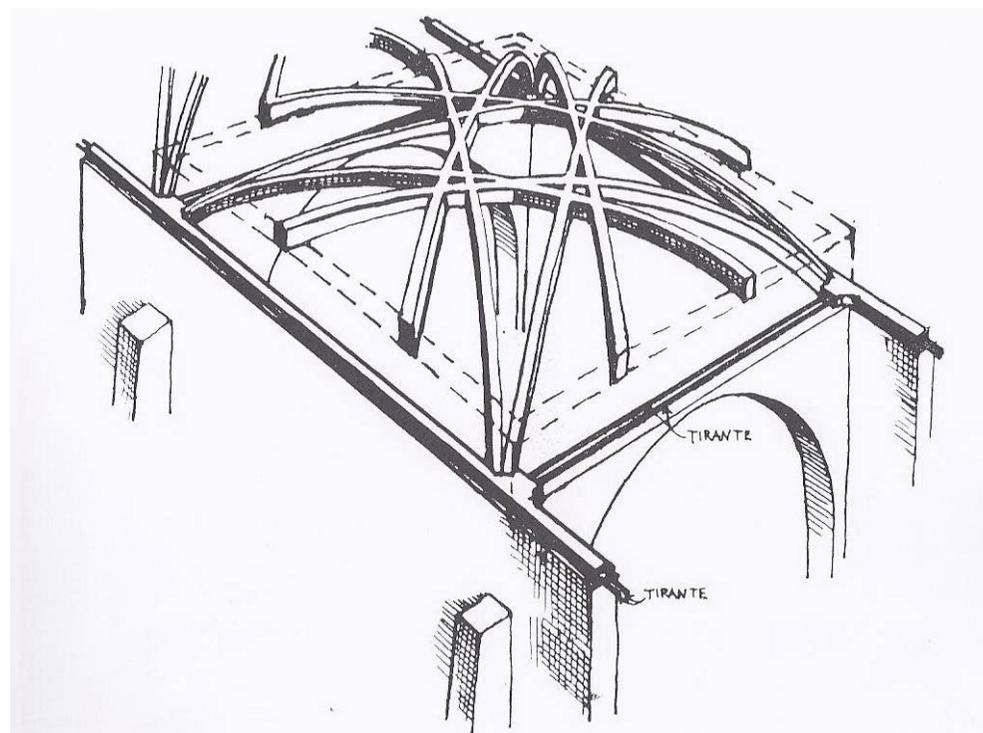
Bóvedas Nervadas. "Bóvedas Tabicadas"

4. *"En luces grandes y para bóvedas sin tejado, como suele ser las de gran tamaño, es preciso prever los movimientos de dilatación de la bóveda y del tirante, para lo cual se deja libre el giro del arranque de la bóveda en su estribo, y éste se hace corredizo. Por consiguiente no se hace solidaria la bóveda con su estribo, ni éste con el muro, el cual para su estabilidad, requiere estar preparado para resistir tales movimientos. Si el muro está acompañado de otras construcciones, deben trazarse éstas de modo que aseguren su fábrica, pero si está aislado deben ponerse pilastras o contrafuertes.*

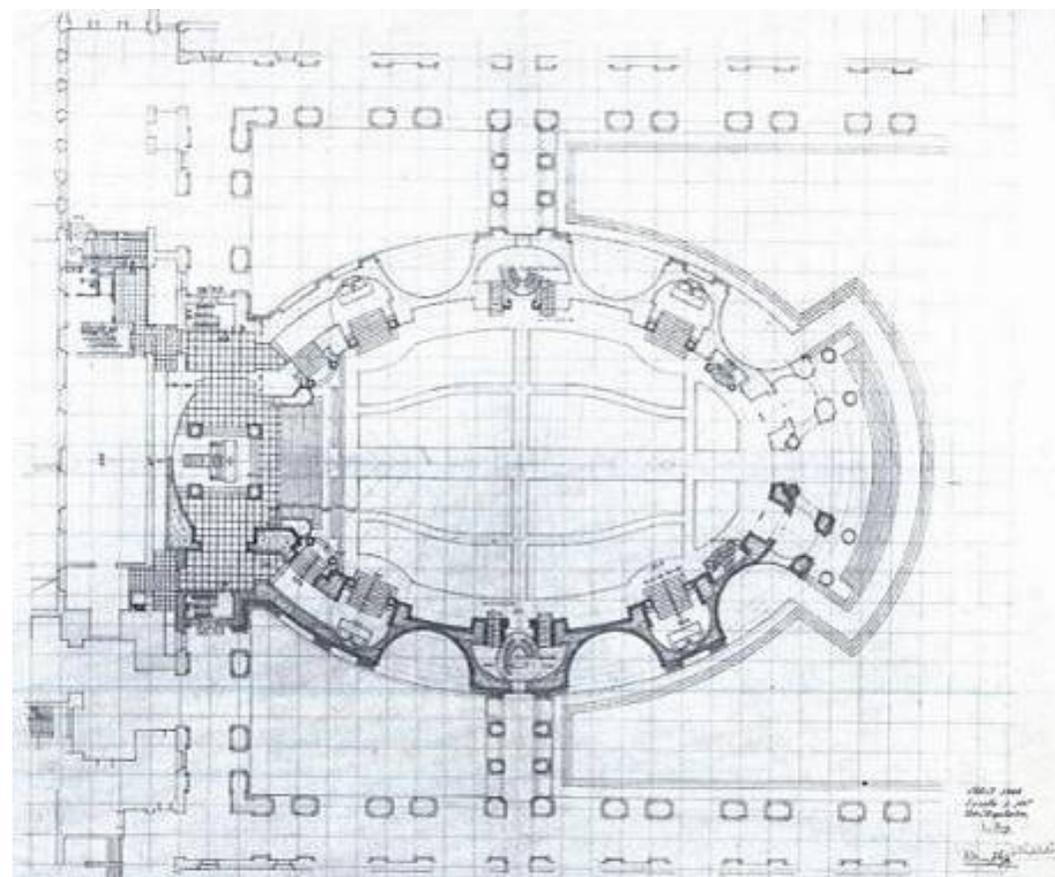
*Si estos apoyos estuviesen siempre bien engrasados, y sus piezas estuviesen hechas con la misma pulcritud que las de un motor, los movimientos de rodamiento y de giro no afectarían al muro sobre el que se apoyasen, pues sólo transmitirían una carga vertical, para lo cual ha debido de ser calculado dicho muro, como es natural. Pero como en la realidad estos apoyos están hechos toscamente y no se hace nada para su conservación y, por tano, están siempre oxidados, los movimientos de deslizamiento y giro son bruscos, produciéndose sacudidas que afectan peligrosamente al muro. Por esta razón no puede dejarse un muro que trabaja en estas condiciones sin elementos de refuerzo, sean de otras construcciones adosadas a é, o sean pilastras o contrafuertes, que absorban el choque producido por las brisacas sacudidas y que lo refuercen en sentido perpendicular a su plano."*

Comportamiento de las Bóvedas ante diversos movimientos. "Bóvedas Tabicadas"

Pero este requisito formal carente de simetría en ambas direcciones, exige un compromiso mecánico. Las diferentes luces que presentan los arcos, que además se encuentran con el borde formando diferentes ángulos, originan distintos esfuerzos en el zuncho y diferentes deformaciones en los puntos de encuentro entre ellos, lo que sin duda plantea grandes dificultades de diseño, cálculo y ejecución<sup>3</sup>.



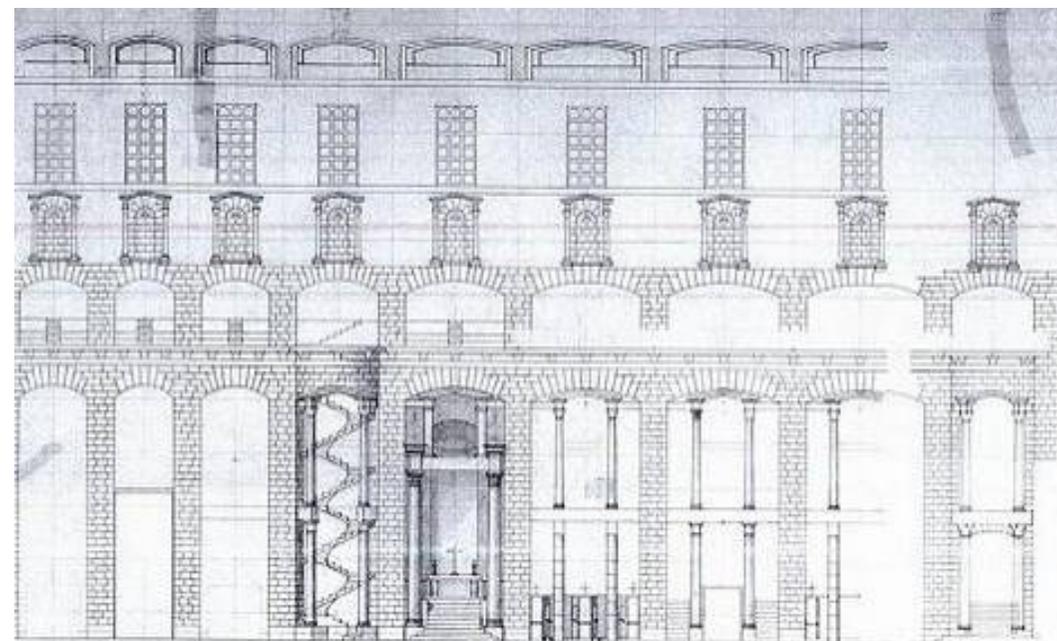
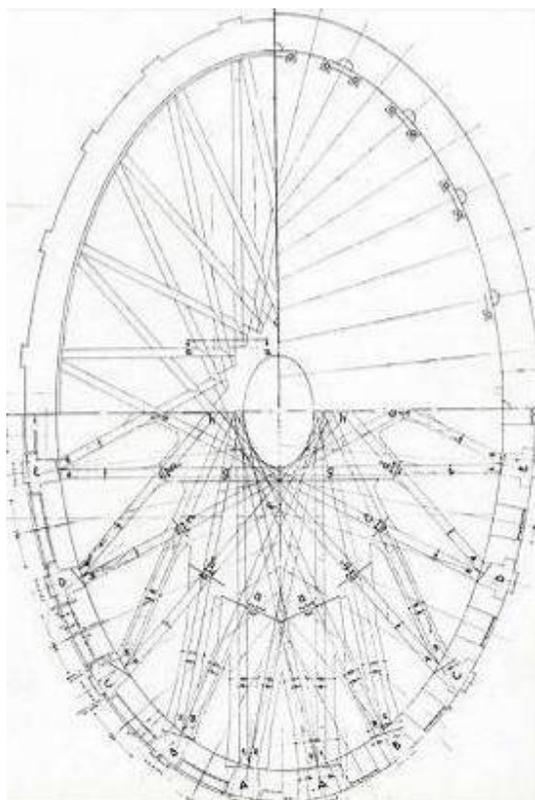
Por si esto fuera poco, se abandona la continuidad formal entre muro y cubierta (cúpula), de tal manera que resulta evidente que no es el muro el que se "pliega" para recoger el plano curvo como podría suceder en las más habituales soluciones abovedadas en las que la forma no abandona su matriz geométrica (acuerdo continuo entre planos). De esta manera resulta evidente que la cúpula se encuentra literalmente apoyada<sup>4</sup> en los muros laterales, conscientemente aligerados para dotar de cierta livianeidad al conjunto.



Efecto de confinamiento y apilastroado efectivo en los "pilares nicho" centrales

Poco a poco la definición formal del Proyecto se adapta de forma precisa a las geometrías acotadas y organizadas que requiere el sistema constructivo, cuyas limitaciones quedan además establecidas por la geometría del conjunto. La distribución en planta responde de manera precisa a las condiciones de solución unitaria deseada para el elemento de cubierta, pero sin que los grandes requerimientos formales que ésta impone queden patentes en el volumen conseguido. Los sucesivos niveles, diferenciados con que se define el alzado

5. Esquema de trazado del aparentemente complejo sistema de arcos sobre la traza elíptica que caracteriza la planta del conjunto.



Alzado Interior abatido en el que se aprecian los diferentes anillos compositivos.

Ya llegamos al “techo” de este espacio, y necesariamente volvemos a apreciar el dominio de la resolución formal en el preciso trazado de los arcos que sirven de entramado de apoyo, eficiente solución estructural y elegancia formal <sup>5</sup>.

*“Ahora se trata de bóvedas apoyadas sobre arcos y compuestas por trozos de plementería que pueden ser completamente independientes entre sí.*

*Los arcos deben ser cruzados, con objeto de que todos apoyen en los muros que cierran la caja de la bóveda. Con esto se consigue que cada uno tenga sus apoyos asegurados independientemente de los demás, y se pueda, por tanto, construir cuando convenga, evitando así la necesidad de disponer cimbras para hacerlos todos a la vez”.*

Es indudable la riqueza plástica que consigue la solución elegida, en el que los arcos se entrecruzan conforme a una directriz tangente en todos los casos a la elipse central que conforma el linternón, originando esa forma estrellada que cautiva, convirtiéndose en verdadero icono no sólo de la Iglesia, sino del conjunto de la Universidad Laboral <sup>6</sup>.

- 6. Imagen alegórica de la forma estrellada en la medalla conmemorativa del 50 aniversario del inicio de la construcción de la Universidad Laboral.

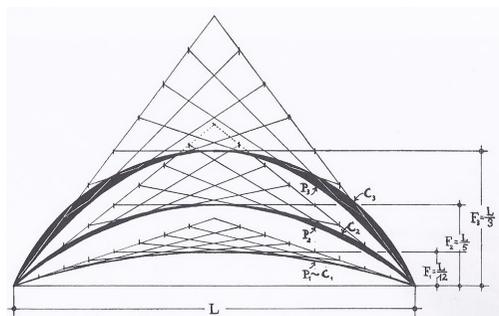


## 5. DESARROLLO MATERIAL.

1. *“Muy antigua es en España la costumbre de construir bóvedas ligeras, y los arquitectos tenemos ahora la necesidad de buscar soluciones para construir con la menor cantidad de hierro posible. Además el hierro de que disponemos es muy desigual, encontrándose, a veces, trozos de una resistencia insuficiente (y parecido es lo que le pasa al cemento), por lo que, para tener cierta seguridad en una obra de hierro o de hormigón armado sería preciso hacer pruebas diarias de estos materiales.*

*Entre las soluciones ensayadas para evitar, o al menos disminuir, el empleo de hierro, aquellas que hacen trabajar a tracción el mortero presentan el mismo riesgo, más agravado aún. La bóveda que trabaja de manera tradicional, o sea a compresión en la mayor parte de su masa, no sólo resuelve el problema de la escasez de hierro, sino que proporciona cierta seguridad ante la posibilidad de que el cemento sea de escasa resistencia en algunas ocasiones”.*

2. *“El modo tradicional de emplear la bóveda ligera, contrarrestada por medio de contrafuertes o tirantes, es guía necesaria para decidir el sistema total de una construcción abovedada, y se requiere el conocimiento de todas las soluciones que se han empleado en otros tiempos, por muy diferentes que parezcan aquellos problemas de los nuestros”.*
3. Imagen ilustrativa de las formas de trabajo con diferentes flechas (entre 1/3 y 1/12) en los casos de carga uniformemente repartida, concentrada en la región central o concentrada en las zonas extremas.



La base conceptual que exigía que el sistema constructivo respondiera a la claridad compositiva del conjunto, en el que espacio y materialización de espacio estuvieran presididos por una lógica irrefutable, condicionó en buena medida la forma en que se acomete la resolución de la “cubierta”<sup>1</sup>.

Conceptos de economía material, ligados a su vez con el mayor respeto a los sistemas constructivos más tradicionales, sobre los que la experiencia ha aportado las suficientes dosis de seguridad hacen volver a las soluciones de fábrica de la tradición histórica. Las escasez de materiales (nuevos materiales de construcción) se une a un cierto desconocimiento de su uso y práctica por parte de los oficios implicados, lo que de nuevo llevará a que Luis Moya se decante por soluciones genéricas contrastadas, a las que la genialidad del autor y la importancia del Proyecto deben aportar la deseada singularidad<sup>2</sup>.

Pero para ello es preciso ajustarse de manera precisa a ciertas reglas compositivas<sup>3</sup>:

*“Las bóvedas tabicadas deben ser muy rebajadas para que resulten baratas y de fácil construcción. Sea cualquiera su forma, conviene que la flecha esté comprendida entre 1/5 y 1/12 de la luz.*

*La forma de la curva depende de lo siguiente: dimensiones, cargas, puntos de aplicación de éstas, empujes posibles en contrarrestos previamente trazados de acuerdo con el plan del edificio, situación en el mismo, relación con la composición general, condiciones acústicas y aspecto que se desea obtener”.*

Secuencia de construcción de las cimbras de apeo y auxilio para la construcción de los arcos y primeras vueltas de ladrillo.



La disposición de una solución mediante nervaduras (o genéricamente mediante costillas de refuerzo) también impone sus condiciones:

*“La forma más corriente, en cada caso, para bóvedas elásticas es la apropiada para estas de rasilla, pero hay algunas diferencias respecto del modo de plantear el problema. Carecemos de datos de cálculo suficientes, en primer lugar. El grueso de estas bóvedas es, además, ligeramente superior al de una membrana de hormigón; pero como, a diferencia de éstas, carecen de armadura metálica, se requiere, en casos de esfuerzos laterales, la adición de costillas de rasilla para conservar la forma elegida.*

*Es tan importante la acción de estas costillas, que se pueden construir bóvedas de rasilla de silueta inaceptable, según el cálculo corriente de una bóveda elástica, con tal de añadirle estos elementos. Por eso se pueden hacer sustituciones de curvas, procurando el uso de las más sencillas de trazar desde el punto de vista artesano, que no deja nunca de estar presente en este sistema de construcción.*

*Finalmente es importante tener en cuenta que la sobrecarga, aunque sea grande, es menos peligrosa que la falta de unidad entre la bóveda y los elementos que aseguran su rigidez”.*

Pero resulta necesario materializar este sistema (aún en el supuesto de “carecer de datos de cálculo suficientes”) y para ello debemos de acotar las características dimensionales a las condiciones físicas y geométricas de las piezas base (ladrillo) disponible.

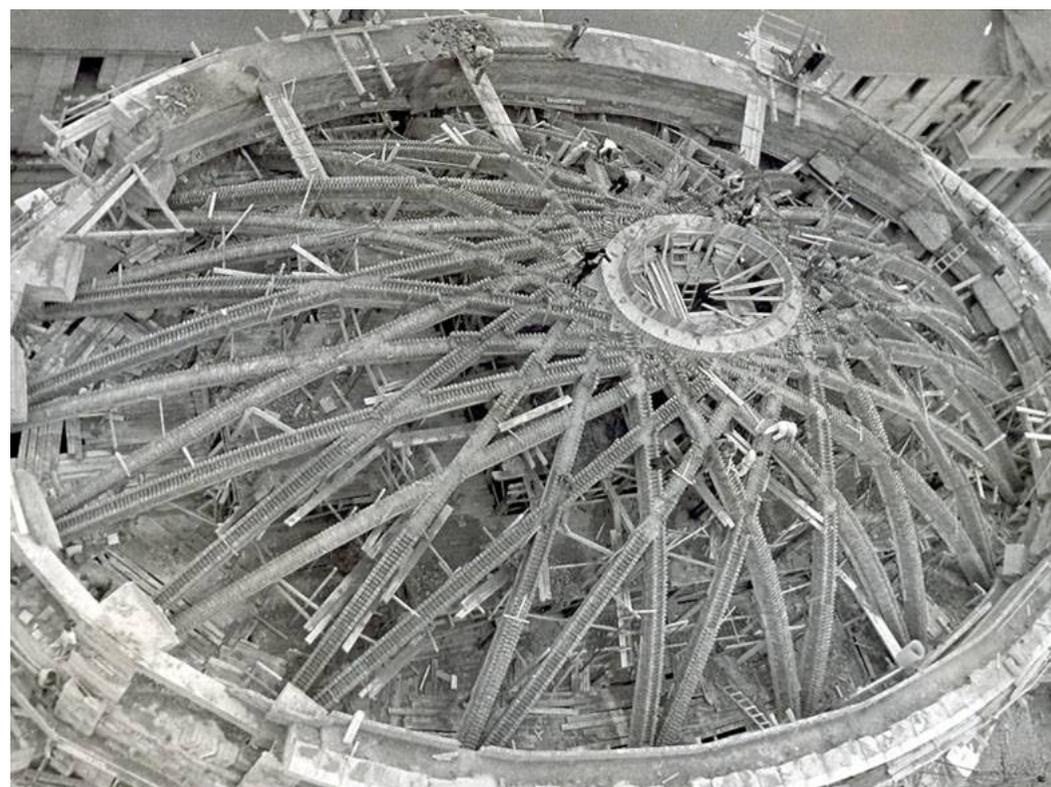
*“El sistema de arcos cruzados tiene la ventaja de la ayuda que se prestan mutuamente los arcos, con lo cual es conveniente contar, pues la pequeñez de la sección de los mismos hace posible que un ladrillo o una mezcla de mala calidad influyan notablemente, reduciendo la sección útil.*

*Es conveniente hacer notar aquí que, tanto en bóvedas como en arcos, es una razón de seguridad la superposición de capas distintas, pues no es probable que todas fallen por mala calidad en un mismo sitio, al contrario de lo que ocurre en una obra de hormigón armado, donde una mala mezcla puede afectar a toda la sección de un elemento de la estructura.*

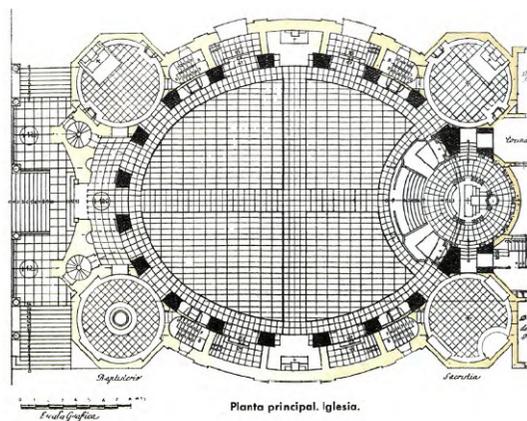
*La seguridad de la obra más que la resistencia teórica, aconsejan construir con ladrillo macizo estos arcos, previendo fallos en la calidad de alguna rasilla o de alguna de sus partes, pues la sección puede ser solamente de ½ asta de ancho.*

*Estos arcos necesitan una verdadera cimbra, aunque esta puede ser muy ligera, pues sobre ella apoya la primera vuelta de rasilla con yeso, y si el arco es grande, otra más de rasilla*

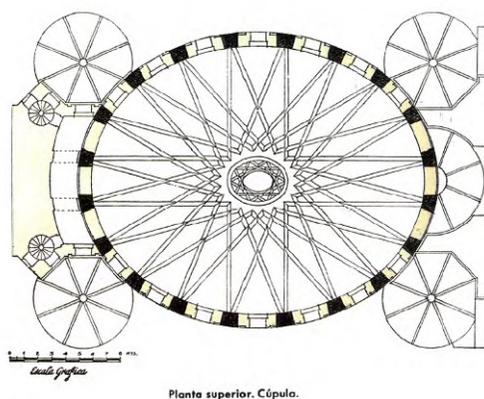
*o ladrillo hueco con cemento, las cuales refuerzan la cimbra y permiten apoyar sobre ella las restantes vueltas, que conviene que sean de ladrillo macizo en muchos casos, pues no interesa, para la comodidad del trabajo, que estos arcos tengan más de 1 pie de ancho. Entonces ocurre que si las luces o las cargas son importantes y se determina que la compresión que ha de sufrir el arco en su sección más forzada, haya que elegir entre estas soluciones: dar mucha altura a la sección, o ensancharla para que sea mayor de un pie, o prescindir de rasillas y ladrillos huecos. Las dos primeras soluciones son muy molestas para la marcha de la obra, pero sustituyendo el material hueco por el macizo de buena calidad, se resuelve el problema perfectamente, pudiéndose hacer arcos de 12,00 m. de luz, con cargas importantes, de 1/2 pie de ancho, con 5 correas de ladrillo macizo, los cuales resultan tan delgados que es de temer su pandeo, y por eso sólo pueden emplearse cruzados con otros semejantes”.*



- La Iglesia de San Agustín, se inició en el año 1946, desarrollando el "tipo" de esquema perfecto ideado por Luis Moya. En este caso la planta reproduce una elipse de dimensiones 24,00x19,20 m., con una altura en arranque de bóveda de 16,20 m. y una altura central de 21,00 m.



