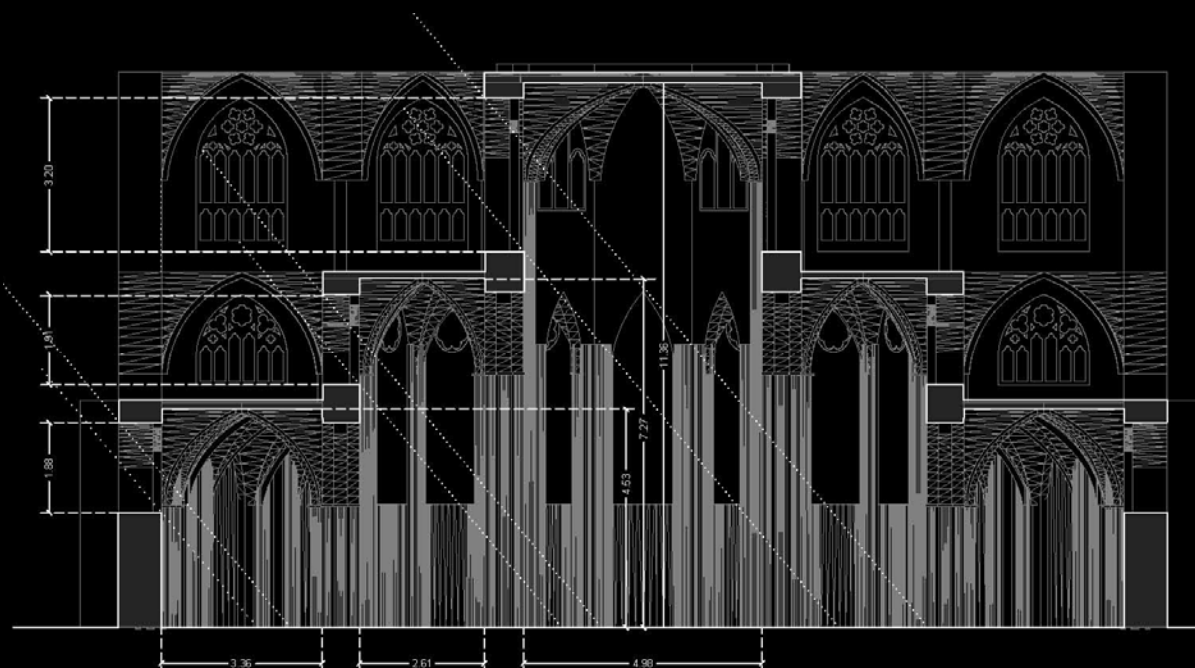


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID.



LA LUZ NATURAL COMO GENERADORA DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO DE LA CATEDRAL GÓTICA



TESIS DOCTORAL

JUAN MANUEL MEDINA DEL RÍO. ARQUITECTO

Diciembre de 2012

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA
ARQUITECTÓNICAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID.

LA LUZ NATURAL COMO GENERADORA DEL ESPACIO
ARQUITECTÓNICO DE LA CATEDRAL GÓTICA

JUAN MANUEL MEDINA DEL RÍO. ARQUITECTO

DIRECTORA: DRA. MARÍA JOSEFA CASSINELLO PLAZA. ARQUITECTA

Diciembre de 2012



POLITÉCNICA

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. De la Universidad Politécnica de Madrid, el día.....de.....de 20....

Presidente:_____

Vocal: _____

Vocal:_____

Vocal:_____

Secretario:_____

Suplente:_____

Suplente:_____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día.....de Enero de 2013, en la E.T.S.A.M.

Calificación

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

Agradecimientos:

El presente trabajo sería tan intangible como la propia luz que lo define y modela si no fuera por la realidad que me rodea. Todas esas personas que, con su apoyo y cariño, me iniciaron en la curiosidad por conocer y alimentaron, sin saberlo, mi pasión por descubrir y en definitiva por crecer. Como no puede ser de otro modo, ellas están presentes en la primera de las páginas de este apasionante estudio en el que me he visto inmerso por obra y gracia de la luz gótica.

El primero de mis recuerdos es para Dario Gazapo, mi *mentor en la arquitectura*, que consiguió despertar en mí la pasión por pensar, sentir y vivir en "arquitectura" y por supuesto la pasión por la luz, esa que nos rodea y nos modela.