En la Planta se pueden apreciar los 16 pilares y los machones del presbiterio que conforman el apoyo de la bóveda principal.



Estos conceptos teóricos son materializados en esta obra con dimensiones un tanto "engrosadas" con respecto a las propuestas genéricas que Luis Moya desarrolla en su tratado. Hasta la fecha de concepción de la Iglesia de la Universidad Laboral, el mayor reto abordado de características similares resulta la Iglesia de San Agustín<sup>4</sup> (Madrid). La analogía es total entre ambas, en cuanto a concepción de la solución estructural, pero en el caso de San Agustín, las dimensiones de la elipse resultan mucho menores, en concreto presenta unos ejes de 24,00 metros por 19,20 metros, lo que permite acometer la solución con esa sencilla solución de "1 pie de ancho y cinco vueltas de ladrillo".

Las menores dimensiones de planta y la ligereza con que se solucionan las nervaduras permiten asumir unas cargas relativamente bajas, al tanto que resulta posible resolver los apoyos principales mediante un sistema de de "pilares" de ladrillo o bien mediante encofrados perdidos de 1/2 pie de ladrillo, convenientemente atado con llaves de 1 pie, rellenos posteriormente de hormigón en masa. De esta manera se configuran los 16 pilares y dos "machones" que delimitan el presbiterio y que sirven de apoyo al conjunto de la bóveda principal. El propio Luis Moya ensalza la ligereza de la solución propuesta, al punto de determinar que "la carga en ellos (refiriéndose a los pilares) no pasa de cuatro kilos por cm<sup>2</sup>".

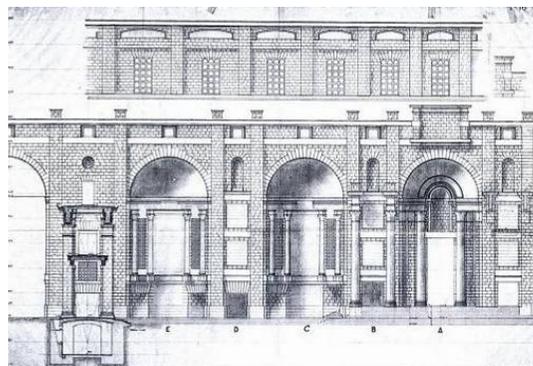


5. En el desarrollo de la Iglesia de San Agustín adopta el módulo de 2,40 metros para realizar todo el trazado, tanto en planta como en alzado, usando como divisiones principales las dimensiones menores de 0,30, 0,60 y 1,20 m. El propio Luis Moya afirma:

*“Las relaciones de medidas se han hecho, en lo que alcanzan nuestros conocimientos, con arreglo a lo hecho por los arquitectos griegos y a lo explicado por Platón en el “Timeo”, que tanto contribuyó a formar el sistema de San Agustín: <Sive in rhythmis, sive in ipsa modulatione intelligebat regnare números totumque perficere>”.*

La cita corresponde al Cap. XIV, del Libro II de “De Ordine”, comprendió de escritos del propio santo y aunque relacionado con el “ritmo” musical, deja claro como en los números se puede encontrar la perfección.

6. Esquema de Alzado Interior de la Iglesia en el que se puede apreciar el juego de vacíos entre plantas

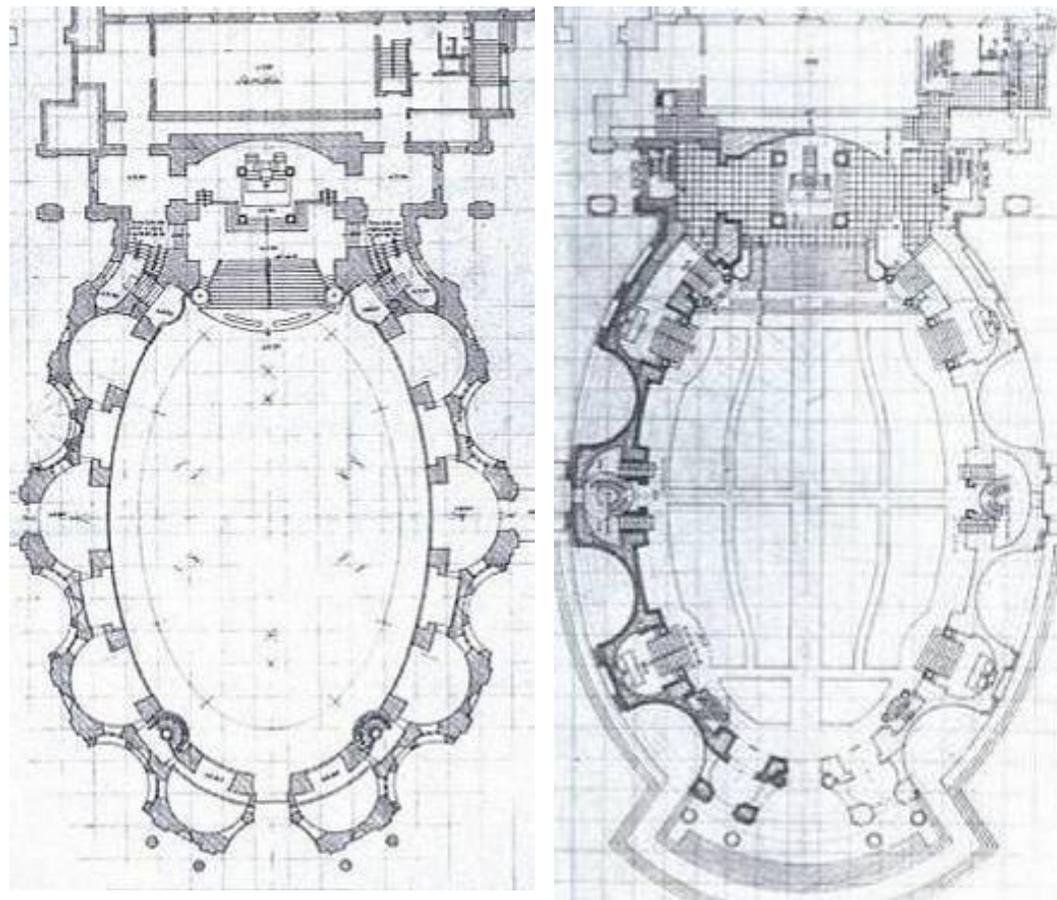


Bien podemos suponer que el ensayo de San Agustín establece muchas de las posteriores soluciones desarrolladas en la Universidad Laboral, pero con una pequeña diferencia de “escala”. Las relaciones geométricas <sup>5</sup>, el material empleado, la posición y características del zuncho perimetral de hormigón armado, ..., todo resulta válido. Lo único que debemos hacer es ponerlo en proporción a las componentes de esfuerzos que derivan del aumento de escala.

En este caso se enfrentará a unas dimensiones netamente superiores, con una planta de 38,40 metros en la dirección mayor de la elipse, por 24,00 metros en el eje menor. Estas proporciones entre ejes principales de la elipse presentan además un nuevo reto que resulta de la muy diferente relación de empujes que resultarán entre una zona y otra de la bóveda. Si recordamos que la dimensiones de S. Agustín eran de 24,00 x 19,20 m. podemos determinar una relación entre ejes de 1,25, mientras que en la Universidad Laboral esta relación se llevará a 1,60 ( $38,40 = 1,60 \cdot 24,00$ ).



Aún así es posible mantener la disposición relativa y el número de “apoyos” precisos para poder soportar de manera adecuada el peso y empuje de la bóveda <sup>6</sup>. De nuevo se acude a los 16 “pilares”, que en lugar de mantener un ritmo constante se aproximan entre sí a medida que se acercan al eje principal, en la zona del acceso principal a la Iglesia. Simétricamente, al otro lado del eje principal se encuentran los dos grandes “macizos” que permiten liberar en parte la planta para dar cabida al presbiterio.

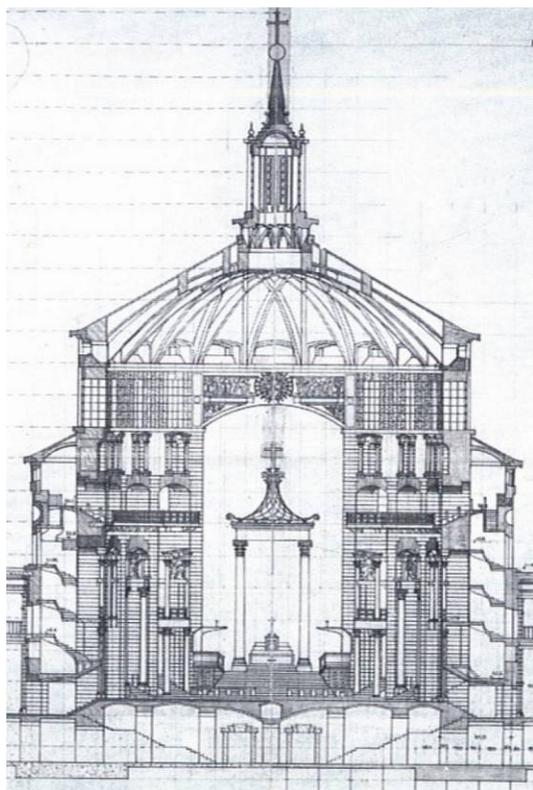


Esquema de la Planta Principal. Cota +0.00 m. Esquema de Planta-Sección. Cota + 9.60 m.

Las secciones conformadas a modo de pilar presentan una planta trapezoidal aproximada de 2,75 m<sup>2</sup>, encontrándose parcialmente unidas entre sí en grupos de dos, mediante fábrica continua en su parte posterior, lo que permite conformar recintos o nichos en los que albergaban imágenes, pequeñas capillas o se disimulaban escaleras de comunicación con el deambulatorio de la planta superior.

Este sistema de apoyos "puntuales" se ve interrumpido secuencialmente por anillos de confinamiento y reparto, que determinan el ritmo de plantas apiladas que refleja el alzado interior.

Sección Transversal en la que se pueden apreciar los sucesivos anillos de confinamiento y reparto que se distribuyen en altura, determinando la secuencia de tipos formales de cada "planta".



Secuencia de la construcción de muros que configuran la envolvente de la edificación, y los escasos medios "auxiliares" que fueron precisos.



Los sucesivos anillos marcan la transición entre los diferentes estratos en los que la poco a poco los paños ciegos, macizados, ganan presencia frente a la diafanidad de las "plantas" bajas.





7. Disposición del entramado para conformación del anillo perimetral en la zona de entrega de los arcos y cimbrado de éstos.



Conforme nos acercamos a la zona de entrega de la bóveda la fachada interior se presenta más y más opaca. La altura de los huecos se reduce y su porcentaje con respecto al paño ciego resulta mínimo. Hasta que finalmente se alcanza el anillo superior que conformará el necesario atado perimetral en la zona de entrega de los arcos.



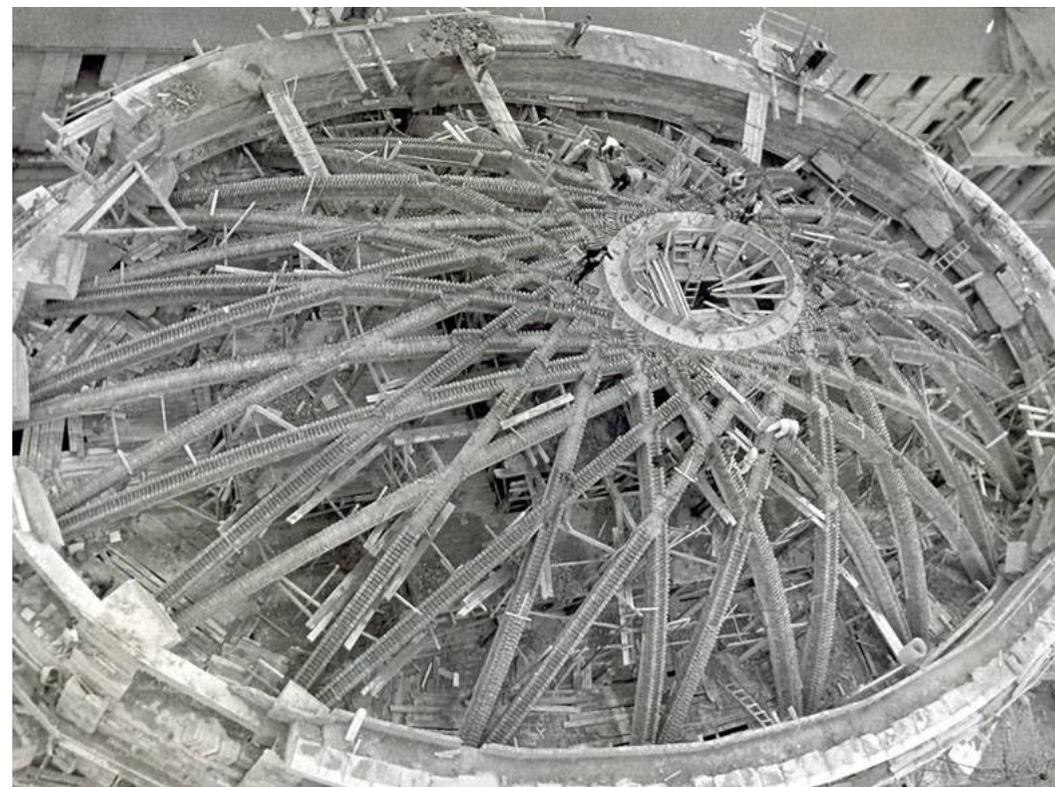
Ya resulta posible comenzar a disponer las cimbras <sup>7</sup> que permitirán la conformación de los arcos entrelazados, cimbrado que se mantendrá hasta la completa entrada en carga de la bóveda. Ya he comentado la secuencia de construcción de esta fase, así que lo único que precisamos es conocer las "dimensiones" adecuadas del sistema para esta luz y, especialmente para esta proporción entre sus lados.

El ancho de todos y cada uno de los arcos resulta de 2 pies, resueltos con ladrillos macizos tomados con mortero de cemento y una pequeña porción de cal, formando un cuerpo de espesor total 5 pies en las zonas menores, y alcanzado los 6 pies en el caso de los extremos de apoyo de los arcos más solicitados.

El tipo de ladrillo es macizo, con tres únicas perforaciones mínimas en su tabla, y unas dimensiones aproximadas de 240 x 120 x 50 mm., no pudiendo definirse un ancho de junta para el caso del mortero, ya que la geometría "curva" del llagueado impide fijar un valor medio, aunque resulta apreciable la contención en su dimensión, al punto de que existen determinadas zonas en las que el contacto lateral de las piezas resulta escasamente impedido.



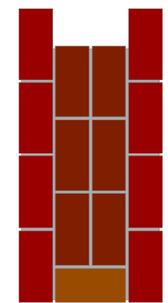
La forma de distribuir el aparejo resulta el de ofrecer a la línea de presiones actuante en el arco la mayor superficie de ladrillo, la tabla, alternando media pieza la disposición de ladrillos consecutivos para evitar en la medida de lo posible la continuidad de junta de mortero.



Con este aparejo se ejecutan secuencialmente los arcos que presentan una especial dificultad de ejecución en el caso de nudos de encuentro entre sí, tanto en el caso de soluciones intermedias, como en el caso de encuentros en coronación, sobre la base del futuro linternón, que se convierte en un auténtico "macizado", en el que la disposición de la fábrica alterna su directriz principal con respecto a la general mantenida en el trazado de los arcos.

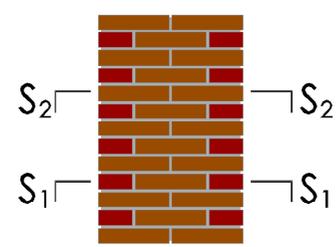


Sección  $S_1$

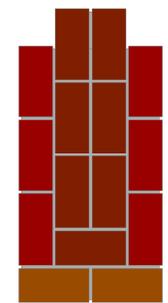


Hilada Par

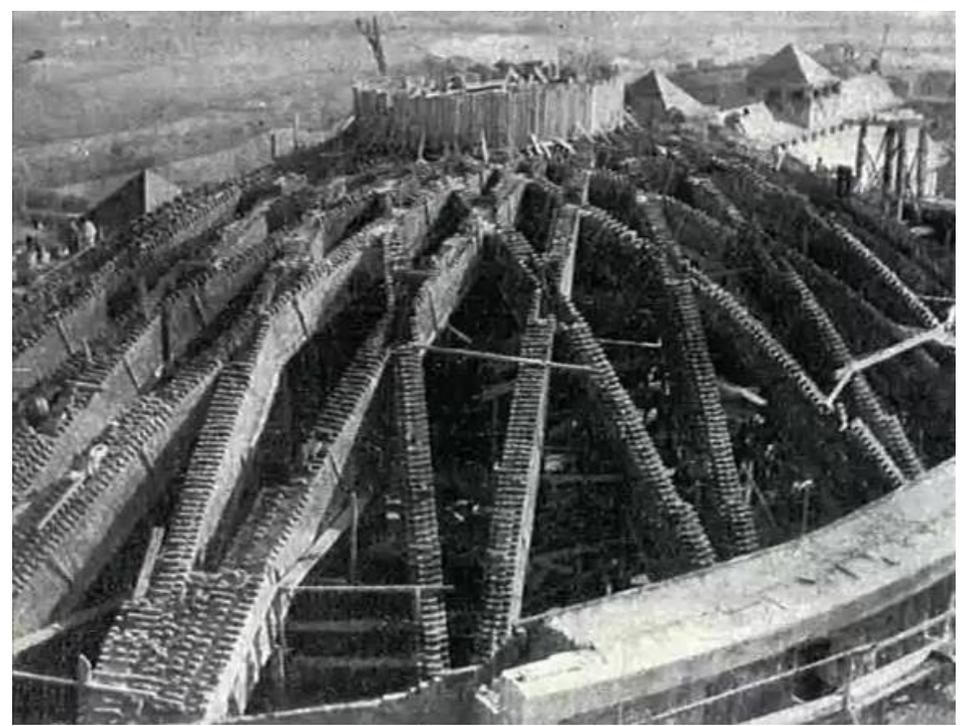
Planta (vista inferior)



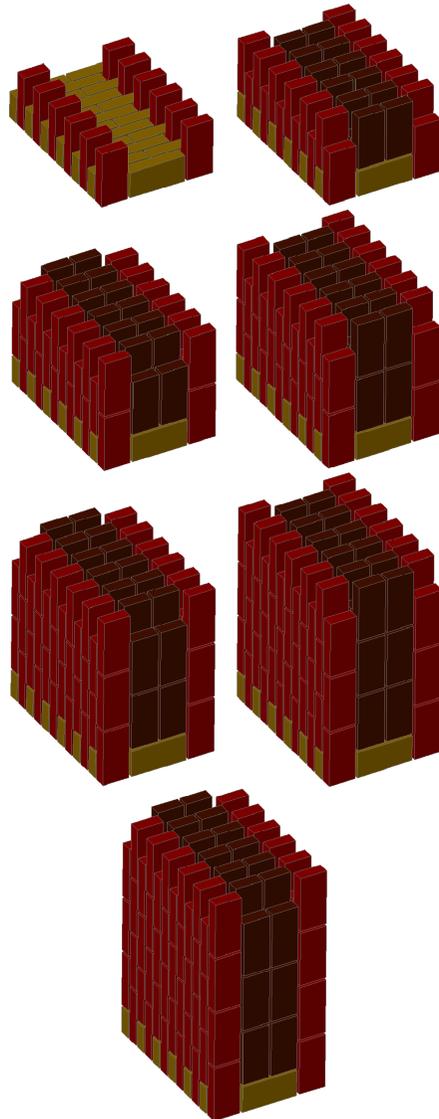
Sección  $S_2$



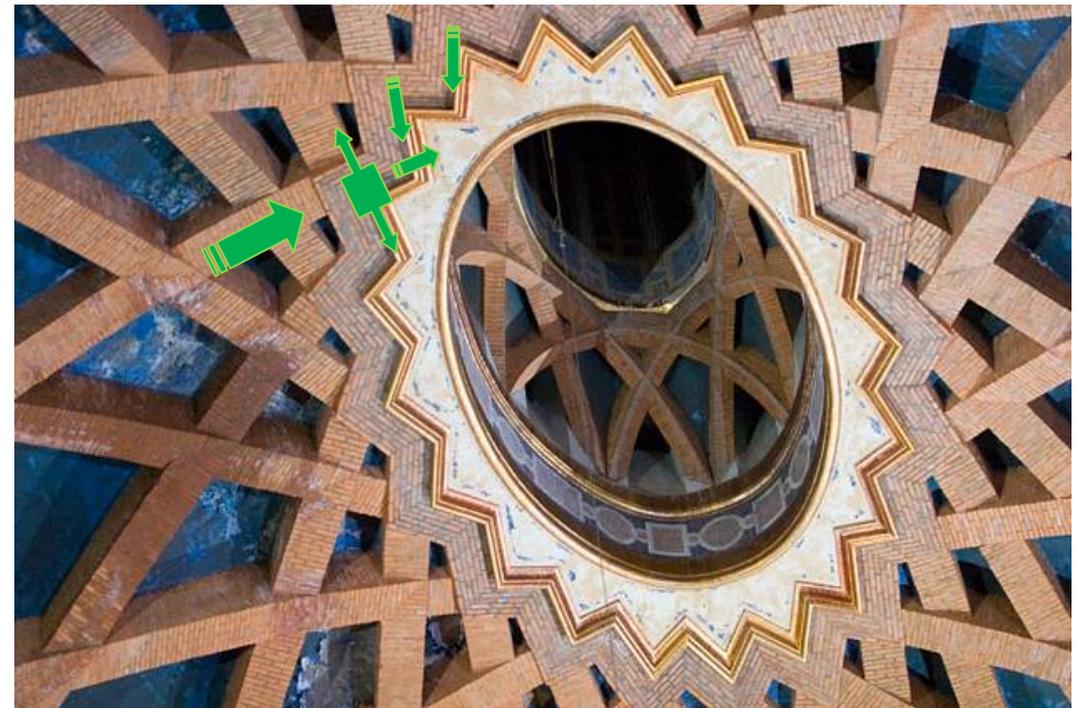
Hilada Impar



Secuencia de la ejecución de los arcos de fábrica de ladrillo que conforman los nervios de la bóveda principal.



Resulta curioso observar como el cambio de directriz en estas zonas de encuentro, además de añadir un componente formalmente estético, incorpora un matiz de sutileza estructural, disponiendo en la zona de entrega, en la que se asume una concentración de tensiones, de una mayor capacidad de trabajo del anillo (estrellado) frente a posibles excentricidades de carga, disponiendo cada punto arco en su entrega de un brazo “extra” dispuesto normalmente a él, que le arriostra convenientemente.



El problema de esbeltez que acompañaría a los arcos trabajando en compresión (pandeo lateral) queda perfectamente acotado por el entrelazado secuencial que se establece entre los arcos de diferente directriz, convergentes en el nudo central estrellado, que se constituye en gran anillo concentrador del empuje de los arcos, repitiendo la planta elíptica del conjunto

El gran anillo dispuesto en la base del linternón se configura mediante un nuevo elemento de hormigón armado que recoge de forma adecuada las solicitaciones de todos y cada uno de los arcos que acometen en este punto, convenientemente acotados por el macizo estrellado anterior.



Más allá de limitar la solución formal y volumétrica de este elemento, se le dota de las proporciones de esbeltez que de nuevo determinan el carácter "ascendente" centralizado que respira toda la construcción.

## 6. CONDICIONES DE ANÁLISIS.

Conocida la geometría en profundidad suficiente para poder resultar válida para el tipo de análisis a realizar, debemos centrarnos en el análisis de las propiedades materiales de los elementos que configuran el sistema portante del conjunto.

Lógicamente resulta imposible determinar con absoluta precisión las características mecánicas de un sistema conformado por la adición de varios materiales y cuya variabilidad de parámetros, más allá de la deseada homogeneidad material, depende de factores tan diversos como podrían ser el contenido de humedad, degradaciones parciales derivadas de obras posteriores, .... No se dispone además de ensayos de caracterización física y/o mecánica de los materiales y/o la fábrica, de tal manera que los valores supuestos no pueden acudir a un patrón de corrección que permita adecuarlos a la realidad física de la construcción.

De esta manera trataremos de acercarnos de la forma más aproximada a los valores de caracterización de los materiales constituyentes y de la fábrica en conjunto, a partir de la bibliografía existente al caso, apoyándonos puntualmente en algún documento normativo que pueda ser de referencia al caso concreto. Para la determinación de los materiales constituyentes nos fundamentaremos en la "lógica" constructiva de Luis Moya, y en el íntimo conocimiento de la forma de trabajo de las fábricas <sup>1</sup> y de las bóvedas <sup>2</sup>.

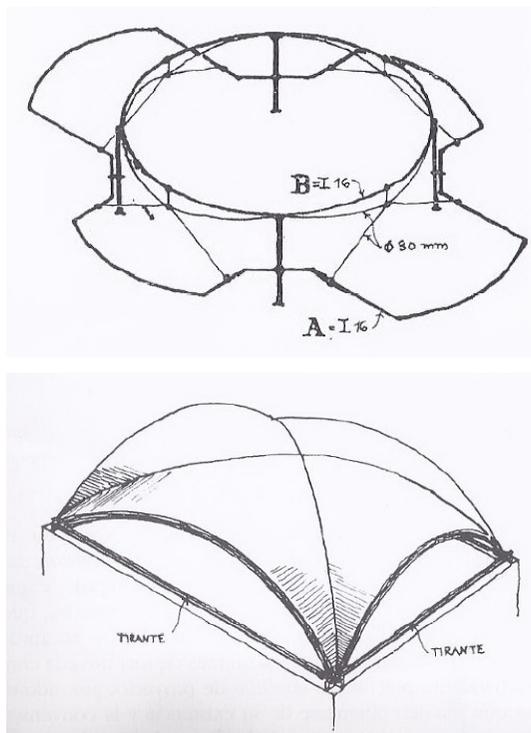
1. *"El material ha sido el usual, de manera que la rasilla, el ladrillo hueco, el macizo cerámico, la arena de río, la de miga, el yeso y el cementos, son los mismos que se emplean en cualquier obra corriente, y esta es una de las causas que explican la extraordinaria economía obtenida.*

*Hay que hacer notar también que se ha empleado cal en las fábricas de muros y pilares, mezclada al mortero de cemento, y estos por tres razones: la primera, por ser menos costosa y más fácil de obtener que el cemento; la segunda, porque siendo la fábrica de ladrillo cara vista en algunas zonas, resulta más agradable su color que el de mortero de cemento solo, y la tercera que es la más importante, porque resulta más flexible el mortero y, por tanto, la fábrica se adapta mejor a este sistema de construcción abovedada que una fábrica demasiado dura y quebradiza".*

2. *"Muy antigua es en España la costumbre de construir bóvedas ligeras, y los arquitectos tenemos ahora la necesidad de buscar soluciones para construir con la menor cantidad de hierro posible.*

*La bóveda que trabaja de manera tradicional, o sea a compresión en la mayor parte de su masa, no sólo resuelve el problema de la escasez de hierro, sino que proporciona cierta seguridad ante la posibilidad de que el cemento sea de escasa resistencia en algunas ocasiones".*

3. Los esquemas representados corresponden a figuras idealizadas, dibujadas por el propio Luis Moya para su libro "Bóvedas Tabicadas", con las que determina las formas de estabilizar empujes mediante elementos de zunchado perimetrales, correspondientes a figuras circulares y poligonales sencillas.



4. "Que los constructores pensaban que las bóvedas tabicadas

## 6.1. CONDICIÓN FORMAL.

Asumidos estos componentes materiales del sistema adoptaremos valores característicos medios que puedan resultar a los parámetros unitarios de la pieza y del mortero, adecuando los valores del conjunto (material compuesto) a las condiciones de trabajo que resultan de la observación de la obra ejecutada y de las sollicitaciones a que se encuentra sometida cada zona y elemento.

*"Después de varios ensayos, se ha comprobado que las bóvedas de ladrillo resultan la solución más económica para Iglesias, pues resuelven a la vez estructura, el aislamiento térmico y sonoro y la decoración.*

*La estructura metálica o de hormigón armado podrá ser más barata en algunos casos, pero al tener que añadir aislamientos y decoración, la solución final resulta carísima.*

*Para que la bóveda de ladrillo sea económica, es preciso que también lo sea el sistema que se emplee para resolver los empujes. En Italia ha sido admitido, en la Edad Media y parte del Renacimiento, dejar los tirantes de hierro a la vista. Aquí no se admite esta solución más que en talleres o garajes. Resolver los empujes por gravedad, o sea, mediante contrafuertes, resulta muy costoso en general. La experiencia ha demostrado que la forma más barata es la de una bóveda de planta circular, cuyo empuje absorbe un zuncho en el muro de contorno. Siguen a ésta las formas elípticas y los polígonos circunscritos, pero las condiciones empeoran cuanto mayor sea la diferencia entre los ejes de la elipse. Las formas poligonales que resultan económicas son, desde luego, aquellas en que sólo hay empujes en los vértices, excluyendo en absoluto las disposiciones que los producen a lo largo de los lados, pues en éstos debe haber simplemente tirantes."*

*Luis Moya. Informes de la Construcción. N° 19 (1950).*

Ya hemos descrito en orden secuencial el proceso de construcción, materiales y formas empleadas en la edificación, así que sólo nos queda determinar el esquema ideal de trabajo planteado por Luis Moya y, sin duda por Manuel Thomas Arizabalaga, profesor del Área de Estabilidad de la Escuela de la Arquitectura de Madrid y que ya había publicado algunos informes sobre análisis y dimensionado de bóvedas<sup>3</sup>.

Determinada la necesidad de acudir a la solución abovedada en base a las "innegables" razones de eficiencia material, económica y formal, y a la consecuente adopción de un sistema materializado con el trazado de arcos de

*empujaban queda demostrado por la existencia, desde siempre, de estos sistemas de contrarresto. Luis Moya, el último gran constructor de bóvedas tabicadas reconoce la insuficiencia del cálculo debida a la falta de datos sobre las constantes elásticas de las mismas, pero después realiza, o manda realizar, cálculos de equilibrio en base a líneas de empujes que le bastaron para proyectar y construir sus asombrosas bóvedas.*

*Sin duda precursor de sus ideas podría ser Bosch (1947), que trató de establecer un criterio de análisis para este tipo de bóvedas, defendiendo su análisis como membrana, pero proponiendo para los casos prácticos un ingenioso sistema (inspirado, sin duda, en los manuales del siglo XIX sobre teoría de bóvedas) para calcular el empuje de las bóvedas ya tabicadas, imaginando la formación de nervios cruceros virtuales sobre los que apoyarían a su vez unos arcos elementales producidos dando cortes paralelos a los arcos del contorno. De nuevo, es un método de equilibrio que busca encontrar un estado posible de compresiones dentro de la fábrica.*

*Pereda(1951) establece una propuesta en la que el criterio resulta de considerar los arcos biarticulados sobre apoyos rígidos, lo que permite calcularlos con las fórmulas habituales de los arcos elásticos. Para ello reduce las tensiones admisibles de tracción, mostrando un claro conocimiento de las propiedades del material constituyente.*

*Las bóvedas tabicadas son bóvedas de fábrica, con una buena resistencia a compresión, una baja resistencia a tracción y la posibilidad de agrietarse, formar articulaciones, debido a la imposibilidad de deslizamiento. El principio es siempre el mismo: bien dar una vía de escape a los empujes cuando sea necesario, bien cargar de manera que aquellos estén siempre contenidos en la fábrica.*

*Las bóvedas tabicadas deben calcularse dentro del moderno Análisis Límite de Estructuras de Fábrica (Heyman 1966). Si podemos encontrar una solución de equilibrio para la estructura de fábrica con el material trabajando a compresión, entonces la estructura es segura.*

*Los análisis de equilibrio de la antigua teoría de bóvedas resultan ser, pues, perfectamente correctos. Los análisis gráficos y el empleo de modelos catenarios (Gaudí) son correctos, como también lo son los análisis de membrana en estado de compresión y los novedosos análisis elásticos, pero estos últimos no son más "reales" que cualquier otra solución de equilibrio. Más aún las reglas proporcionales tradicionales (Fray Lorenzo) también son esencialmente correctas. El problema de una bóveda de fábrica es un problema de forma geométrica de la estructura. Las formas tradicionales codifican estas formas y su empleo es racional y correcto.*

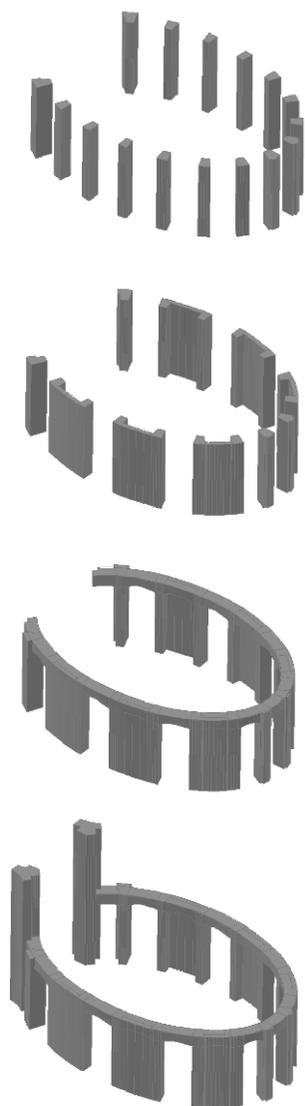
*"Mecánica de las Bóvedas Tabicadas". Santiago Huerta.*

esbeltez relativamente alta. Recordemos que el propio Luis Moya en su tratado sobre "Bóvedas tabicadas" concluye que la solución más razonable resulta la de dimensionar la sección de estos arcos *determinando la compresión que ha de sufrir el arco en su sección más forzada*, de tal manera que la sección más eficiente resultará de acotar sus condiciones de trabajo a las del *ladrillo macizo de buena calidad*, lo que derivará en *arcos tan delgados que es de temer su pandeo, y por eso sólo pueden emplearse cruzados con otros semejantes*. Pero es necesario asegurar unas condiciones de contorno que aseguren este mecanismo de trabajo de los arcos y este, desde luego, no puede quedar visto, de tal manera que se acude al conocido "zuncho en el muro de contorno" 4.

La seguridad en el planteamiento del problema necesita materializarse para este caso concreto, que corresponde con dimensiones de luz nunca abordadas, y que además presenta el grave inconveniente de la forzada desproporción entre los lados de la forma elíptica elegida. Bien conoce que en el caso de una planta circular los arcos cruzados resultarán todos "iguales", de tal manera que la estabilidad del zuncho perimetral resulta más o menos sencilla de acotar, estableciendo que el valor del empuje resulta uniforme en todo su contorno (entrada en trabajo idéntica para todos los arcos). Sin embargo, la asimetría que deriva de una planta elíptica plantea el problema de la falta de homogeneidad del valor de esfuerzo que solicita al zuncho perimetral. El problema sería semejante al planteado con arcos con arranque a distintas alturas, para el que resulta posible acudir:

*"a un zuncho corriente, pero colocado en un plano inclinado, y disponiendo, como es natural, el apoyo en la obra inferior por medio de varios planos horizontales. Sin embargo otras veces no puede resolverse el problema con sólo un zuncho, y hacen falta varios en distintos planos horizontales, que han de calcularse para los empujes que han de producir en los distintos niveles, y que conviene ligar entre ellos por elementos verticales de hierro o de hormigón armado, de modo solidario".*

Pues ya sólo queda dar dimensión al esquema planteado y, para eso, sólo hace falta acudir al patrón de medida que surge de la adopción del módulo 2,40 m., que bien responde a los submódulos de 0,30, 0,60 y 1,20m. y que, casualidades de la vida, también mantiene una relación directa con las dimensiones del ladrillo macizo de 24 x 12 x 6 cm. La métrica de trazado del conjunto permite también acometer el dimensionado de la mayor parte de los elementos concretos con que se define el sistema estructural.



## 6.2. CONDICIÓN MATERIAL.

Para proceder al análisis funcional del sistema hemos adoptado valores físicos y mecánicos medios de los materiales constituyentes, tratando de extrapolar valores acordes con la época de ejecución de la edificación.

La incertidumbre de valores individuales ha tratado de ser solventada mediante la comparación de las estimaciones contempladas con las propuestas numéricas de la abundante bibliografía y metodología de análisis (experimental) que ha sido facilitada durante el desarrollo del curso

- **Ladrillo Macizo.**

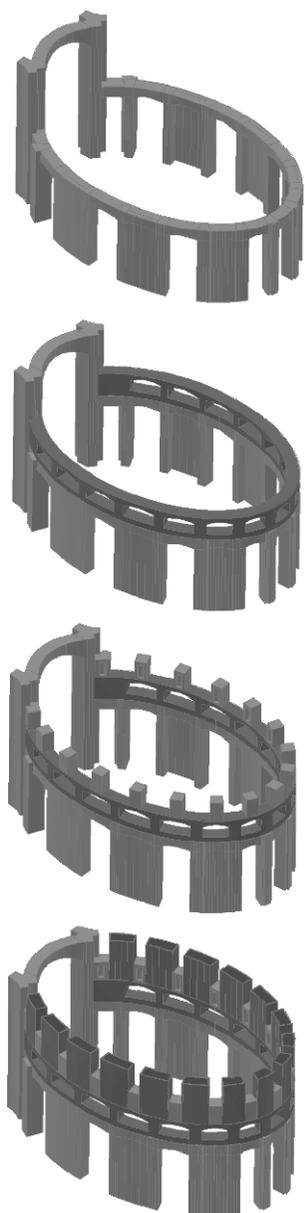
Las características físico-mecánicas del ladrillo contemplado corresponden con valores extrapolados de la bibliografía existente, así como de datos contenidos en el DB-SE-F Fábrica.

Dimensiones	240 x 120 x 60	(mm)
Porcentaje de huecos (% volumen)	≤ 2	
Peso específico aparente	$\gamma_b$	14,00 (kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_b$	10,00 (N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a tracción	$f_{bt}$	1,35 (N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E	10000 (N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,15

- **Mortero.**

De acuerdo a la pobre relación de cemento habitual en los morteros de la época y teniendo en cuenta el conocimiento por parte del equipo proyectista de los innecesarios aportes de alta resistencia en este tipo de fábricas se asumen los siguientes parámetros.

Peso específico aparente	$\gamma_m$	13,00	(kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_m$	2,50	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a tracción	$f_{mt}$	0,38	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E	4000	(N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,20	



• **Fábrica Ladrillo Macizo** (material compuesto).

Peso específico aparente	$\gamma_f$	14,00	(kN/m³)
Resistencia a compresión	$f_k$	3,43	(N/mm²)
Resistencia a cortante	$f_{vk0}$	0,20	(N/mm²)
Resistencia a flexión	$f_{xk1}$	0,10	(N/mm²)
	$f_{xk2}$	0,20	(N/mm²)
Módulo de elasticidad longitudinal	E	1500	(N/mm²)
Módulo de elasticidad transversal	G	600	(N/mm²)
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,25	
Expansión final por humedad		0,50	(mm/m)
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$	$6 \cdot 10^{-6}$	(m/m°)
Conductividad térmica	$\lambda$	0,87	(W/m·°C)
Calor específico	$c_p$	878	(J/kg·°C)

- Se asume que el valor de resistencia característica a compresión corresponde con la expresión:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

- En el análisis de la resistencia a cortante se desestima el supuesto aporte de la tensión normal media perpendicular a la Tabla.

- En la determinación del módulo de elasticidad longitudinal (E) y transversal (G) se tienen en cuenta las indicaciones del DB-SE-F Fábricas.

Se estima el inicial valor de módulo de elasticidad longitudinal a partir del modelo teórico-práctico del Code UIC 778-3:1995

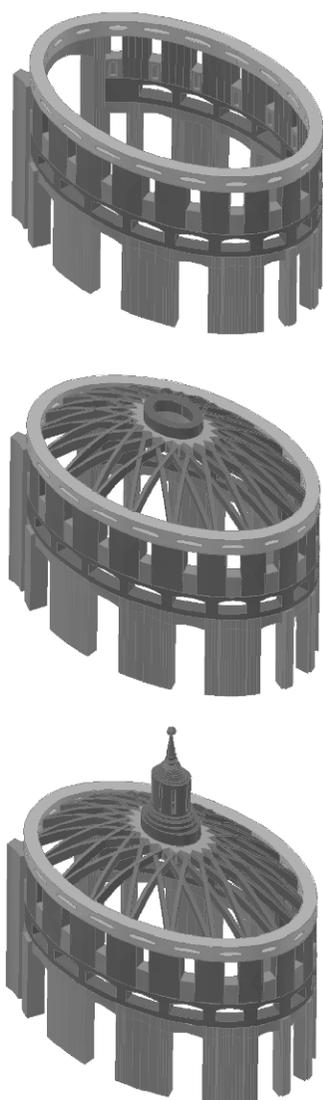
$$E_f = E_b \cdot \frac{1 + \alpha}{1 + \alpha \cdot \beta \cdot (1 + \varphi)} \quad \rightarrow \alpha = 0,25$$

$$\beta = 10$$

$$\varphi = 2 \quad \rightarrow E_f = 0,15 \cdot E_b < 1000 \cdot f_k$$

- El coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) se deduce a partir de los valores de módulo de elasticidad longitudinal y transversal adoptados.

$$N = \frac{E}{2 \cdot G} - 1$$



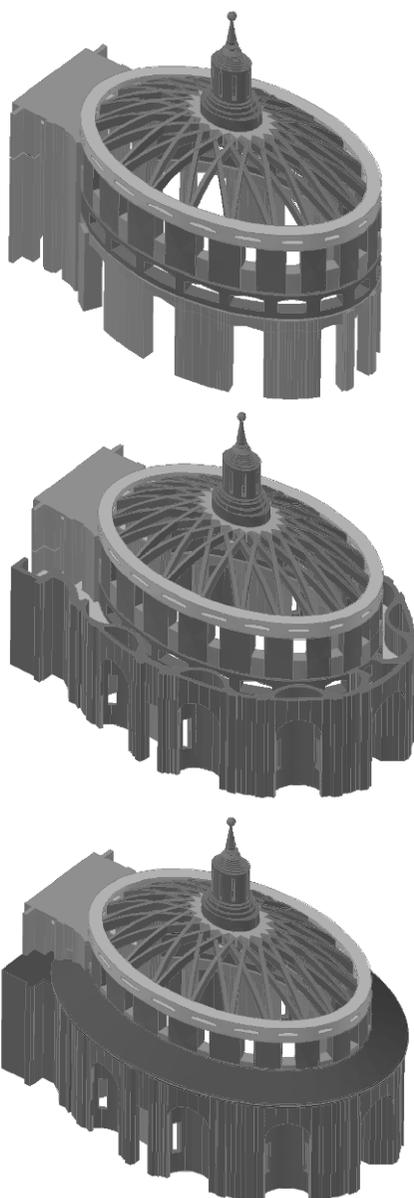
- **Fábrica Ladrillo Perforado.**

Peso específico aparente	$\gamma_f$	13,00	(kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_k$	1,50	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a cortante	$f_{vk0}$	0,20	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a flexión	$f_{xk1}$	0,10	(N/mm <sup>2</sup> )
	$f_{xk2}$	0,20	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad longitudinal	E	1300	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad transversal	G	520	(N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,25	
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$	$6 \cdot 10^{-6}$	(m/m <sup>o</sup> )
Conductividad térmica	$\lambda$	0,87	(W/m <sup>o</sup> C)
Calor específico	$C_p$	878	(J/kg <sup>o</sup> C)

- **Hormigón.**

Para el caso de los elementos de hormigón se han contemplado valores de resistencia "media", entendiendo que la calidad requerida para este material debió de ser muy buena para la época. El compromiso de los elementos de hormigón armado sobre el resultado final del conjunto resultaba elevado, así que para estos elementos se han contemplado los siguientes valores tabulados.

Peso específico aparente	$\gamma_h$	25,00	(kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_{ck}$	20,00	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a tracción	$f_{ct,k}$	1,55	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E	21500	(N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,18	
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	(m/m <sup>o</sup> )
Conductividad térmica	$\lambda$	1,63	(W/m <sup>o</sup> C)
Calor específico	$C_p$	1050	(J/kg <sup>o</sup> C)



- **Acero.**

Para el acero de armar dispuesto en las secciones de hormigón armado se asumen los valores indicados en la Tabla adjunta.

Peso específico aparente	$\gamma_h$	75,00	(kN/m <sup>3</sup> )
Límite elástico	$f_{yk}$	220	(N/mm <sup>2</sup> )
Carga unitaria rotura	$f_s$	240	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E	200000	(N/mm <sup>2</sup> )
Conductividad térmica	$\lambda$	54,00	(W/m·°C)
Calor específico	$c_p$	502	(J/kg·°C)

- **Material de relleno.**

Para el caso del material empleado como relleno en algunas zonas de la fábrica, como podría ser el caso de los "pilares" perimetrales de nivel inferior, se ha contemplado el uso de un material de propiedades homogéneas, similares a las que podría ofertar un mortero muy pobre.

Peso específico aparente	$\gamma_m$	10,00	(kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_m$	1,00	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a tracción	$f_{mt}$	0,10	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E	750	(N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,20	
Conductividad térmica	$\lambda$	1,40	(W/ °C)
Calor específico	$c_p$	1050	(J/kg·°C)

- **Granitoide.**

Peso específico aparente	$\gamma_f$	26,50	(kN/m <sup>3</sup> )
Resistencia a compresión	$f_k$	40,00	(N/mm <sup>2</sup> )
Resistencia a tracción	$f_{ct,k}$	0,04	(N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad longitudinal	E	10000	(N/mm <sup>2</sup> )
Coefficiente de Poisson	$\nu$	0,20	
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	(m/m <sup>0</sup> )
Conductividad térmica	$\lambda$	3,50	(W/m·°C)
Calor específico	$c_p$	880	(J/kg·°C)

### 6.3. CONSIDERACION DE CARGAS.

Si ya han sido definidas las cargas correspondientes a peso propio de los elementos “estructurales” a partir de la determinación del peso específico de los materiales constituyentes (ver apartado 6.2), sólo nos faltará acompañar los parámetros correspondientes al resto de cargas de Carácter Permanente (G) que gravitan sobre dichos elementos y a las sobrecargas de Carácter Variable (Q) que podrían resultar determinantes.

Dado que el estudio realizado no trata de “dimensionar” el sistema estructural existente, si no de analizar el comportamiento global del conjunto y particular de algún elemento, la consideración de cargas se ha realizado de forma aproximada de acuerdo a los sistemas constructivos y de acabado que corresponden al tipo y época de construcción.

- **Cargas de Carácter Permanente (G).**

Para el caso de cargas correspondientes a sistemas constructivos y acabados de planta se contemplan:

- Formación de faldones de cubierta	14,00 kN/m <sup>2</sup>
- Acabado de cubierta (bóveda nervada)	24,20 kN/m <sup>2</sup> *
- Acabado de Planta de piso	7,50 kN/m <sup>2</sup>

\* Nos detenemos un momento en la determinación de las cargas de Carácter Permanente (G) correspondientes a acabado de cubierta, relleno y plementería de la bóveda principal, puesto que asumimos que éste será el elemento característico a analizar. La estimación de carga corresponde con un reparto uniforme sobre toda la superficie de esa cifra “mágica” de 2.300 Tn. que la información disponible consigna al conjunto de dicho elemento.