Gracias a mis compañeros de Universidad, David, Goyo, Sonsoles y sobre todo para mi tocayo Eduardo Medina, ejemplo inigualable de inteligencia docente e integridad personal. Gracias a los cuatro por vuestro apoyo y soporte.

Gracias también a mis compañeros de estudio. A Antonio como mi *mentor profesional*, con el empezó mi pasión por las "tesis" y siempre supuso el apoyo necesario para que la mía se gestara. A Alex, como compañero de fatigas "de siempre" y soporte anímico constante y por último, a Pedro, el revisor de conciencias y fabricante de ideas que ha dispuesto los railes por los que discurren gran parte de mis pensamientos y mi profesión. Gracias a los tres por compartir conmigo la pasión por pensar y vivir "en arquitectura".

Quiero recordar de manera especial a todas esas personas que hicieron que mi recorrido por las catedrales fuera tan mágico como su propia luz, esas que cuidan de que todas las catedrales sean siempre bellas y por supuesto gracias a la persona que ha despertado el torrente de mis inquietudes sobre el gótico; mi directora de tesis. Gracias Pepa por tu arrollador entusiasmo y amor por las catedrales, sin duda me lo has contagiado.

Por último quiero recordar a mi familia, poderoso factor equilibrador de mi balanza emocional como soporte y garantía de pertenencia a algo. Gracias a mis hermanos, que siempre me apoyaron incondicionalmente. A mi madre, la persona que creyó en mí desde la irracionalidad hasta la lucidez y que siempre me mostró el camino...sin decir nada. Y a mi padre, espero que tú también estés rodeado de esa mágica luz que nos conmueve, la *lux vera* o luz verdadera de la que tanto hablo en este escrito, seguro que sí.

Gracias a mis hijos que, sin saberlo, han llenado de sonrisas y satisfacción cada día que recorro en mi vida y por los que todo cobra sentido.

Y para el final, lo definitivo. Gracias a mi verdadera luz, sin ella nada sería posible...

Gracias Belén,

Te quiero absolutamente...

RESUMEN:

La historia de la construcción de las catedrales góticas es la historia de la búsqueda de la luz. Esta afirmación casi metafísica, recoge una realidad asumida por todos los historiadores tanto de la arquitectura antigua como del resto de las artes. La luz en el gótico ha sido descrita bajo múltiples matices como son su carácter simbólico, cromático e incluso místico, sin embargo no existe, en el estudio del conocimiento de la luz gótica, ninguna referencia a la misma como realidad física **cuantificable, cualificable** y por tanto, **clasificable**.

La presente tesis doctoral aborda el concepto de la iluminación gótica desde una perspectiva nueva. Demuestra, con un método analítico inédito, que la iluminación gótica es cuantificable y cualificable. Para ello analiza en profundidad la iluminación de una selección de 6 edificios muestra, las catedrales de Gerona, Toledo, Sevilla y León, la basílica de Santa María del Mar y la capilla de la Sainte Chapelle de París, mediante una toma de datos "in situ" de iluminación y su comparación con los datos lumínicos obtenidos por un programa de soleamiento de la simulación en tres dimensiones de los distintos proyectos originales góticos.

El análisis exhaustivo de las muestras y su introducción en el método analítico descrito, permite determinar, en primer lugar, unas **cualidades** inéditas que identifican la luz de los espacios góticos según unos parámetros nuevos como son la **intensidad, expresividad, recorrido, distorsión y color**. También describe cuales son los **factores** determinantes, de nuevo inéditos, que modulan cada una de las cualidades y en que proporción lo hacen cada uno de ellos.

Una vez establecidas las cualidades y los factores que las definen, la tesis doctoral establece los **rangos** en los que se mueven las distintas cualidades y que conformarán la definitiva **clasificación** según "**tipos de calidad lumínica**".

Adicionalmente, la tesis propone un **procedimiento abreviado** de acercamiento a la realidad de la iluminación gótica a través de unas fórmulas matemáticas que relacionan los factores geométricos detectados y descritos en la tesis con el resultado luminoso del espacio en lo que concierne a las dos cualidades más importantes de las reflejadas, la **intensidad** y la **expresividad**. Gracias a este método y su procedimiento abreviado, la clasificación se hace **extensible** al resto de catedrales góticas del panorama español y europeo y abre el camino a nuevas clasificaciones de edificios históricos de distintas épocas, iniciando un apasionante camino por recorrer en la recuperación de "la luz original".