Otros elementos que gravitan sobre él y que podrían tener especial importancia tales como el linternón y el cupulín que lo coronan, se consideran únicamente en condición de peso propio derivado de su volumetría y de las propiedades de los materiales constituyentes.

- **Cargas de Carácter Variable (Q).**

Con respecto a la consideración de Cargas Variables y dado el alcance del análisis a realizar, carece de sentido asumir factores de carga derivados de

explotación o uso, o incluso nieve o viento. Sí parece interesante tratar de determinar cuál podría ser el compromiso que establece una posible deformación térmica del anillo de tracción situado sobre la planta de coro, en base a dos razones fundamentales:

- La primera de las razones resulta en el íntimo compromiso que presenta la estabilidad dimensional de dicho anillo, en tanto que de éste dependen directamente las condiciones de trabajo de los nervios de la bóveda. En base a esta condición de trabajo parece adecuado asumir que este elemento de gran volumen e importante desarrollo lineal debería de asegurar una estabilidad dimensional acorde con este compromiso de trabajo que ha de asumir.

- La segunda condición de interés reside en el hecho de que la orientación del conjunto permite asumir que determinadas zonas estarán expuestas a cambios térmicos muy diferentes a las que solicitarán lados opuestos (simétricos). Por tanto no resulta deseable que determinadas zonas de un esquema estructural sensiblemente simétrico, se encuentren solicitadas por condiciones de carga asimétrica, condición ésta que debe ser unida al hecho de que el esquema de trabajo solamente resulta simétrico con respecto al eje longitudinal, lo que deriva en condiciones de compromiso extremadamente diferentes entre zonas de dicho anillo.

Este problema, fue perfectamente acotado durante la ejecución de las obras realizando un trasdosado exterior a la sección de hormigón del anillo mediante una fábrica de ladrillo que conforma una cámara de aire entre el exterior y la posible cara expuesta de la sección de hormigón. De esta manera se ejecuta un aislamiento "natural" que permite la estabilidad térmica del conjunto.

No obstante, y dado el interés de evaluar la repercusión que podría tener esta "carga sobrevenida" sobre el comportamiento del conjunto vamos a establecer una suposición en la cual se provoque un incremento de carga térmica, que en condiciones máximas se situaría en un:

$$\Delta T = T_f - T_0 = 40^\circ - 20^\circ = 20^\circ$$

## 7. IDEALIZACIÓN Y ANÁLISIS.

La verdad es que la cantidad de “leyendas urbanas” que circulan en torno a la construcción de este recinto y las complicaciones y dudas sobre la efectividad del sistema empleado resultan innumerables.

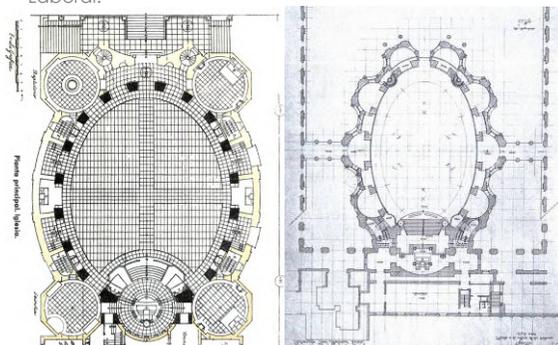
Pero de todas ellas existe una que me ha llamado especialmente la atención, y es la que hace referencia a la “valentía” de Luis Moya, tan seguro de la viabilidad de la solución propuesta para la resolución de la bóveda, que llega a prestarse como garante de esa seguridad, manteniéndose bajo ella durante el proceso de descimbrado y entrada en carga los nervios. Uno de los muchos trabajos realizados sobre la obra de Luis Moya, obra de C. Montes, recoge esta supuesta anécdota:

*En referencia a este dato, recuerdo que durante una visita y a modo de curiosidad, se comentó que durante las obras, en el momento de “depositar la cúpula” sobre estas nervaduras y retirar las estructuras que lo sostenían, los operarios dudaban que estas pudiesen soportar el peso; pues bien el Arquitecto de la obra Luis Moya se colocó en el centro de la nave como garantía y convicción de que eso no sucedería. Y así fue; una vez colocada la cúpula tan solo cedió unos centímetros (un margen de error comprensible teniendo en cuenta esa colosalidad) <sup>1</sup>.*

La verdad es que esta supuesta “gesta” no tiene otra misión más que la de engrandecer aún más la hazaña de conseguir la “mayor cúpula elíptica” que nunca haya visto la historia como parecían pregonar los poderes políticos de la época, ensalzando erróneamente el arrojo del proyectista, en lugar de alabar el conocimiento técnico y el intento continuado de lograr retos estructurales aún no resueltos.

1. Supongo que cualquier texto “propagandístico” estará obligado a engrandecer la construcción y a empequeñecer los posibles resultados. Realmente la propuesta puede ser colosal y necesariamente los asientos estarán en relación directa con las exigencias del sistema y del material, que bien pueden tener cierta “entidad”

2. El desarrollo de la Iglesia de San Agustín de Madrid, resulta un modelo a "escala reducida" del Proyecto desarrollado en Gijón. La analogía de formas y las pruebas del sistema permiten establecer las adecuadas conclusiones y/o correcciones en el caso del Proyecto de la Universidad Laboral.



Comparación entre las dos plantas

3. Todos las cimbras de auxilio de construcción de las nervaduras de la bóveda se apoyaron sobre sistemas hidráulicos que facilitaban la retirada controlada de los mismos permitiendo el control del proceso de entrada en carga del conjunto.



4. Cualquier ayuda viene bien y sobre todo si viene de la mano de la inspiración divina. (Luis Moya en plena celebración de la misa de consagración de la Universidad Laboral).



Pero la realidad parece demostrar que la aparente valentía de Luis Moya requería de la conjunción de tres puntales fundamentales:

- La necesaria dosis de conocimiento (aunque fuera a través de la práctica) del funcionamiento del sistema proyectado, para lo cual era imprescindible, en ausencia de una metodología de cálculo y análisis precisa, establecer el "adecuado" sistema de prueba-error a través de la ejecución de modelos de ensayo<sup>2</sup>.
- Los adecuados sistemas de ejecución, que permitiesen un cierto control del proceso de entrada en carga del conjunto, partiendo de la ligereza e independencia del cimbrado de cada arco, que permitiese conocer mediante deformación el comportamiento de cada nervio y terminando con la disposición de los sistemas hidráulicos que permiten el descenso controlado del sistema hasta el momento de entrada en carga<sup>3</sup>.
- La precisa dosis de "ayuda divina", cuya impronta siempre estuvo presente en la obra de Luis Moya<sup>4</sup>.

Quizás sea posible satisfacer la curiosidad sobre el fundamento de esta "leyenda", pero para ello podemos establecer en primer lugar cuáles resultaban para Luis Moya los principales problemas en relación con la estabilidad y adecuado comportamiento de la bóveda. En la revista "Informes de la Construcción" (1950) el propio arquitecto relata cuáles resultan los "inconvenientes" de la construcción de una bóveda elíptica tabicada, refiriéndose a las experiencias llevadas a cabo en San Agustín:

*Durante la construcción de las bóvedas tabicadas de planta se produjo un momento de medianas condiciones de estabilidad, porque el cálculo del zuncho interior preveía el peso de las fábricas superiores para completar el contrarresto de los empujes y, al faltar éstas, el equilibrio del sistema no existía.*

*Todo esto condujo a la formación de grietas, la primera de las cuales se observó en las claves del arco paralelo al de embocadura del salón, y a los restantes en los cruces más altos de los demás, o sea, en los puntos más próximos a sus claves.*

*Puede suponerse que el contrarresto incompleto permitió un desplome hacia afuera de los muros de la sala, que debió de ser muy pequeño, pues no ha podido apreciarse y menos medirse, pero suficiente para partir primeramente el arco más pequeño, cuya flexibilidad total era la menor, y después los restantes. Las grietas eran sumamente delgadas y no han vuelto a aparecer después de construido el cuerpo superior.*

*Durante la construcción de la bóveda principal ocurrieron incidencias parecidas a las relatadas, pues al hacerse toda esta obra antes de las Capillas se encontró el arco del Presbiterio sin el contrarresto calculado que le habían de proporcionar la Capilla del S. Sacramento y la Sacristía, y manifestó una grieta en su clave al recibir la carga de los arcos de la bóveda. Dicha grieta se ha estabilizado, lo mismo que con las antes mencionadas, al construirse las Capillas, lo que se hizo después de terminada la bóveda central y sus tabiquillos y tablero de cubierta.*

*En la bóveda principal se presentaba además el problema de las dilataciones y contracciones de ella misma y de su zuncho..... de modo que lo único que se hizo fue procurar que el zuncho estuviera en las mismas condiciones que la bóveda, para lo cual se retiró del paramento exterior y se protegió con fábrica de ladrillo cerámico macizo, cambiando el proyecto original. De esta manera desaparece el zuncho visible al exterior que hubiera sufrido importantes movimientos de haber estado expuesto al sol por un lado y a los vientos por el opuesto.*

Bien podemos comprobar a través de la secuencia de construcción de la Iglesia de la Laboral como esta experiencia fue lo suficientemente aleccionadora como para determinar el adecuado proceso de construcción de la bóveda central que no fue iniciada hasta que se encontraron terminados tanto los elementos de contrarresto del arco-vacio del Presbiterio, como el conjunto de Capillas y cuerpos laterales que circundan el espacio central.

5. Lógicamente la geometría de la edificación impide que la luz que penetra en el linternón de forma "natural" bañe más allá que el pie de las pilastras perimetrales al anillo central.



Aún así, y con la disposición añadida de un nivel de planta intermedia que mejora el comportamiento del anillo elíptico de zunchado situado en la base del espacio exterior del cerramiento de fachada de la bóveda, se produjeron ciertos "asientos" de los nervios que algunos trataron de señalar como "incontrolados" en base a una razón más que dudosa. De nuevo una historia no contrastada trata de describir el enorme descenso que experimentó el linternón de la bóveda (en torno a 20 cm.) de tal manera que la luz que entra por él y que debiera concentrarse en un rosetón situado exactamente en el centro geométrico de la planta, se desvía, no consiguiendo el objetivo deseado por el Proyectista <sup>5</sup>.

Aún así merece la pena tratar de determinar los descensos que resultaban "adecuados" para esta extrema geometría, para esta aparente simplicidad constructiva y para esta escasez de "calidad" en los materiales.

Las dimensiones en planta de la bóveda (40 x 24 metros), la altura de 25,00 metros desde el suelo hasta el arranque de los arcos y de casi 33,00 metros hasta el centro del óculo, la aparente livianidad de los 20 arcos en los que se emplearon más de 450000 ladrillos (eso dijo el contratista de las obras), con un peso total próximo a las 2300 toneladas, incluyendo el linternón de piedra de unos 17,00 metros de altura y cerca de 270 toneladas de peso, resultan un verdadero reto estructural.

A partir de estas notas y del conjunto de información expuesta en los apartados anteriores se ha realizado un análisis de las condiciones de trabajo del conjunto constructivo, tratando de ser lo más respetuoso posible con las características geométricas de lo proyectado y con las propiedades mecánicas de los materiales empleados. Para ello se han adoptado las dimensiones geométricas reflejadas en la diferente documentación gráfica recogida y que se adjunta de forma "interpretada" al presente documento. Para el caso de las propiedades de los materiales se han adoptado valores medios consecuentes con el tipo y época de construcción.

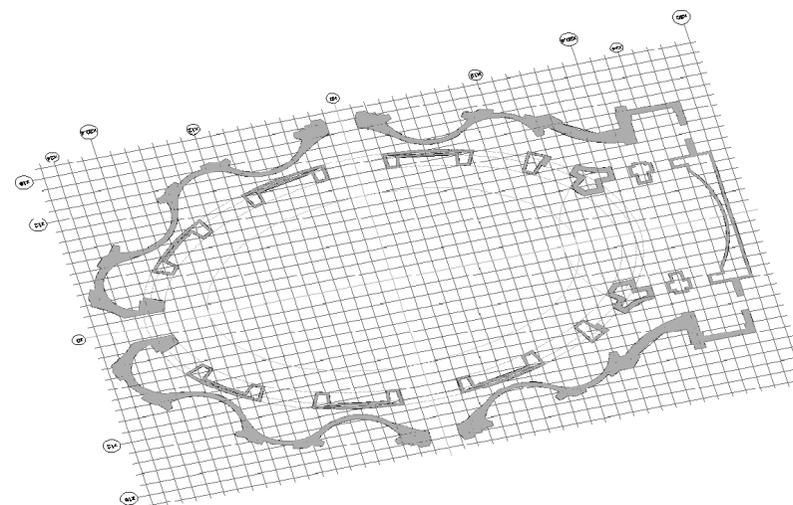
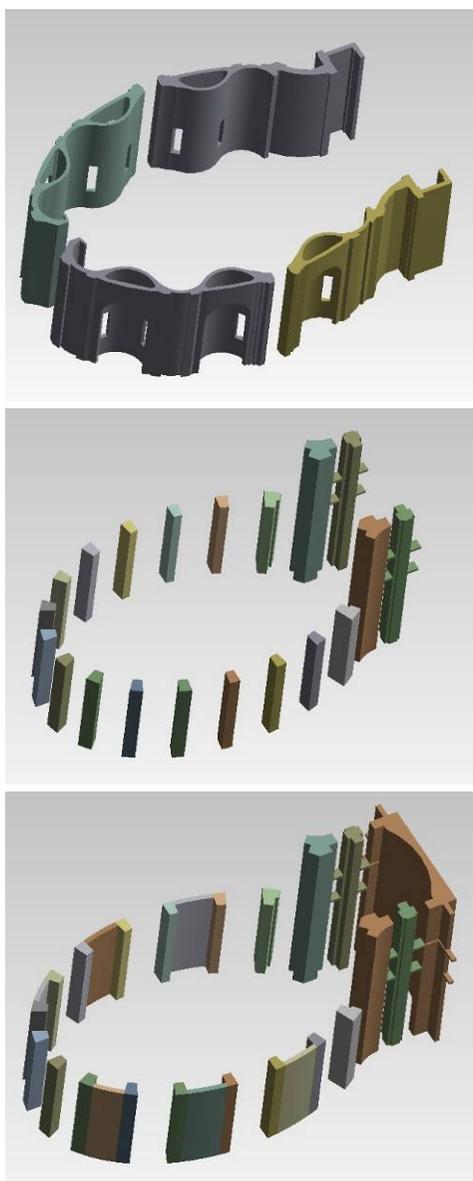
Como herramientas informáticas de ayuda se han empleado dos programas, uno de ellos de diseño Cad 3d (Autocad, versión 2007) y otro para el análisis estructural, basado en el Método de Elementos Finitos (Ansys Workbench, versión 10). En la documentación siguiente se tratará de mostrar el guión de trabajo desarrollado en base a las tres etapas que caracterizan el proceso de análisis con programas fundamentados en el Método de Elementos Finitos

## 7.1. PRE-PROCESO

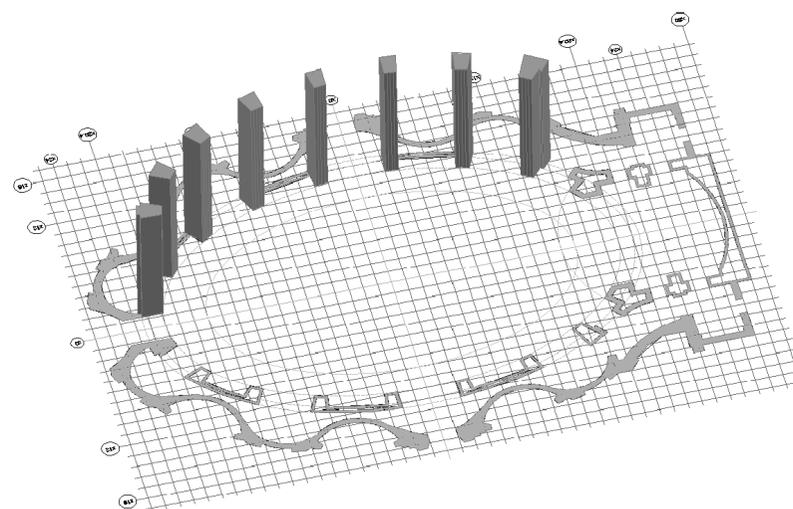
Establecimiento del modelo, se construye la geometría del problema, creando líneas, áreas o volúmenes. Sobre este modelo se establecerá la malla de elementos.

Se definen los materiales a ser usados en base a sus características definidas en el capítulo anterior, asignando además grupos de elementos con características materiales afines para poder facilitar el manejo de los mismos.

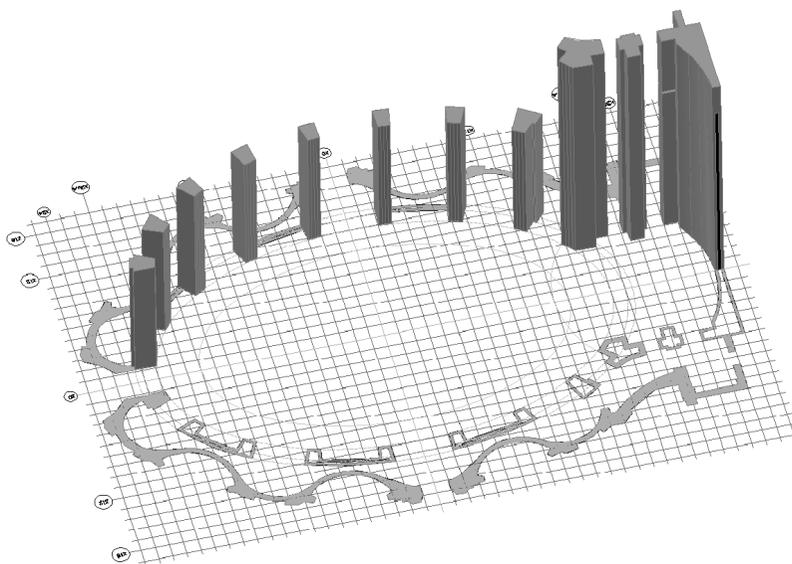
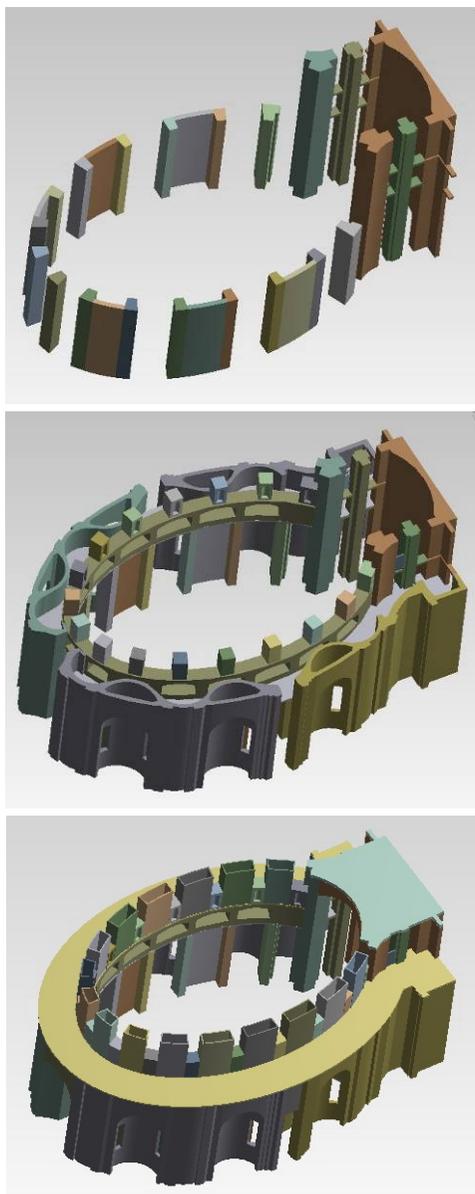
GRUPOS SELECCIÓN <i>Named selections (Ansys Tree)</i>	MATERIAL <i>Engineering Data</i>
Cerramientos Capillas Laterales	Ladrillo Perforado
Dintel Cerramiento Capilla Lateral	Ladrillo Perforado
Apantallado Pilastras Planta Inferior	Ladrillo Perforado
Pilastras Planta Inferior	Ladrillo Perforado
Relleno Planta Inferior	Relleno no Estructural
Relleno No Estructural Planta Inferior	Relleno no Estructural
Pilastras Presbiterio	Ladrillo Perforado
Cerramiento Presbiterio	Ladrillo Perforado
Planta Coro	Hormigón
Cubierta Coro	Hormigón
Cubierta Presbiterio	Hormigón
Anillo Tracción Coro	Hormigón
Anillo Tracción Cúpula	Hormigón
Nicho Hornacina Coro	Ladrillo Perforado
Pilastras Planta Coro	Ladrillo Perforado
Relleno Planta Coro	Relleno no Estructural
Nervaduras Bóveda	Ladrillo Macizo
Estrella Óculo	Ladrillo Macizo
Anillo Tracción Óculo	Hormigón
Linternón	Ladrillo Perforado
Cupulín	Granitoide



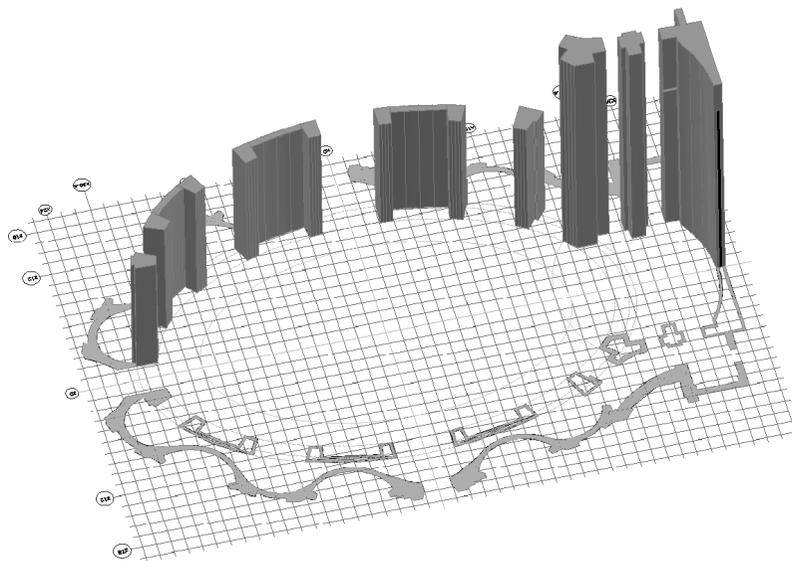
Fase 1 del Proceso de Modelizado



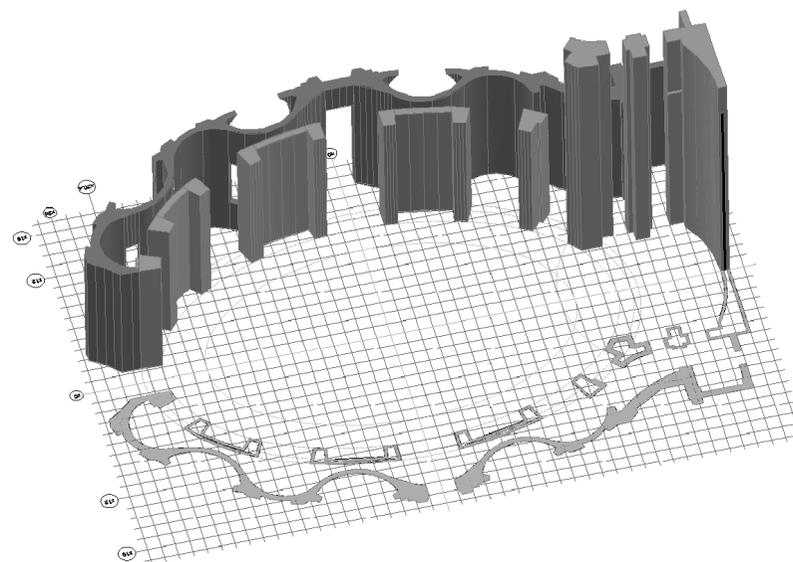
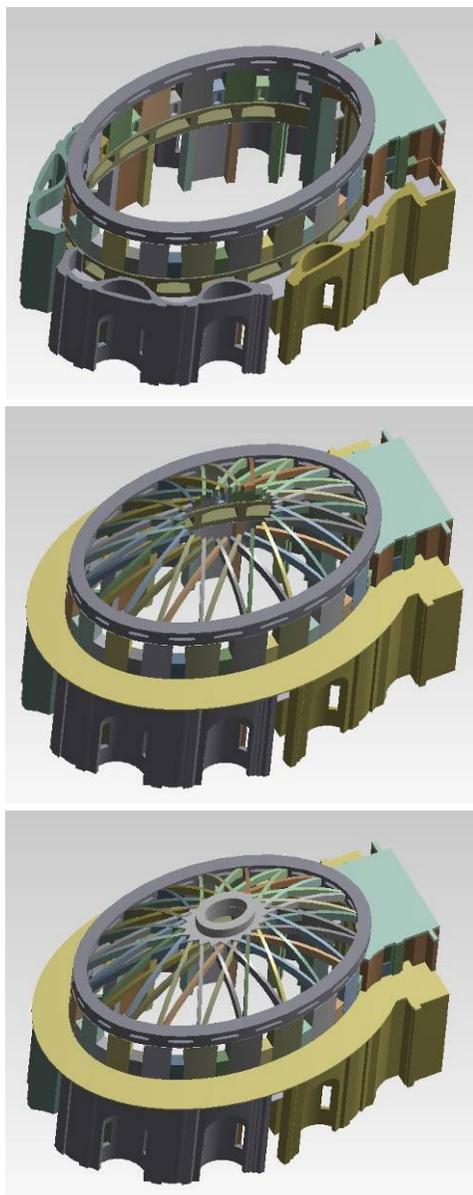
Fase 2 del Proceso de Modelizado



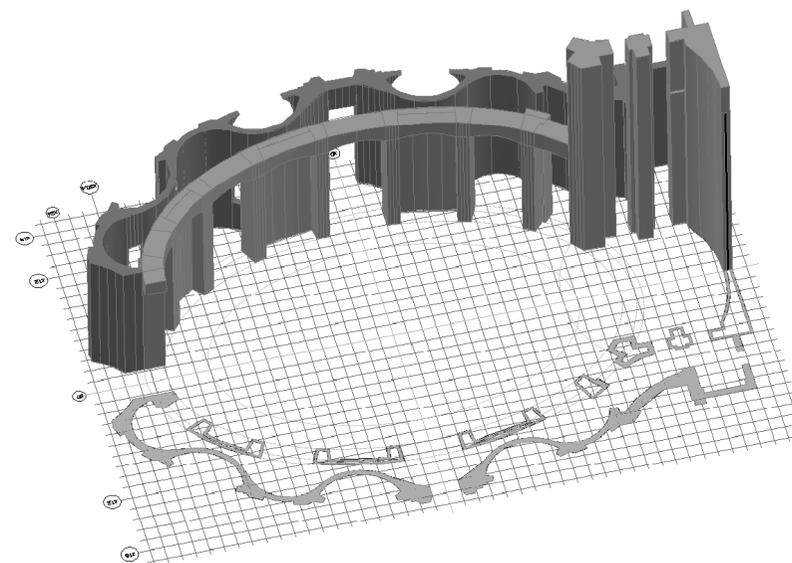
Fase 3 del Proceso de Modelizado



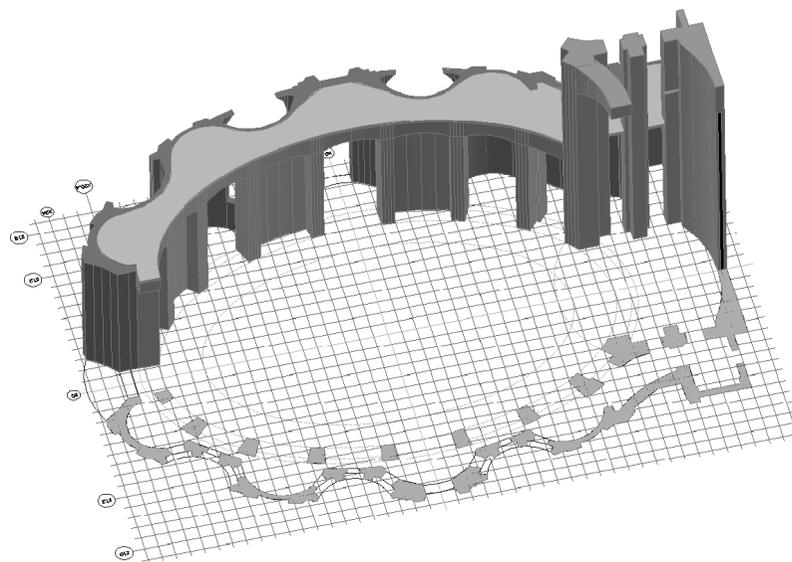
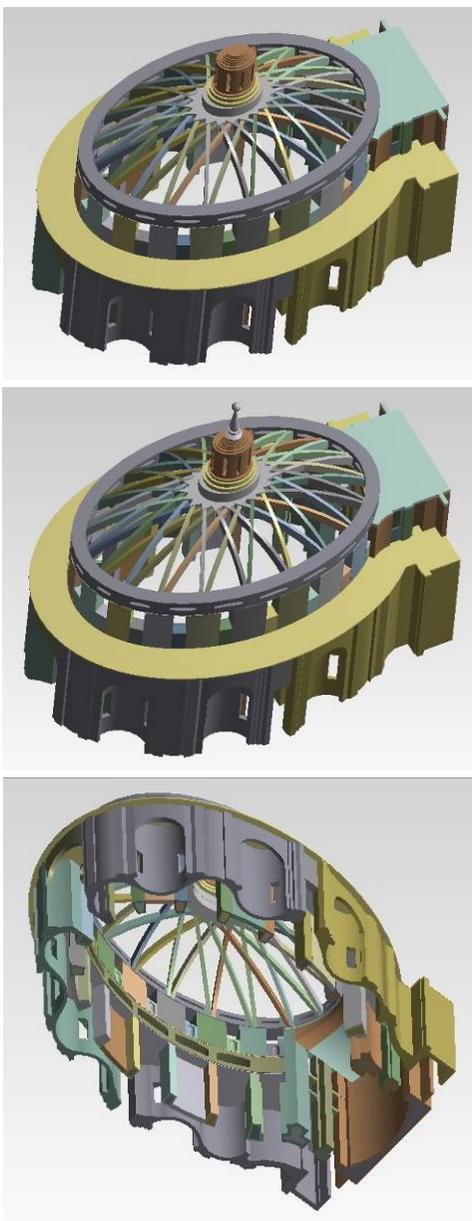
Fase 4 del Proceso de Modelizado



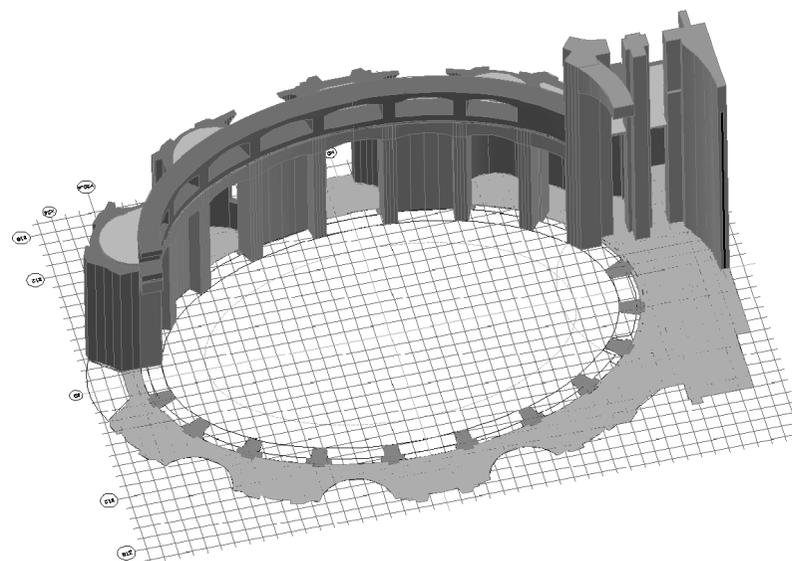
Fase 5 del Proceso de Modelizado



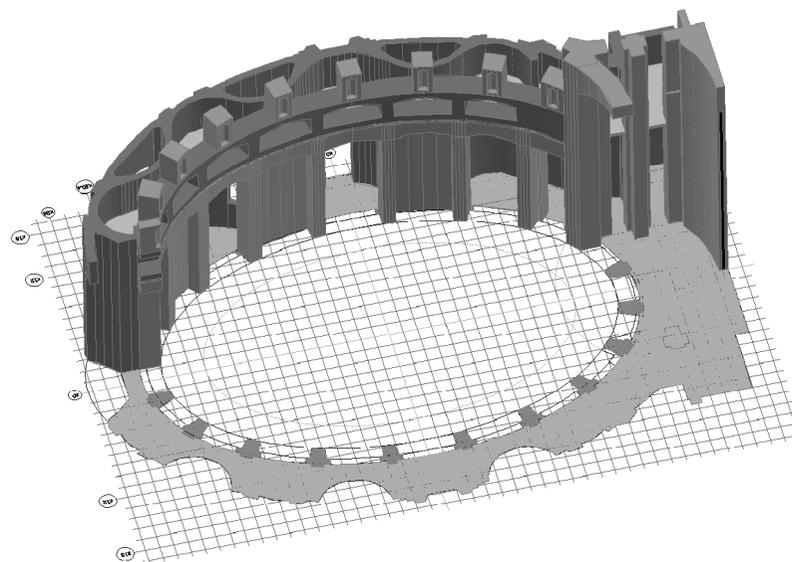
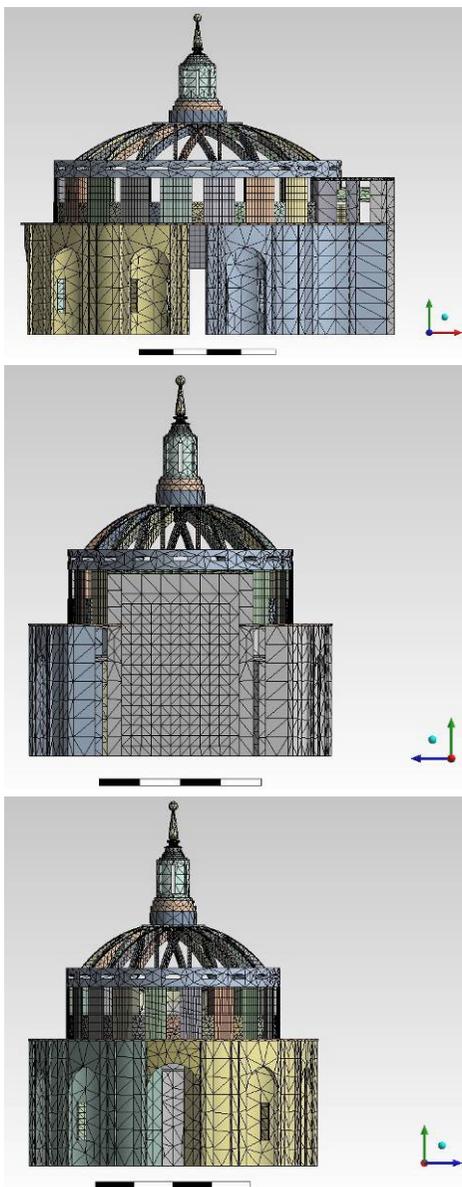
Fase 6 del Proceso de Modelizado



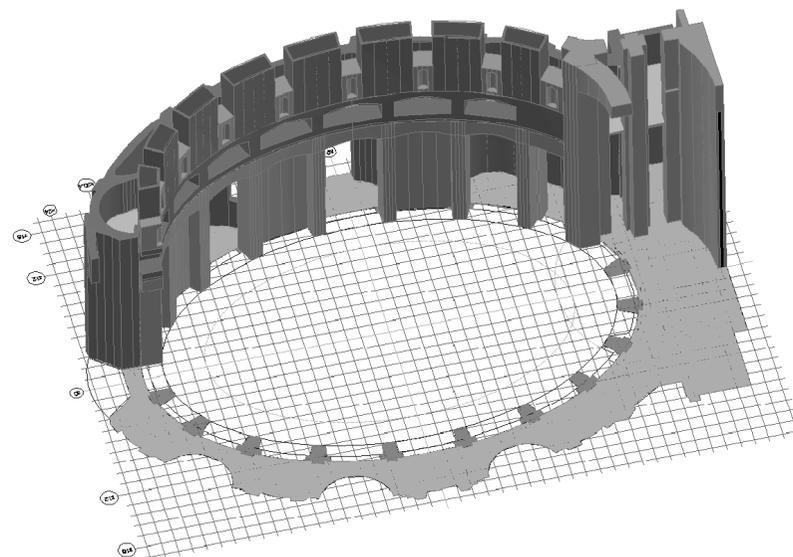
Fase 7 del Proceso de Modelizado



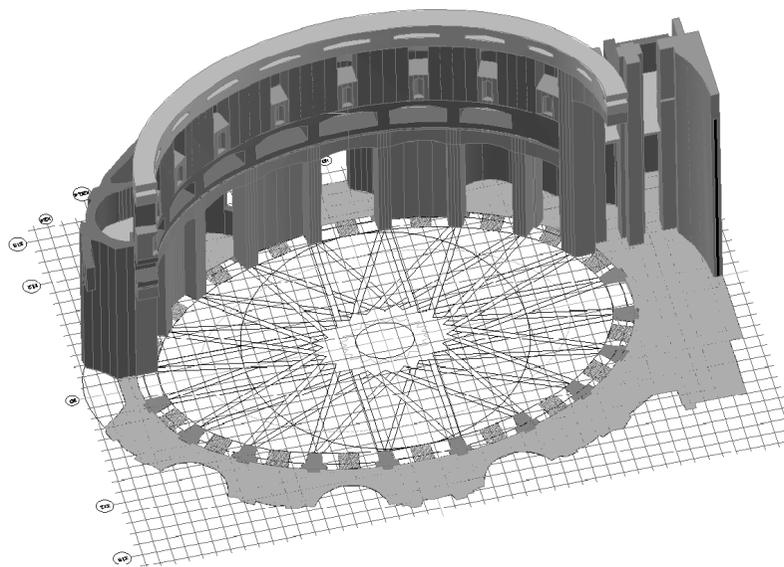
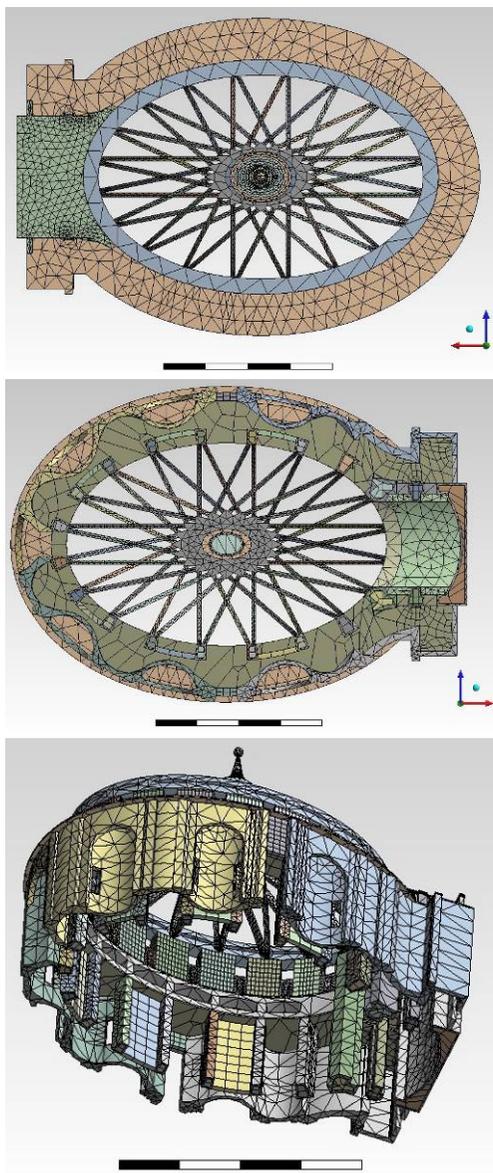
Fase 8 del Proceso de Modelizado



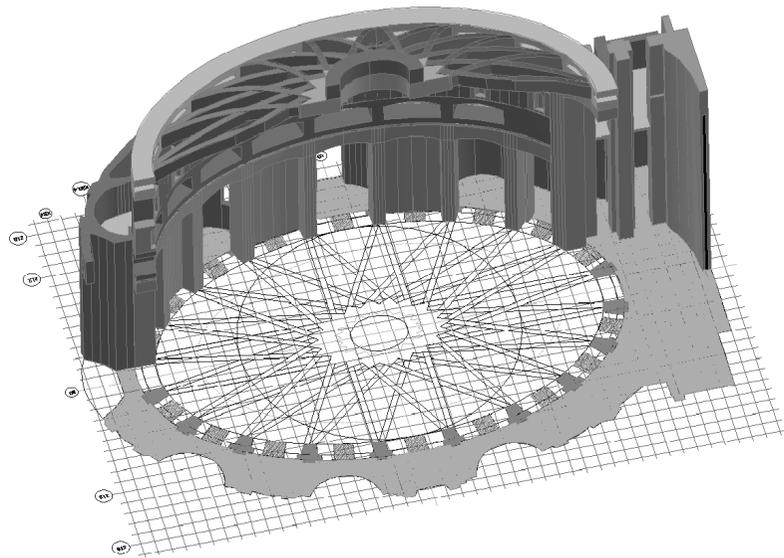
Fase 9 del Proceso de Modelizado



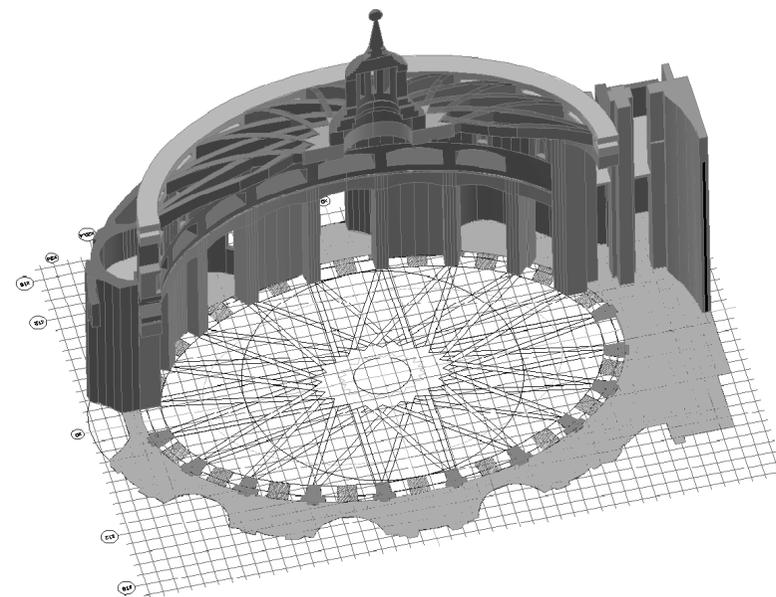
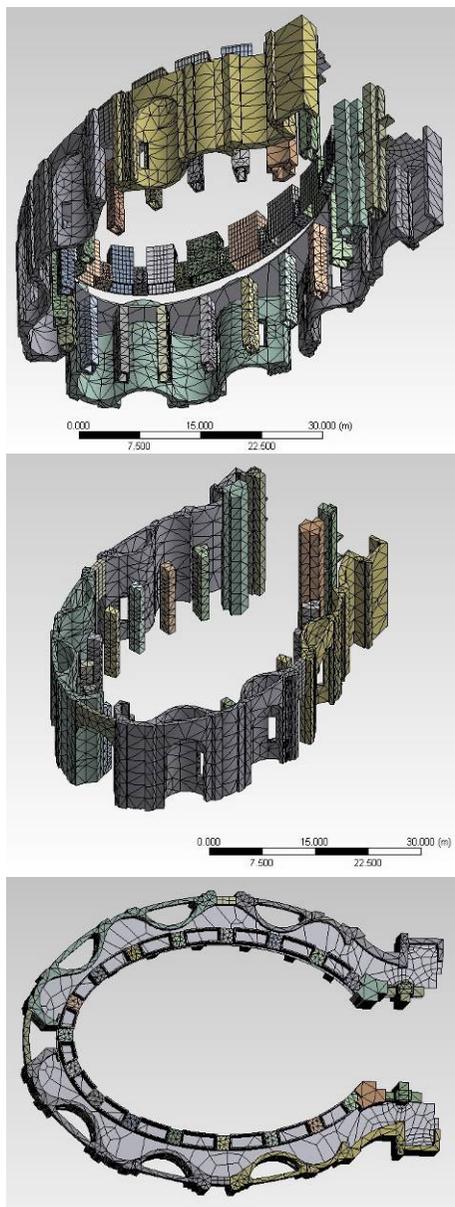
Fase 10 del Proceso de Modelizado



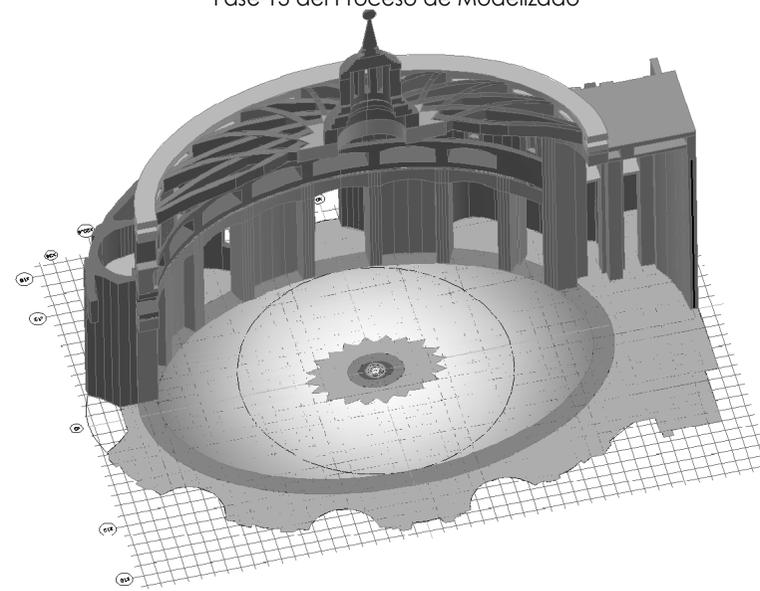
Fase 11 del Proceso de Modelizado



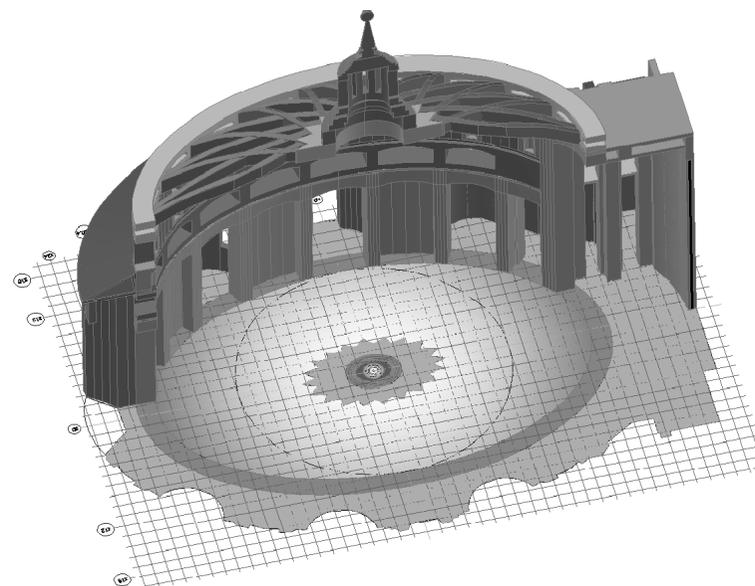
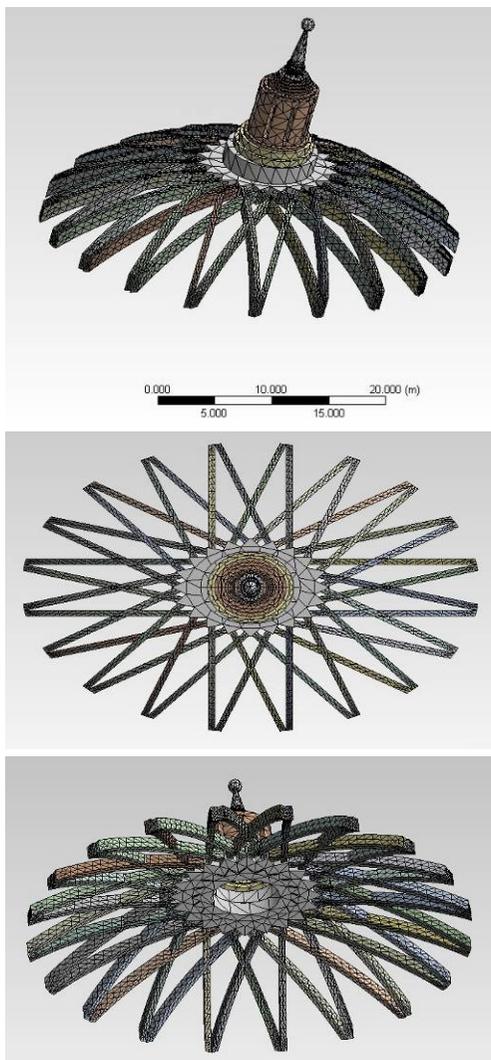
Fase 12 del Proceso de Modelizado



Fase 13 del Proceso de Modelizado

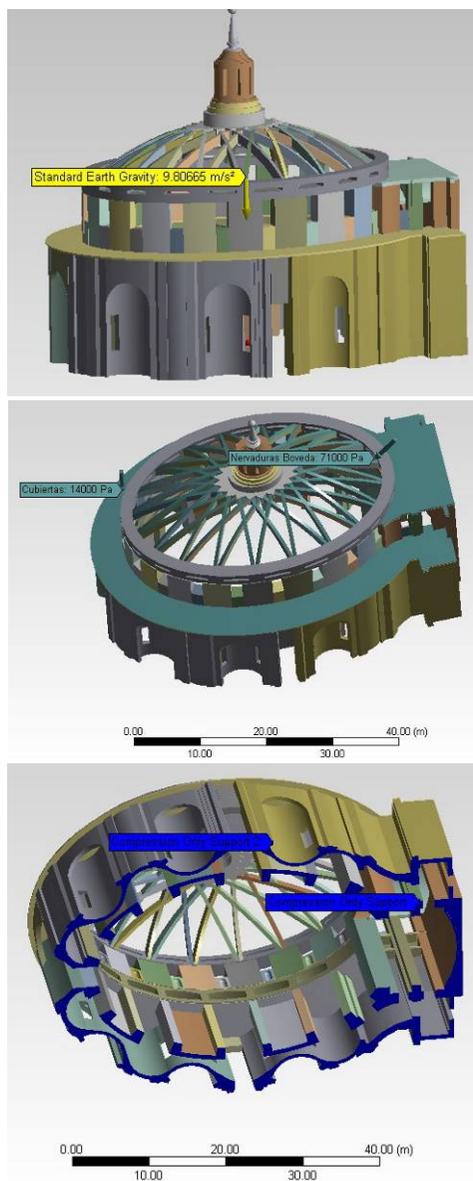


Fase 14 del Proceso de Modelizado



Fase 15 del Proceso de Modelizado

Generación de la malla, realizando una aproximación discreta del problema en base a puntos o nodos. Estos nodos se conectan para formar elementos finitos que juntos forman el volumen del material. En determinados elementos tales como las nervaduras de la bóveda superior se establece un criterio de mallado mediante la opción **"Refinement"** a fin de establecer una trama más densa que permita un control más preciso de resultados.



## 7.2. PROCESO (ENVIRONMENT)

Además de la aplicación de cargas de acuerdo a las condiciones materiales y geometría de la estructura, se aplican las condiciones de borde en los nodos y elementos, a fin de establecer los vínculos apropiados al esquema de trabajo del elemento analizado.

### - Cargas:

- Gravedad, aplicada mediante la opción **“Standard Earth Gravity”**, asignando un valor de  $9,80665 \text{ m/s}^2$
- Cargas uniformemente repartidas, aplicadas mediante la opción **“Pressure”**, asignando los valores correspondientes a cada uno de los elementos afectados.
  - Peso propio de Bóveda 24,20  $\text{kN/m}^2$
  - Peso propio de Plantas de Piso 7,50  $\text{kN/m}^2$
  - Peso propio de elementos de cubierta capillas laterales 14,00  $\text{kN/m}^2$
- Acciones térmicas: Temperatura de inicio  $20^\circ$  → Temperatura final  $40^\circ$

### - Vínculos:

Se establece un análisis vinculando exclusivamente la componente vertical (compresión) de los elementos encargados de transmitir directamente las cargas de planta inferior a los elementos de cimentación, esto es los grupos de selección (**“Named selection”**) correspondientes a:

- Cerramiento\_capillas\_laterales
- Pilastras\_planta\_inferior
- Apantallado\_pilastras\_planta\_inferior
- Pilastras\_presbiterio
- Cerramiento\_presbiterio
- Relleno\_no\_estructural\_planta\_inferior
- Relleno\_no\_estructural\_presbiterio

Para todos los casos se ha establecido la opción **“Compression only support”**, aplicada sobre las caras inferiores (contacto) del filtro de selección elegido.

- Se adjunta a continuación una muestra parcial del Informe generado por el propio programa de acuerdo a los cuatro escenarios de trabajo contemplados, correspondientes a:
- conjunto del edificio (Escenario 1)
  - bóveda nervada superior y linternón (Escenario 2)
  - análisis de temperatura (Escenario 3)
  - bóveda nervada (Escenario 4)



## La búsqueda del espacio divinizado

**Project Created**  
Friday, November 11, 2011 at 5:42:17 PM

**Project Last Modified**  
Tuesday, November 15, 2011 at 6:35:39 PM

**Report Created**  
Wednesday, November 16, 2011 at 5:33:51 PM

**Software Used**  
ANSYS 10.0

**Database**

C:\Documents and Settings\USUARIO\Escritorio\Máster\467104 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifícios Históricos\PRÁCTICA\Universidad\_Laboral.dsb

### 1. Summary

This report documents design and analysis information created and maintained using the ANSYS® engineering software program. Each scenario listed below represents one complete engineering simulation.

#### Scenario 1

- Based on the DesignModeler assembly "C:\Documents and Settings\USUARIO\Escritorio\Máster\467104 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifícios Históricos\PRÁCTICA\Universidad\_Laboral.asb".
- Considered the effect of body-to-body contact, acceleration, structural loads and structural supports.
- Calculated structural results.
- No convergence criteria defined.
- No alert criteria defined.
- See Scenario 1 below for supporting details and Appendix A1 for corresponding figures.

#### Scenario 2

- Based on the DesignModeler assembly "C:\Documents and Settings\USUARIO\Escritorio\Máster\467104 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifícios Históricos\PRÁCTICA\Universidad\_Laboral.asb".
- Considered the effect of body-to-body contact, acceleration, structural loads and structural supports.
- Calculated structural results.
- No convergence criteria defined.
- No alert criteria defined.
- See Scenario 2 below for supporting details and Appendix A2 for corresponding figures.

#### Scenario 3

- Based on the DesignModeler assembly "C:\Documents and Settings\USUARIO\Escritorio\Máster\467104 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifícios Históricos\PRÁCTICA\Universidad\_Laboral.asb".
- Considered thermal and structural results.
- Calculated thermal and structural results.
- No convergence criteria defined.
- No alert criteria defined.
- See Scenario 3 below for supporting details and Appendix A3 for corresponding figures.

#### Scenario 4

- Based on the DesignModeler assembly "C:\Documents and Settings\USUARIO\Escritorio\Máster\467104 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifícios Históricos\PRÁCTICA\Universidad\_Laboral.asb".
- Considered the effect of body-to-body contact, acceleration, structural loads and structural supports.
- Calculated structural results.
- No convergence criteria defined.
- No alert criteria defined.
- See Scenario 4 below for supporting details and Appendix A4 for corresponding figures.

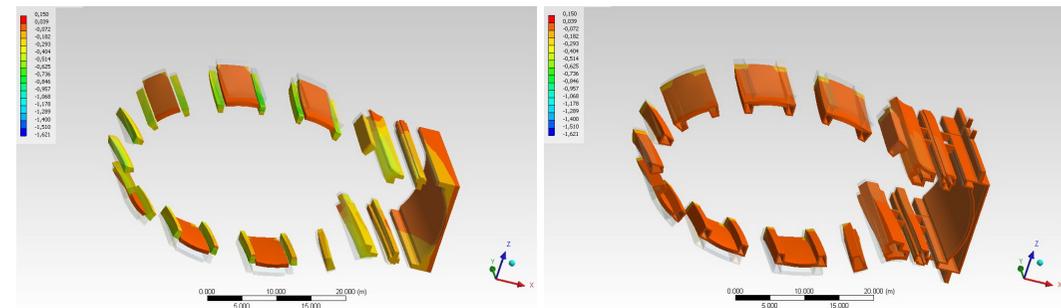
## 7.3. POST-PROCESO

### 7.3.1.- RESULTADOS GENERALES

Dado que el interés principal del estudio reside en el análisis de las condiciones de trabajo de la bóveda nervada, en el caso de análisis del conjunto de la construcción idealizada, sólo nos detendremos en la idealización de los parámetros más significativos que puedan afectar al conjunto.

De acuerdo a las condiciones de propiedades físicas y mecánicas de los elementos que conforman la edificación, resultará interesante conocer las tensiones de trabajo resultantes sobre las pilastras de fábrica de la planta inferior, que conforman y delimitan la nave central, y sobre las que consecutivamente se disponen las dos líneas de tirantes de arriostramiento. Estas pilastras de planta acusadamente rectangular, se encontraban definidas por un doble material, siendo el perímetro exterior, resistente, conformado por una fábrica de ladrillo concertada de un pie de espesor y el interior relleno por un material de propiedades resistentes a compresión prácticamente despreciables (ver definición de propiedades materiales en el apartado "6.2. Condición Material"). Para simplificar la interpretación gráfica de los resultados aportados se han ocultado (**Hide**) aquellos elementos que podrían aportar una distorsión de la imagen ofrecida, forzando además la escala gráfica para poder evidenciar la diferencia de compromiso entre ambos materiales.

En la imagen siguiente se visualizan los resultados correspondientes de los elementos de "mínimo compromiso" estructural, cotejando al lado con los resultados correspondientes a los elementos de "máximo compromiso" estructural en situación de idéntica escala gráfica para ambos.



## 2. Introduction

The ANSYS CAE (Computer-Aided Engineering) software program was used in conjunction with 3D CAD (Computer-Aided Design) solid geometry to simulate the behavior of mechanical bodies under thermal/structural loading conditions. ANSYS automated FEA (Finite Element Analysis) technologies from ANSYS, Inc. to generate the results listed in this report.

Each scenario presented below represents one complete engineering simulation. The definition of a simulation includes known factors about a design such as material properties per body, contact behavior between bodies (in an assembly), and types and magnitudes of loading conditions. The results of a simulation provide insight into how the bodies may perform and how the design might be improved. Multiple scenarios allow comparison of results given different loading conditions, materials or geometric configurations.

Convergence and alert criteria may be defined for any of the results and can serve as guides for evaluating the quality of calculated results and the acceptability of values in the context of known design requirements.

- Solution history provides a means of assessing the quality of results by examining how values change during successive iterations of solution refinement. Convergence criteria sets a specific limit on the allowable change in a result between iterations. A result meeting this criteria is said to be "converged".
- Alert criteria define "allowable" ranges for result values. Alert ranges typically represent known aspects of the design specification.

All values are presented in the "SI Metric (m, kg, N, °C, s, V, A)" unit system.

### Notice

Do not accept or reject a design based solely on the data presented in this report. Evaluate designs by considering this information in conjunction with experimental test data and the practical experience of design engineers and analysts. A quality approach to engineering design usually mandates physical testing as the final means of validating structural integrity to a measured precision.

## 6. ScENARIO 4

### 6.1. "Model 4"

"Model 4" obtains geometry from the DesignModeler assembly "C:\Documents and Settings\USARJSD\1\ciborio\Master\617204 - Modelos Avanzados para a Análise Estrutural de Edifício Histórico\PRAC\CAE\Universidade\_Laboral.apb".

- Part 1", "Part 81", "Part 82", "Part 83", "Part 84", "Part 85", "Part 86", "Part 87", "Part 88", "Part 89", "Part 90", "Part 91", "Part 92", "Part 93", "Part 94", "Part 95", "Part 96", "Part 97", "Part 98", "Part 99", "Part 100", "Part 101", "Part 102", "Part 103", "Part 104", "Part 105", "Part 106", "Part 107", "Part 108", "Part 109", "Part 110", "Part 111", "Part 112", "Part 113", "Part 114", "Part 115", "Part 116", "Part 117", "Part 118", "Part 119", "Part 120", "Part 121", "Part 122", "Part 123", "Part 124", "Part 125", "Part 126", "Part 127", "Part 128", "Part 129", "Part 130", "Part 131", "Part 132", "Part 133", "Part 134", "Part 135", "Part 136", "Part 137", "Part 138", "Part 139", "Part 140", "Part 141", "Part 142", "Part 143", "Part 144", "Part 145", "Part 146", "Part 147", "Part 148", "Part 149", "Part 150", "Part 151", "Part 152", "Part 153", "Part 154", "Part 155", "Part 156", "Part 157", "Part 158", "Part 159", "Part 160", "Part 161", "Part 162", "Part 163", "Part 164", "Part 165", "Part 166", "Part 167", "Part 168", "Part 169", "Part 170", "Part 171", "Part 172", "Part 173", "Part 174", "Part 175", "Part 176", "Part 177", "Part 178", "Part 179", and "Part 180" were suppressed. Suppressed parts do not affect the results in this scenario in any way.
- The bounding box for all positioned bodies in the model measures 42.0 by 27.6 by 7.9 m along the global x, y and z axes, respectively.
- The model has a total mass of 1.55x10<sup>6</sup> kg.
- The model has a total volume of 799.21 m<sup>3</sup>.

#### 6.1.1. Named Selections

- "Named Selections"

Table 6.1.1.1. Named Selections

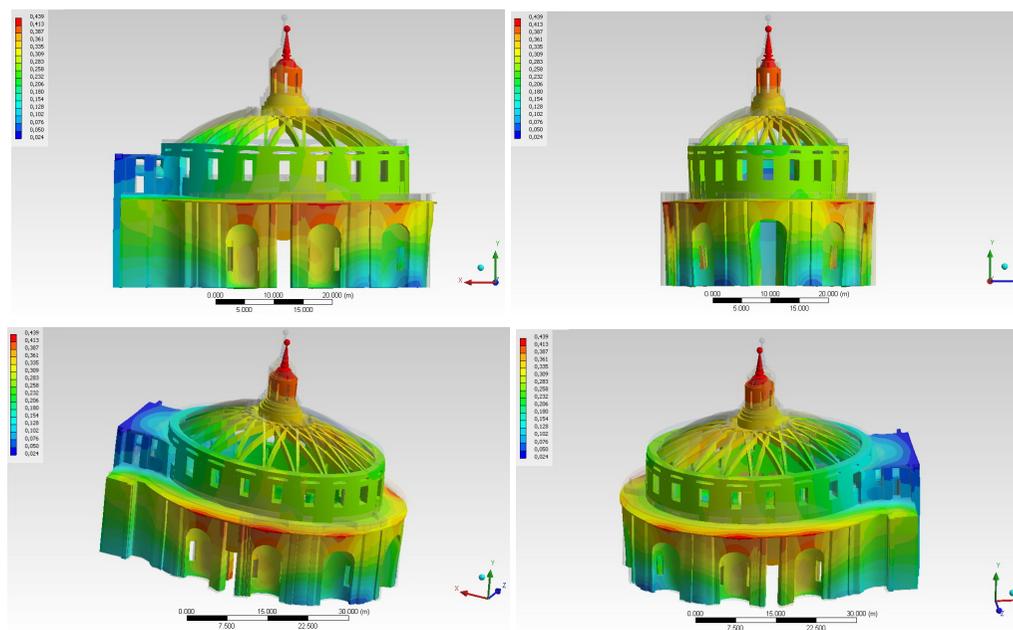
Name	Figures	Comments
"Cupulin"	None	None
"Nervaduras_boveda"	None	None
"Estrella_oculo"	None	None
"Anillo_traccion_oculo"	None	None
"Anillo_traccion_cupula"	None	None
"Cerramiento_capillas_laterales"	None	None
"Apantallado_pilastras_planta_inferior"	None	None
"Dintel_cerramiento_capilla_latera"	None	None
"Planta_coro"	None	None
"Pilastras_planta_inferior"	None	None
"Pilastras_presbiterio"	None	None
"Releño_no_estructural_presbiterio"	None	None
"Anillo_traccion_coro"	None	None
"Pilastras_planta_coro"	None	None
"Releño_planta_coro"	None	None
"Releño_no_estructural_planta_inferior"	None	None
"Cubierta_presbiterio"	None	None
"Linternon"	None	None
"Cerramiento_presbiterio"	None	None
"Cubierta_coro"	None	None
"Nicho_hornacina_coro"	None	None

El máximo valor obtenido corresponde con la base de las pilastras centrales situadas en el eje corto de la elipse, para los cuales se han obtenido tensiones máximas en torno a 0,15 N/mm<sup>2</sup>.

De nuevo y tratándose del análisis del conjunto de la edificación nos interesará evaluar únicamente las deformaciones máximas concurrentes, que obviamente corresponderá con el descenso del punto central de la bóveda nervada.

Se muestran las imágenes del edificio deformado con una escala visual correspondiente a 4,6x, conjuntamente con la imagen no deformada a fin de evidenciar los puntos de mayor deformación.

### • GRÁFICAS DE DEFORMACIÓN TOTAL (Deformation):



Del análisis efectuado se concluye que la deformación concurrente en la que hemos denominado "estrella central" sobre la que confluyen todas las nervaduras de la bóveda, presenta un desplazamiento máximo de 0,355 m., de tal manera que si a esta cifra global le deducimos el descenso que acontece en

6.1.3. Mesh

- "Mesh", associated with "Model 4" has an overall relevance of 0.
- "Mesh" contains 42610 nodes and 19120 elements.

Table 6.1.3.1. Mesh Sizing Controls

Name	Type	Element Size	Hard	Edge Behavior	Associated Bodies
"Stitch"	Face Sizing	Default	N/A	No Curv/Proximity Refinement	"Part 50"

Table 6.1.3.2. Refinement

Name	Type	Level	Associated Bodies
"Refinement1"	Face Refinement	1	"Part 8", "Solid", "Part 9", "Solid", "Part 10", "Solid", "Part 11", "Solid", "Part 12", "Solid", "Part 13", "Solid", "Part 14", "Solid", "Part 15", "Solid", "Part 16", "Solid", "Part 17", "Solid", "Part 18", "Solid", "Part 19", "Solid", "Part 20", "Solid", "Part 21", "Solid", "Part 22", "Solid", "Part 23", "Solid", "Part 24", "Solid", "Part 25", "Solid", "Part 26", "Solid", "Part 27", "Solid", "Part 28", "Solid", "Part 29", "Solid", "Part 30", "Solid", "Part 31", "Solid", "Part 32", "Solid", "Part 33", "Solid", "Part 34", "Solid", "Part 35", "Solid", "Part 36", "Solid", "Part 37", "Solid", "Part 38", "Solid", "Part 39", "Solid", "Part 40", "Solid", "Part 41", "Solid", "Solid", "Part 7" and "Solid"

Table 6.1.3.3. Mapped Face Meshing Controls

Name	Shape	Associated Bodies
"Mapped Face Meshing"	Triangles	"Part 11"

6.2. "Environment"

Simulation Type is set to Static

Analysis Type is set to Static Structural

"Environment" contains all loading conditions defined for "Model 4" in this scenario.

Standard Earth Gravity - Standard Earth Gravity

- Magnitude: 9.81 m/s<sup>2</sup>
- Vector: [0.0 m/s<sup>2</sup> x, 0.0 m/s<sup>2</sup> y, -9.81 m/s<sup>2</sup> z] in the Global Coordinate System

6.2.1. Structural Loading

Table 6.2.1.1. Structural Loads

Name	Type	Magnitude	Vector	Reaction Force	Reaction Force Vector	Reaction Moment	Reaction Moment Vector	Associated Bodies
"Membruras Bóveda"	Pressure	71,000.0 Pa	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	"Part 8", "Solid", "Part 9", "Solid", "Part 10", "Solid", "Part 11", "Solid", "Part 12", "Solid", "Part 13", "Solid", "Part 14", "Solid", "Part 15", "Solid", "Part 16", "Solid", "Part 17", "Solid", "Part 18", "Solid", "Part 19", "Solid", "Part 20", "Solid", "Part 21", "Solid", "Part 22", "Solid", "Part 23", "Solid", "Part 24", "Solid", "Part 25", "Solid", "Part 26", "Solid", "Part 27", "Solid", "Part 28", "Solid", "Part 29", "Solid", "Part 30", "Solid", "Part 31", "Solid", "Part 32", "Solid", "Part 33", "Solid", "Part 34", "Solid", "Part 35", "Solid", "Part 36", "Solid", "Part 37", "Solid", "Part 38", "Solid", "Part 39", "Solid", "Part 40", "Solid", "Part 41", "Solid", "Solid", "Part 7" and "Solid"
"Pressure"	Pressure	1,000,000.0 Pa	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	"Part 7"

6.2.2. Structural Supports

Table 6.2.2.1. Structural Supports

Name	Type	Radial	Axial	Tangential	Reaction Force	Reaction Force Vector	Reaction Moment	Reaction Moment Vector	Associated Bodies
"Compression Only Support"	Compression Only	Free	Free	Free	8.42e+07 N	[1.14e+10 <sup>7</sup> N x, -2.18e+10 <sup>7</sup> N y, -8.42e+10 <sup>7</sup> N z]	0.0 N.m	[0.0 N.m x, 0.0 N.m y, 0.0 N.m z]	"Part 21"

Table 6.2.2.2. Weak Springs

Step	Reaction Force Magnitude	Reaction Force Vector
Step 1	11.94 N	[13.23 N x, -0.01 N y, -10.88 N z]

6.3. "Solution"

Solver Type is set to Program Controlled

Weak Springs is set to Program Controlled

Large Deflection is set to Off

"Solution" contains the calculated response for "Model 4" given loading conditions defined in "Environment".

One or more bodies may be underconstrained and experiencing rigid body motion. Weak springs have been added to attain a solution.

- Thermal expansion calculations use a constant reference temperature of 20.0 °C for all bodies in "Model 4". Theoretically, at a uniform temperature of 20.0 °C no strain results from thermal expansion or contraction.

la base de los arcos, podrías determinar un descenso relativo de 0,079 m., lo cual representa un descenso porcentual de un L/531 en el eje mayor, y de un L/349 en el eje corto.

Tal vez merecería la pena revisar las imágenes en las que se veían los gatos hidráulicos y evaluar si realmente disponían de margen de maniobra suficiente para los valores que hemos estimado.

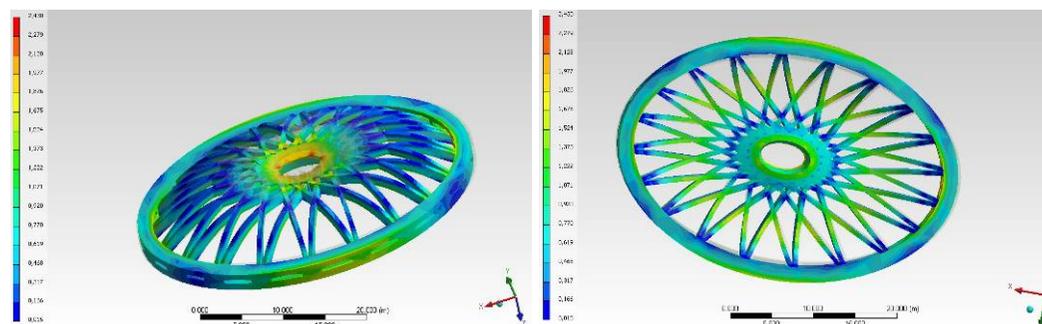
7.3.2.- RESULTADOS PARTICULARES

Se ha realizado el análisis particularizado de los elementos más importantes que configuran la bóveda nervada de acuerdo a los esquemas siguientes. Los resultados que se facilitan corresponden con los valores de tensiones principales y deformaciones, en todos los casos con una expresión de máximo y mínimo valor y con una escala patrón de 14 escalones o etapas parciales.

En los esquemas representados se visualiza la imagen no deformada del conjunto ("**Show undeformed model**"), para facilitar la interpretación de resultados.

- TENSIONES (Stress):

- Tensión equivalente (Equivalent stress)



6.3.1. Structural Results

Table 6.3.1.1. Values

Name	Scope	Orientation	Minimum	Maximum	Minimum Occurs On	Maximum Occurs On	Alert Criteria
"Equivalent Stress"	All Bodies In "Model"	Global	146,096.17 Pa	$2.43 \times 10^7$ Pa	Solid	Part 3	None
"Maximum Principal Stress"	All Bodies In "Model"	Global	$-2.82 \times 10^6$ Pa	$2.42 \times 10^7$ Pa	Solid	Part 31	None
"Minimum Principal Stress"	All Bodies In "Model"	Global	$-2.7 \times 10^7$ Pa	$3.68 \times 10^6$ Pa	Part 3	Part 36	None
"Maximum Shear Stress"	All Bodies In "Model"	Global	84,052.16 Pa	$1.31 \times 10^7$ Pa	Solid	Part 3	None
"Normal Stress X"	All Bodies In "Model"	X Axis	$-2.14 \times 10^7$ Pa	$1.94 \times 10^7$ Pa	Part 3	Part 31	None
"Total Deformation"	All Bodies In "Model"	Global	$3.52 \times 10^{-2}$ m	0.34 m	Solid	Part 3	None
"Maximum Principal Elastic Strain"	All Bodies In "Model"	Global	$-5.02 \times 10^{-5}$ 1/mm	$1.28 \times 10^{-2}$ 1/mm	Part 31	Part 36	None
"Maximum Principal Elastic Stress"	All Bodies In "Model"	Global	$-1.7 \times 10^7$ Pa	$7.04 \times 10^7$ Pa	Part 3	Part 31	None
"Normal Stress Y"	All Bodies In "Model"	Y Axis	$-2.63 \times 10^7$ Pa	$2.42 \times 10^7$ Pa	Part 3	Part 31	None
"Normal Stress Z"	All Bodies In "Model"	Z Axis	$-6.35 \times 10^6$ Pa	$5.0 \times 10^6$ Pa	Part 36	Part 36	None

■ Convergence tracking not enabled.

A5. Definition of "Granitoide"

Table A5.1. "Granitoide" Constant Properties

Name	Value
Density	2,650.0 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	$1.0 \times 10^{10}$ Pa
Thermal Expansion	$1.1 \times 10^{-5}$ 1/°C
Specific Heat	880.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	3.5 W/m·°C
Tensile Ultimate Strength	4,000.0 Pa
Compressive Ultimate Strength	$4.0 \times 10^7$ Pa

A6. Definition of "Fabrica Ladrillo Macizo"

Table A6.1. "Fabrica Ladrillo Macizo" Constant Properties

Name	Value
Density	1,400.0 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.25
Young's Modulus	$1.5 \times 10^9$ Pa
Thermal Expansion	$6.0 \times 10^{-6}$ 1/°C
Specific Heat	878.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	0.87 W/m·°C
Tensile Ultimate Strength	100,000.0 Pa
Compressive Ultimate Strength	$3.43 \times 10^8$ Pa

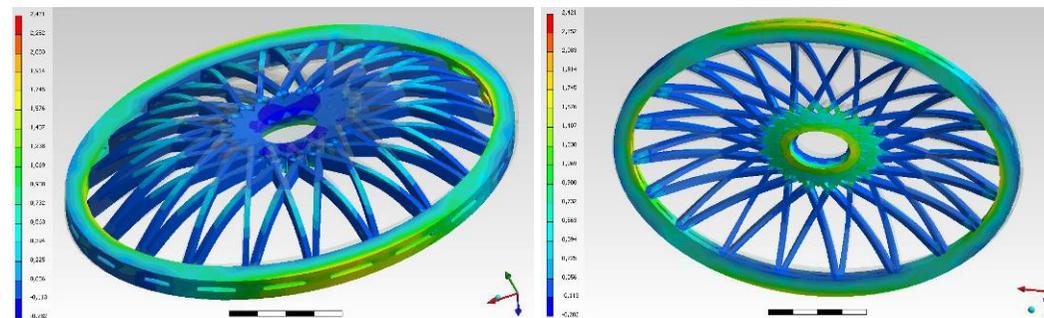
A7. Definition of "Hormigon Armado"

Table A7.1. "Hormigon Armado" Constant Properties

Name	Value
Density	2,500.0 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.18
Young's Modulus	$2.15 \times 10^9$ Pa
Thermal Expansion	$1.4 \times 10^{-5}$ 1/°C
Specific Heat	1,050.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	1.63 W/m·°C
Tensile Ultimate Strength	$1.55 \times 10^8$ Pa
Compressive Ultimate Strength	$2.0 \times 10^7$ Pa

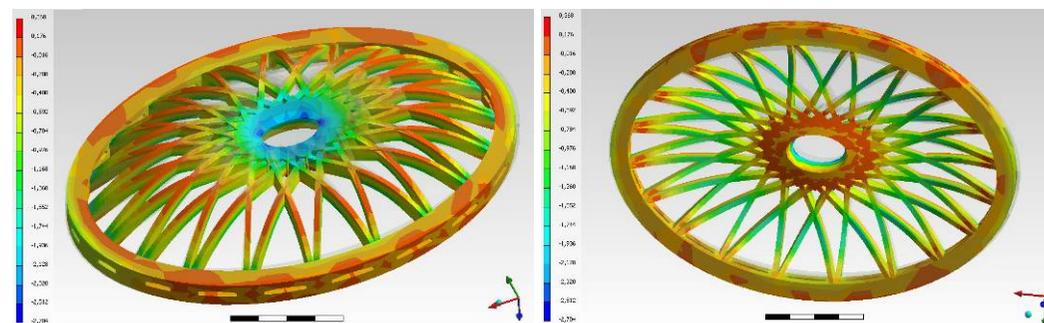
- Máxima Tensión principal (Maximum Principal Stress)

El máximo valor que concurre en las nervaduras corresponde a la cara superior de los arcos situados en torno al eje de simetría del lado menor, con una punta máxima de 0,39178 N/mm<sup>2</sup>.



- Mínima Tensión Principal (Minimum Principal Stress)

La mínima tensión principal corresponde a la zona de entrega de los arcos situados en posición diagonal con respecto a los ejes principales, en la zona de estrella, con valores situados en torno a 3,76 N/mm<sup>2</sup>.



A8. Definition of "Relleno no Estructural"

Table A8.1. "Relleno no Estructural" Constant Properties

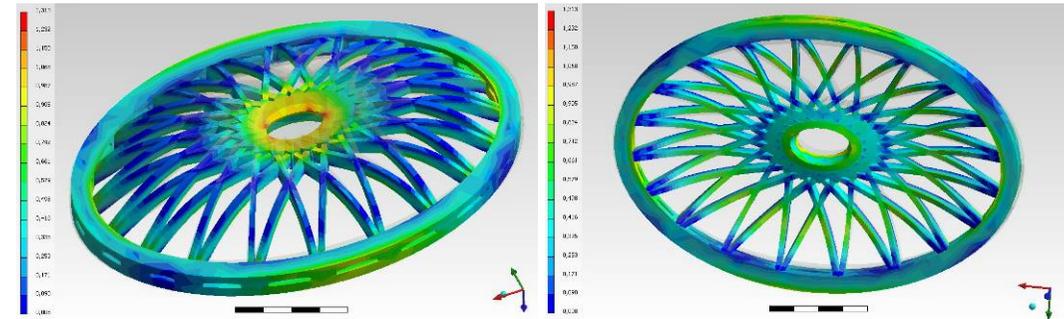
Name	Value
Density	1,000.0 kg/m³
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	7.5×10 <sup>9</sup> Pa
Thermal Expansion	1.0×10 <sup>-5</sup> 1/°C
Specific Heat	1,050.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	1.4 W/m·°C
Tensile Ultimate Strength	10,000.0 Pa
Compressive Ultimate Strength	100,000.0 Pa

A9. Definition of "Fabrica Ladrillo Perforado"

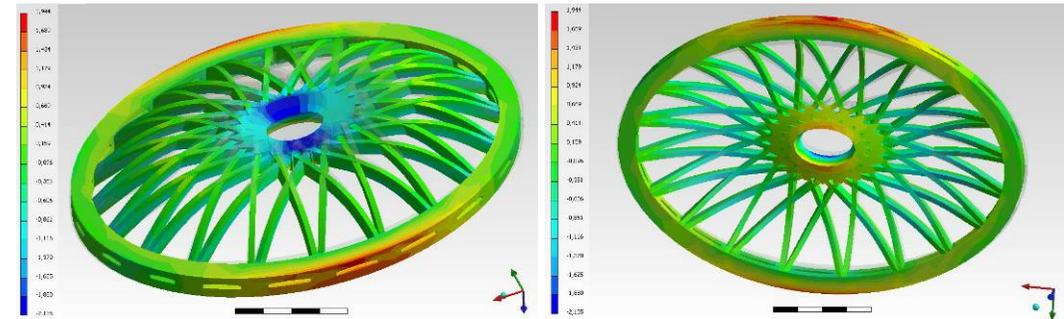
Table A9.1. "Fabrica Ladrillo Perforado" Constant Properties

Name	Value
Density	2,500.0 kg/m³
Poisson's Ratio	0.25
Young's Modulus	1.3×10 <sup>7</sup> Pa
Thermal Expansion	6.0×10 <sup>-6</sup> 1/°C
Specific Heat	878.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	0.87 W/m·°C
Tensile Ultimate Strength	8,500.0 Pa
Compressive Ultimate Strength	150,000.0 Pa

- Máxima Tensión Cortante (Maximun Shear Stress)

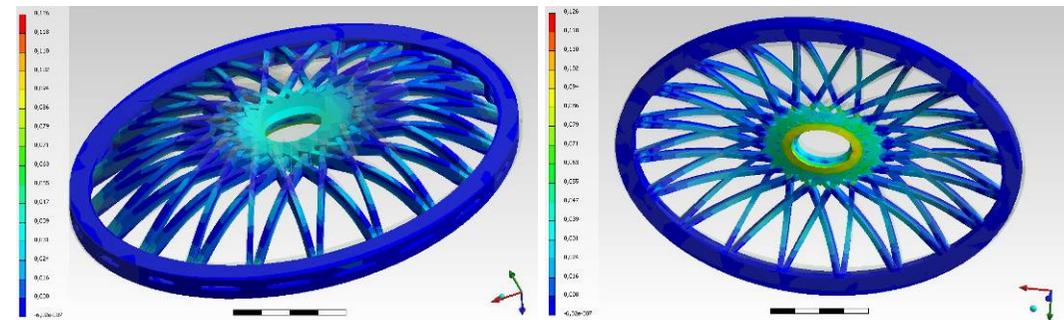


- Tensión Normal eje X (Normal Stress X)

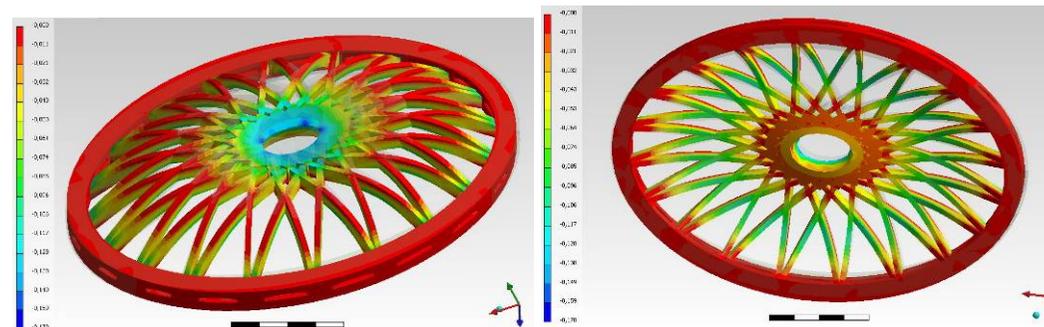


• DEFORMACIONES (Strain):

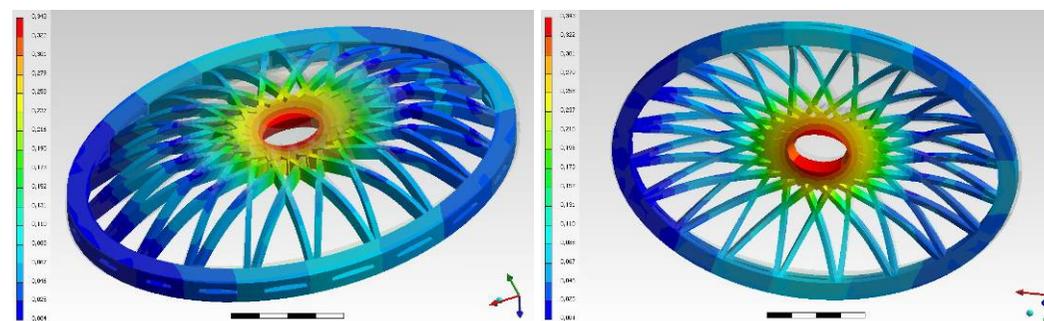
- Deformación Unitaria (Tensión principal máxima) (Maximum Principal Elastic Strain)



**- Deformación Unitaria (Tensión principal mínima) (Minimum Principal Elastic Strain)**



**• DEFORMACIÓN TOTAL (Deformation):**



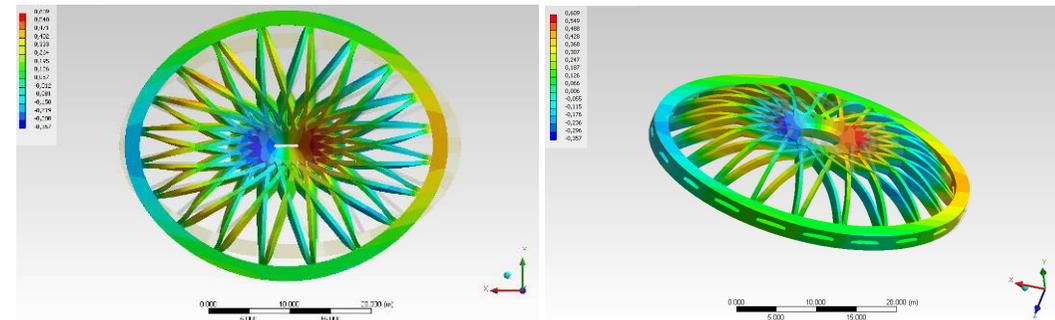
**7.3.3.- ANÁLISIS EN CONDICIONES DE CARGA TÉRMICA**

En este apartado me he centrado en el análisis de deformación diferencial que concurrirá en función de la aplicación parcial de variaciones de temperatura referidas únicamente al anillo de tracción perimetral al desarrollo de la bóveda.

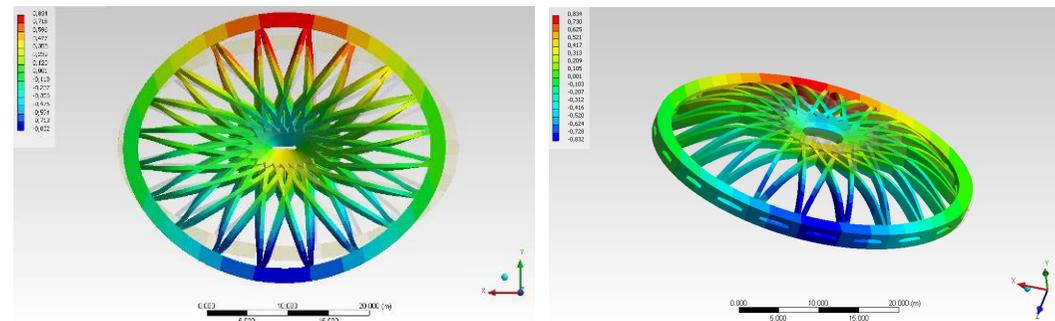
De forma resumida se adjuntan los resultados de deformación unitaria ( $\epsilon$ ) correspondientes a los ejes X e Y

Las diferencias de tensión concurrentes en el caso de aumento de temperatura resultan mínimas, así que nos centraremos en evaluar el diferente comportamiento respecto a los ejes X e Y debido a las diferencias de incremento de temperatura que se han aplicado en lados opuestos.

**- Deformación Total en el eje X (Directional Deformation X)**



**- Deformación Total en el eje Y (Directional Deformation Y)**



## 8. BIBLIOGRAFÍA.

### LIBROS:

- *Bóvedas tabicadas*  
Autor Luis Moya Blanco  
Editorial Ministerio de Gobernación. Dirección General de Arquitectura 1947
- *Iglesia de San Agustín, en Madrid*  
Autor Luis Moya Blanco  
Editorial Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento
- *Guía de la Universidad Laboral "Jose Antonio Girón" Gijón*  
Autor A. Huerta, S.J.
- *Escritos sobre la construcción cohesiva*  
Autor Rafael Guastavino  
Editorial Instituto Juan Herrera 2006
- *La Arquitectura de Luis Moya Blanco*  
Autor Antonio González-Capitel  
Editorial Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid 1982
- *El cuaderno de apuntes de construcción de Luis Moya (curso 1924-1925)*  
Autor Luis Moya  
Editorial Javier García-G. Mosteiro, Madrid, ETSAM e Instituto Juan de Herrera 1993
- *Bóvedas tabicadas : segunda parte del libro "La arquitectura cortés y otros escritos"*  
Autor Luis Moya Blanco  
Editorial Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid 1993

- *Los talleres de la Universidad Laboral de Gijón*  
Autor Martín Rodríguez, Ángel... [et al.]  
Editorial CICEES-INCUNA 2006
- *La Laboral de Gijón: de Orfanato Minero a Ciudad de la Cultura*  
Autor Sergio Ríos González y Cesar García de Castro Valdés  
Editorial Ménsula Ediciones 2008
- *La Universidad Laboral de Gijón*  
Autor Sergio Ríos González y Cesar García de Castro Valdés  
Editorial Ediciones Trea 1997
- *Guía Histórico-Artística del C.E.I. de Gijón -Antigua Universidad Laboral-*  
Autor César Álvarez, J.  
Editorial Júcar 1993
- *El día en que volvimos a la Universidad Laboral*  
Autor Domínguez Narvaiza, J.  
Editorial Libros de la Memoria 1999
- *Luis Moya Blanco Arquitecto 1904-1990*  
Autor García-Gutiérrez Mosteiro, J./González Capitel A.  
Editorial Electa 2000

**TESIS:**

- *La Arquitectura de Luis Moya Blanco (tesis doctoral)*  
Autor Antonio González-Capitel  
Editorial Universidad Politécnica Madrid 1976
- *Dibujo y proyecto en la obra de Luis Moya Blanco (tesis doctoral)*  
Autor  
Editorial Biblioteca ETSAM 1996

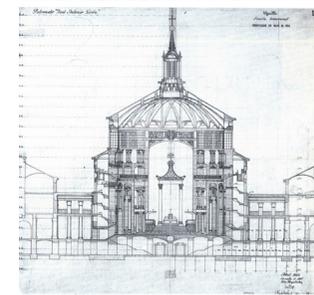
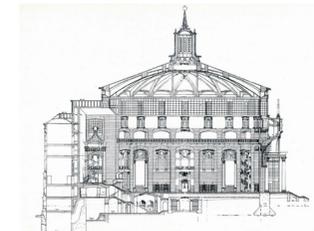
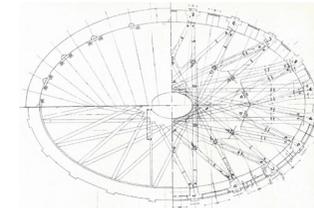
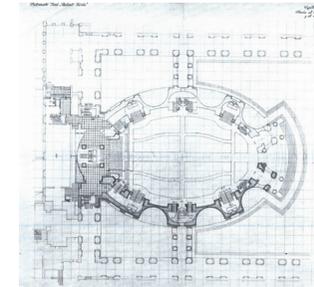
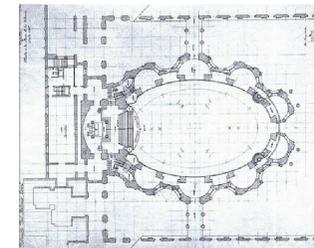
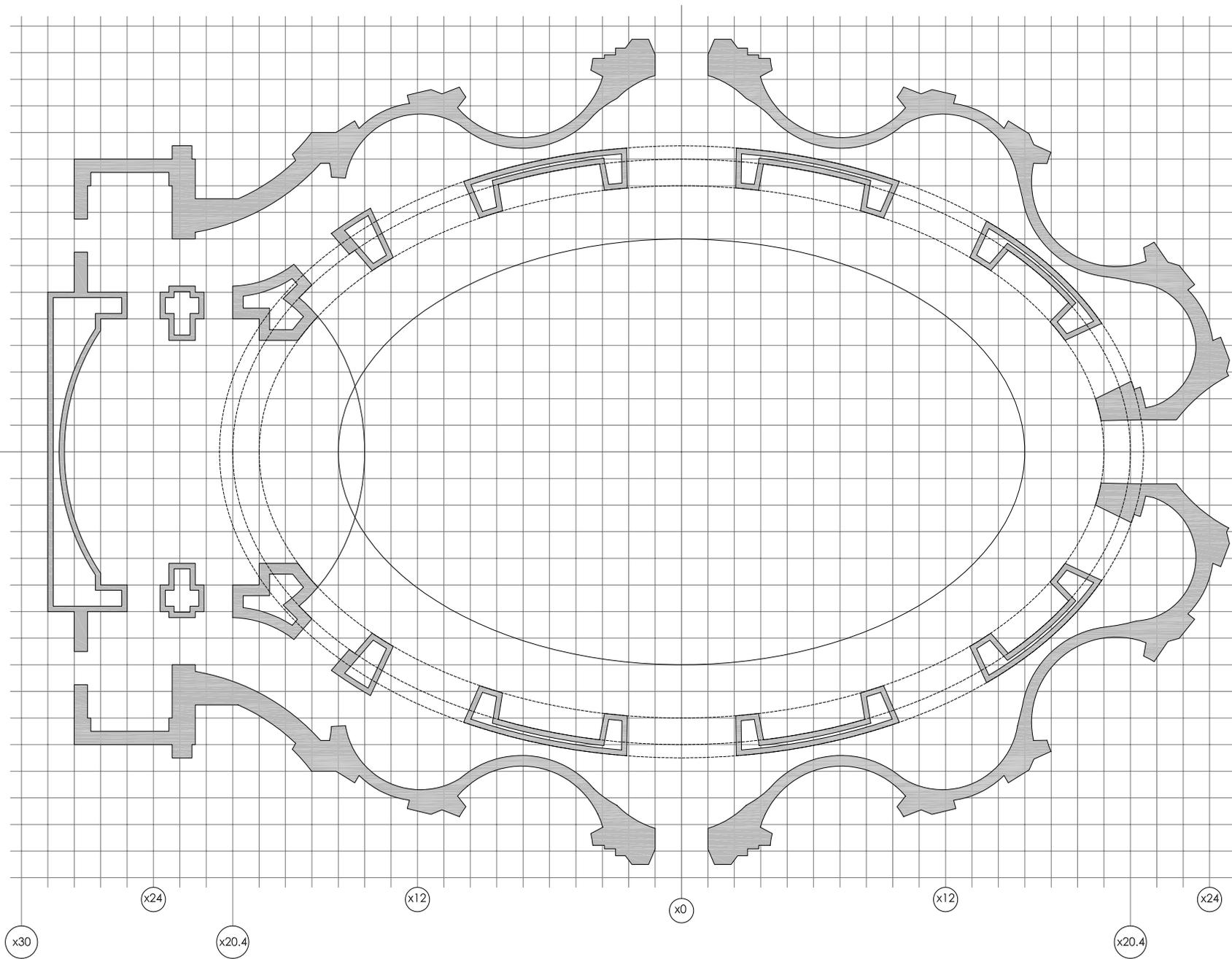
**ARTÍCULOS:**

- *Aspectos constructivos de la reconstrucción de Villanueva de la Cañada. El uso de los sistemas de bóvedas tabicadas y su perspectiva histórica.*  
Autor Jose María G. de Churtichaga  
Editorial ConArquitectura: arquitectura con arcilla cocida, N°8 2003

- *El gran arquitecto Luis Moya Blanco*  
Autor Chueca Goitía, F.  
Editorial Academia (Madrid), 70 (primer sem.) 29-34 1990
- *Luis Moya Blanco. Maestro en el recuerdo*  
Autor Fernández Alba, A.  
Editorial Academia (Madrid), 70 (primer sem.) 71-75 1990
- *Mecánica de las Bóvedas Tabicadas*  
Autor Santiago Huerta  
Editorial Revista Arquitectura
- *Luis Moya y las Bóvedas Tabicadas en la Postguerra Española*  
Autor Josep M<sup>a</sup> Adell y Antonio Rolando  
Editorial Informes de la Construcción vol.56, n<sup>o</sup>496 2005
- *Fortuna crítica de Luis Moya a través de la Revista Nacional de Arquitectura (1945-1958)*  
Autor Carlos Montes Serrano
- *Clasicismo, licencia y retórica en la arquitectura de Luis Moya. A propósito de la primera piedra de la Universidad Laboral de Gijón*  
Autor Carlos Montes Serrano  
Editorial RA. Revista de Arquitectura, Pamplona n<sup>o</sup>3 1999

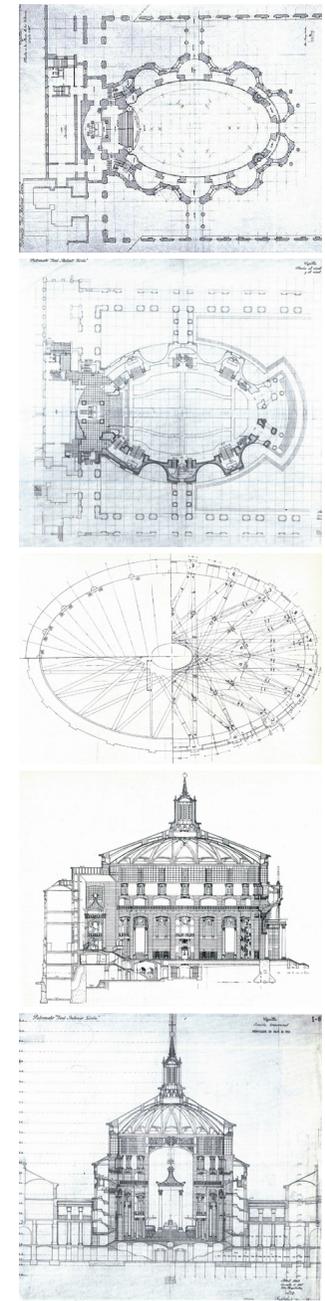
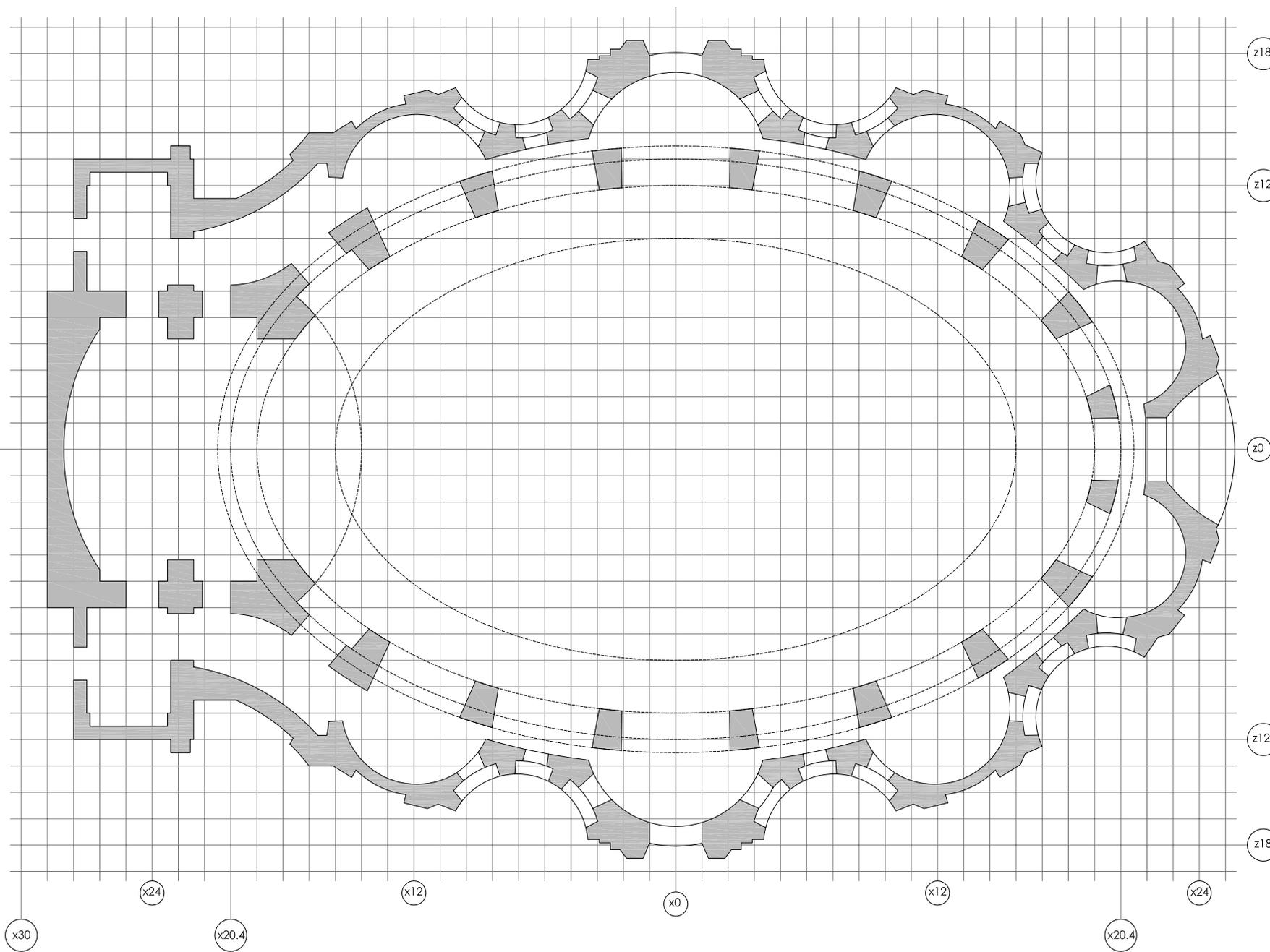
## **ANEXO GRÁFICO.**

- 1. ESQUEMA SIMPLIFICADO. NIVEL INFERIOR**
- 2. ESQUEMA SIMPLIFICADO. NIVEL INTERMEDIO**
- 3. ESQUEMA SIMPLIFICADO. NIVEL SUPERIOR**
- 4. ESQUEMA SIMPLIFICADO. DISTRIBUCIÓN DE ARCOS**
- 5. ESQUEMA SIMPLIFICADO. CUBIERTA**



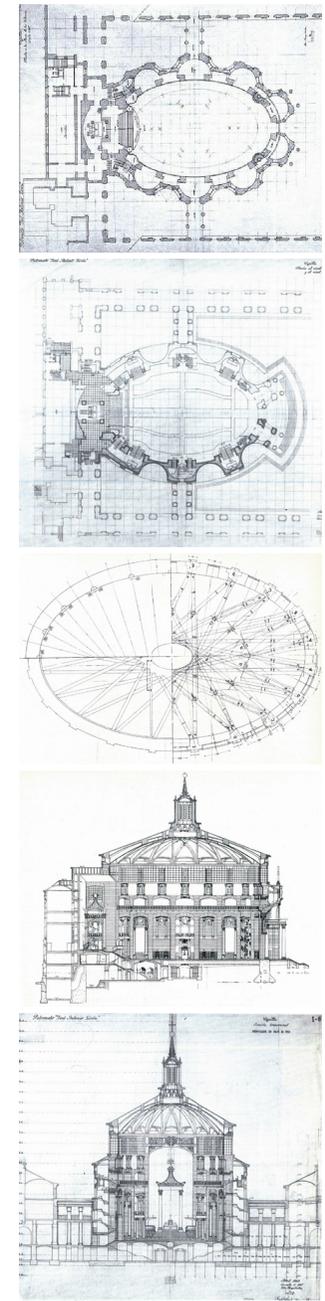
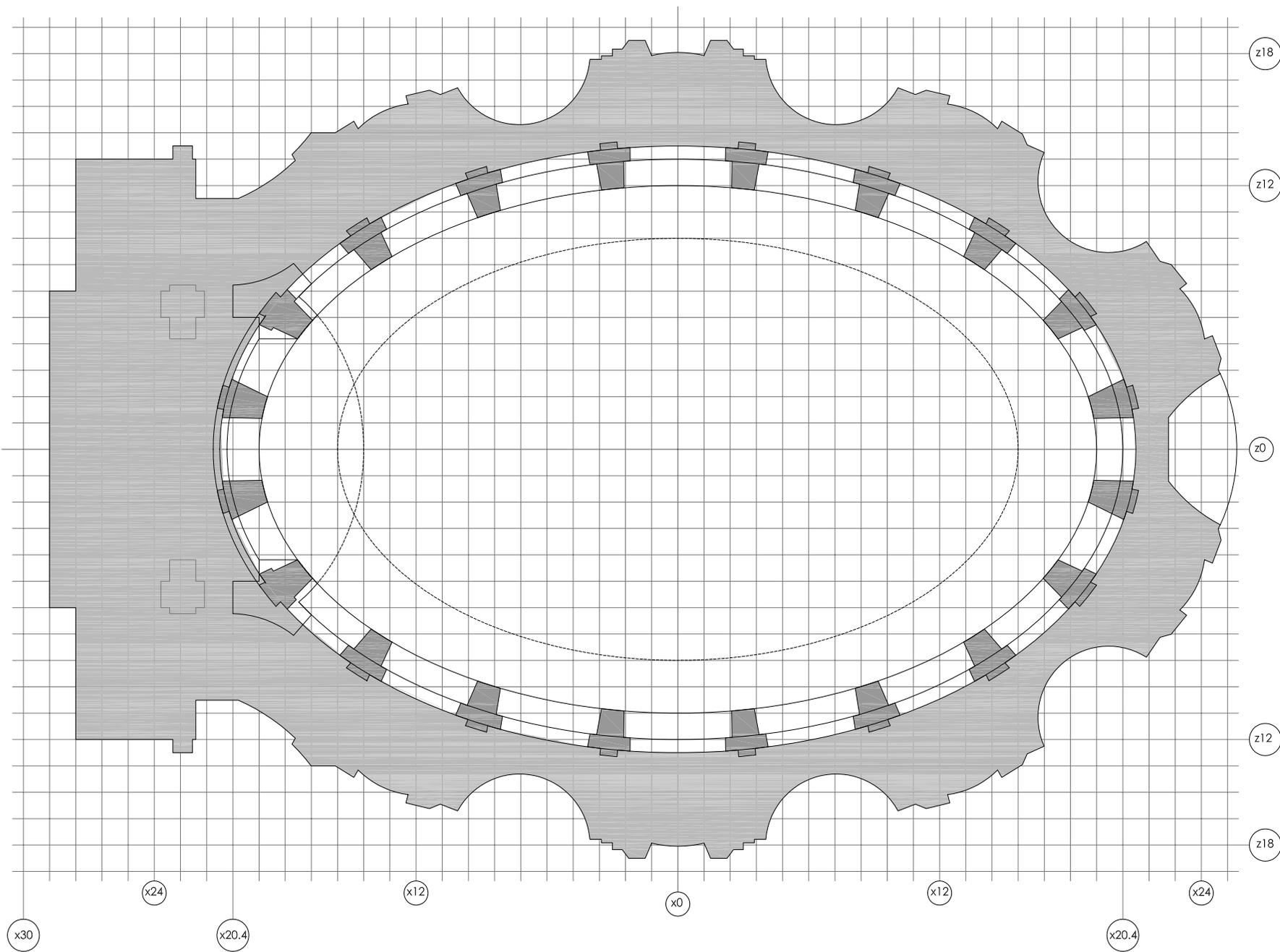
Esquema Simplificado. Nivel Inferior

0 1.2 2.4 4.8 12.0 24 Escala 1:250



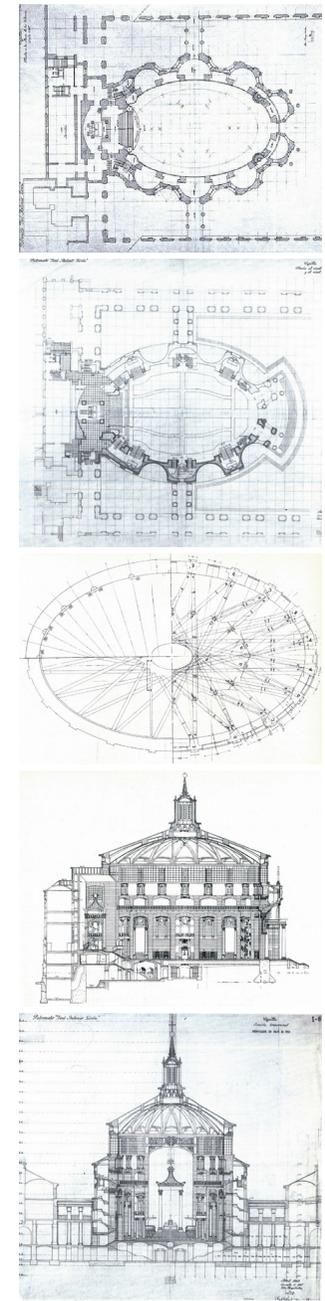
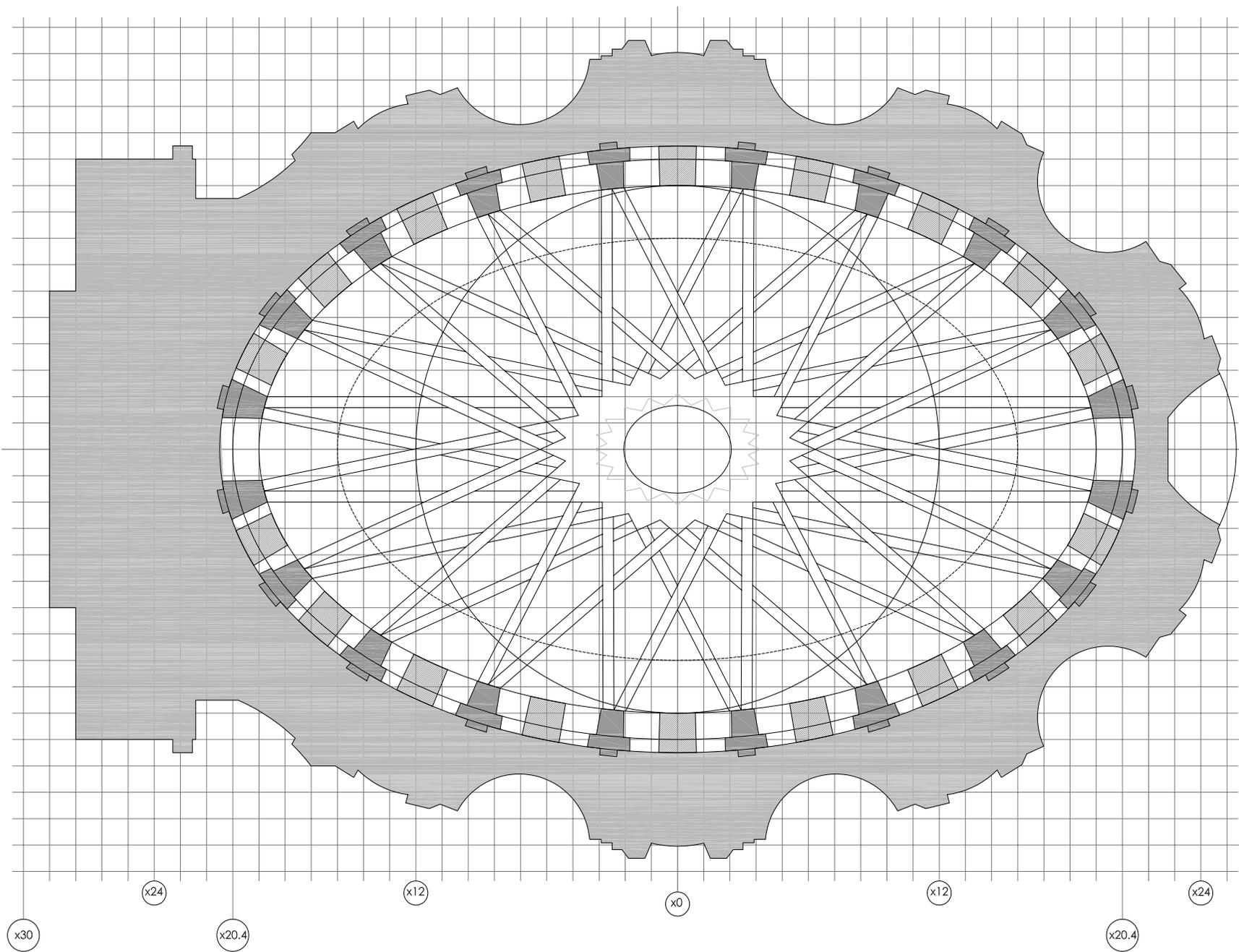
Esquema Simplificado. Nivel Intermedio



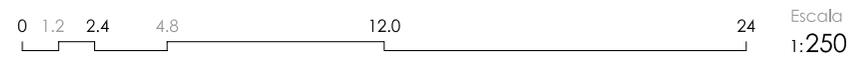


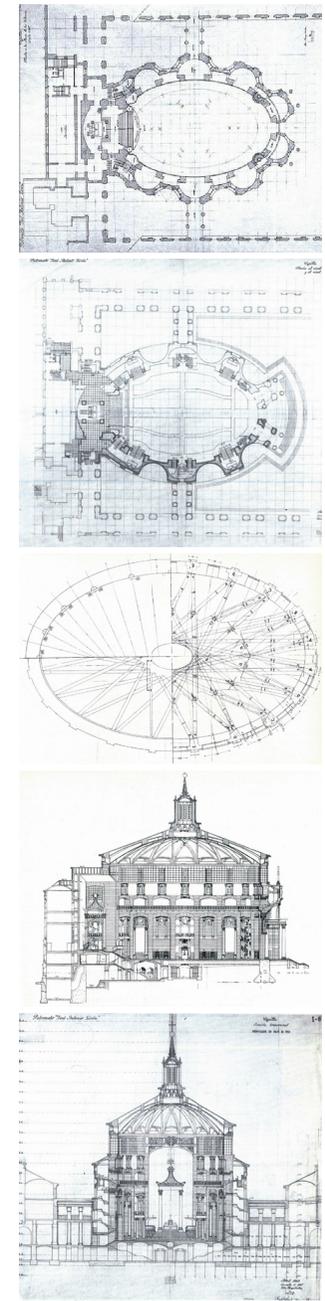
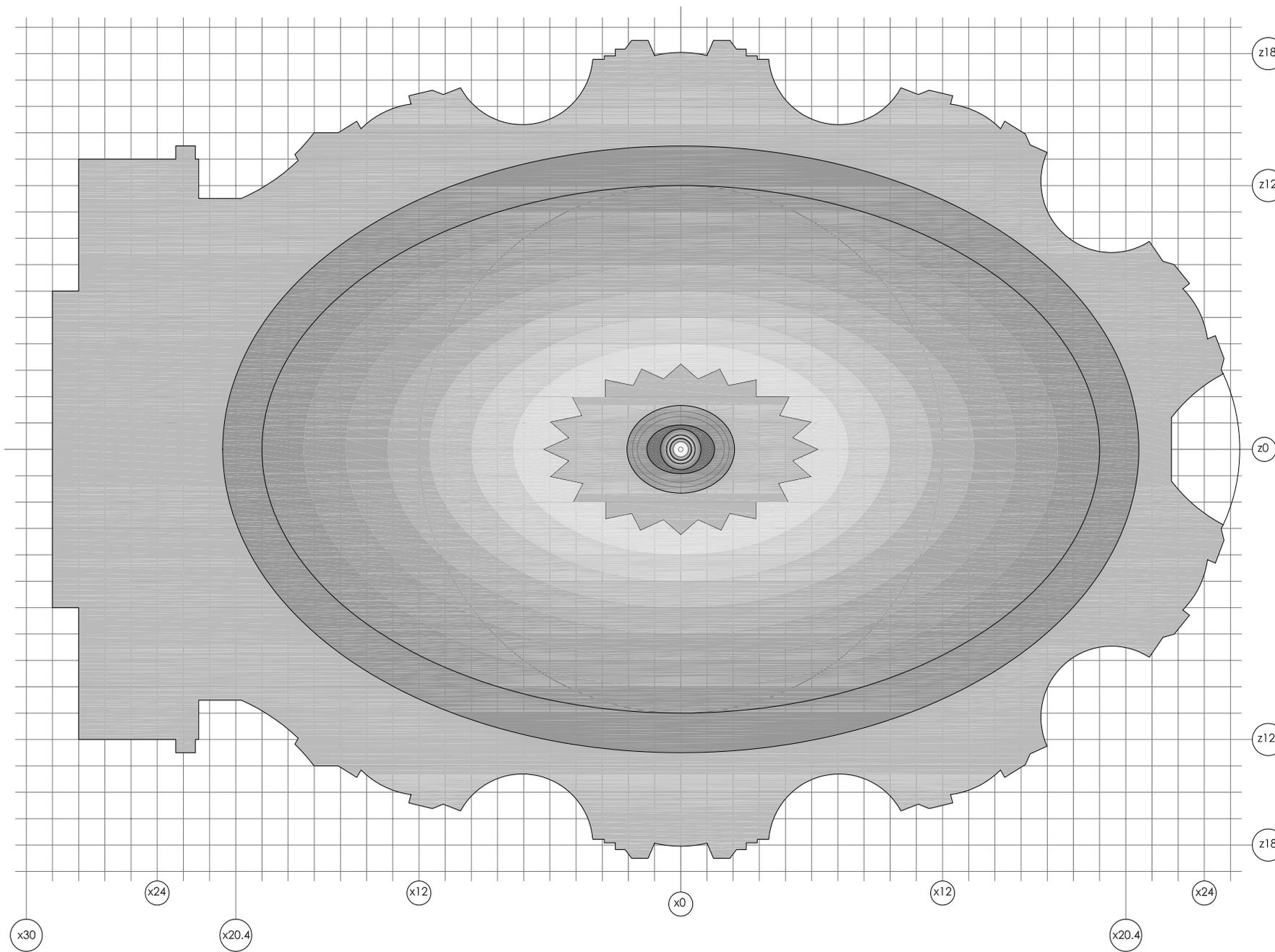
Esquema Simplificado. Nivel Superior





Esquema Simplificado. Distribución de Arcos





Esquema Simplificado. Cubierta