Esta clasificación y sus cualidades podrán a su vez, ser utilizadas como herramientas de conocimiento de un factor determinante a la hora de describir cualquier espacio gótico y su aportación pretende ser un nuevo condicionante a tener en cuenta en el futuro, ayudando a entender y respetar, en las posibles intervenciones a realizar sobre el patrimonio arquitectónico, aquello que fue en su inicio motor principal del proyecto arquitectónico y que hoy día no se valora suficientemente tan solo por falta de conocimiento: **su luz**.

ABSTRACT:

The history of the construction of the Gothic cathedrals is the history of the search for light. This almost metaphysical statement reflects a reality accepted by all historians both of ancient architecture and other arts. Light in the Gothic period has been described under multiple approaches such as its symbolic, chromatic and even mystical character. However, in the study of the Gothic light, no references exist to it as a physical **quantifiable** and **qualifiable** reality and therefore, **classifiable**.

This dissertation deals with the concept of Gothic light from a new perspective. With a new analytical method, it shows that Gothic lighting is quantifiable and can be classified regarding quality.

To this end, a selection of 6 buildings light samples are analyzed; the cathedrals of Gerona, Toledo, Seville and León, the basilica of Santa María of the Sea and the Sainte Chapelle in Paris. "In situ" lighting data is collected and it is compared with lighting data obtained by a program of sunlight of the 3D simulation of various Gothic original projects.

The comprehensive analysis of the samples and the data introduced in the analytical method described, allows determining, first, important **qualities** that identify the light of Gothic spaces according to new parameters such as **intensity**, **expressiveness**, **trajectory**, **distortion** and **color**. It also describes the determinant **factors**, which modulate each of the qualities and in what proportion they do it.

Once the qualities and factors that define them have been established, in this doctoral dissertation the **ranges** regarding different qualities are set, which will make up the final **classification** according to "**types of light quality**".

In addition, this work proposes an **abbreviated procedure** approach to the reality of the Gothic lighting through some mathematical formulae, relating the geometric factors identified and described in the study with the bright result of space regarding the two most important qualities of the light, **intensity** and **expressiveness**.

Thanks to this method and to the abbreviated procedure, the classification can be applied to other Spanish and European Gothic cathedrals and opens up the way to new classifications of historic buildings from different eras, starting an exciting road ahead in the recovery of the "original light".

This classification and its qualities may in turn be used as tools to know a determinant factor when describing any Gothic space. Its contribution is intended to be a new conditioning factor to keep in mind in the future, helping to understand and respect, in possible interventions on the architectural heritage, what was the main engine to start the architectural project and which today is not valued enough due to the lack knowledge: **the light**.

INDICE DE LA TESIS

1. INTRODUCCIÓN. MARCO Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1 La arquitectura gótica. "La búsqueda de la luz"	5
1.2 Evolución de la luz, del románico al renacimiento pasando por el gótico	10
1.2.1 Del románico al gótico. ¿Revolución de la luz o control simbólico?	10
1.2.2 Del gótico al renacimiento. Hacia la luz natural	22
1.3 Nacimiento del gótico. El abad suger y saint-denis	36
2. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	44
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	47
3.1. Hipótesis	47
3.1.1 Apartado 1. Sobre la manipulación de la luz en el gótico.	47
3.1.2 Apartado 2. Sobre la clasificación de la luz.	47
3.1.3 Apartado 3. Sobre las relaciones entre la forma de las catedrales y su luz.	48
3.1.4 Apartado 4. Sobre las distorsiones lumínicas en los espacios góticos.	48
3.2 Objetivos	50
4. ESTADO DEL ARTE	51
4.1 El marco gótico. Situación socio-económica de la época y su influencia en las fuentes documentales.	51
4.2 Fuentes de la época. Manuscritos.	54
4.3 Corrientes históricas referidas al trazado y estabilidad del gótico.	68
4.4 Corrientes históricas referidas a la luz en el gótico.	70
4.4.1 Otto von simson.	73
4.4.2 Hans jantzen.	77
4.4.3 Victor nieto alcaide.	83
4.4.4 Robert Mark.	89
4.5 Fuentes principales empleadas para la tesis.	93
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	94
5.1 Introducción a la iluminación natural. Conceptos empleados.	94
5.1.1 La naturaleza de la luz.	94
5.1.2 Unidades de medida de la luz. Método de medida empleado en la tesis.	99
5.2 Resumen del método de análisis utilizado.	113
5.2.1. Introducción.	114
5.2.2. Modelos 2d y 3d de la catedral.	114
5.2.3. Obtención de datos (luxes por punto).	118
5.2.4. Traslación de datos a gráficas comparativas.	120
5.2.5. Análisis de la situación actual de la iluminación en las muestras estudiadas.	121
5.2.6. Comparativa de las distintas muestras.	123
5.2.7. Definición de los "tipos de iluminación gótica".	123
5.3 Indicadores utilizados para la preclasificación.	124
5.3.1 Indicador de forma y volumen. Número de naves, ancho de naves, altura y decalajes.	125
5.3.2 Indicador de relación vano/muro.	140
5.3.3 Indicador sísmico. Transparencia de los muros.	142
5.3.4 El color.	147
5.4 Selección de muestras según los indicadores.	166

6. ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

172

6.1 Catedral de Gerona.	173
6.1.1 Catedral de Gerona. Introducción y antecedentes.	174
6.1.2 Catedral de Gerona. Modelos 2d y 3d.	178
6.1.3 Catedral de Gerona. Análisis de la sección. Factor de esbeltez y factor de transparencia.	184
6.1.4 Catedral de Gerona. Obtención de datos lumínicos.	187
6.1.5 Catedral de Gerona. Traslación de datos a gráficas lumínicas: iluminación indirecta.	192
6.1.6 Catedral de Gerona. Análisis de la iluminación general de la catedral. Iluminación indirecta.	201
6.1.6.1 Nave central.	201
6.1.6.2 Nave transversal.	205
6.1.6.3. Iluminación total por zonas.	209
6.1.7 Catedral de Gerona. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	211
6.1.8 Catedral de gerona. Análisis de la iluminación actual.	220
6.1.9 Catedral de gerona. Análisis de color.	230
6.2 Santa María del mar.	236
6.2.1 Santa María del mar. Introducción y antecedentes.	237
6.2.2 Santa María del mar. Modelos 2d y 3d.	241
6.2.3 Santa María del mar. Análisis de la sección: factor de esbeltez y factor de transparencia.	247
6.2.4 Santa María del mar. Obtención de datos lumínicos.	250
6.2.5 Santa María del mar. Traslación de datos a gráficas lumínicas. Iluminación indirecta.	253
6.2.6 Santa María del mar. Análisis de la iluminación general de la catedral. Iluminación indirecta.	262
6.2.6.1 Nave central.	262
6.2.6.2 Resto de naves longitudinales.	266
6.2.6.3. Iluminación total por zonas.	270
6.2.7 Santa María del mar. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	274
6.2.8 Santa María del mar. Análisis de la iluminación actual.	283
6.2.9 Santa María del mar. Análisis de color.	290
6.3 Catedral de Sevilla.	295
6.3.1 Catedral de Sevilla. Introducción y antecedentes.	296
6.3.2 Catedral de Sevilla. Modelos 2d y 3d.	300
6.3.3 Catedral de Sevilla. Análisis de la sección: factor de esbeltez y actor de transparencia.	308
6.3.4 Catedral de Sevilla. Obtención de datos lumínicos.	311
6.3.5 Catedral de Sevilla. Traslación de datos a gráficas lumínicas: iluminación indirecta.	316
6.3.6 Catedral de Sevilla. Análisis de la iluminación general de la catedral. Iluminación indirecta.	325
6.3.6.1 Nave central.	325
6.3.6.2 Nave transversal.	329
6.3.6.3 Resto de naves longitudinales.	333
6.3.6.4. Iluminación total por zonas.	339
6.3.7 Catedral de Sevilla. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	343
6.3.8 Catedral de Sevilla. Análisis de la iluminación actual.	352
6.3.9 Catedral de Sevilla. Análisis de color.	365
6.4 Catedral de Toledo.	370
6.4.1 Catedral de Toledo. Introducción y antecedentes.	371
6.4.2 Catedral de Toledo. Modelos 2d y 3d.	375
6.4.3 Catedral de Toledo. Análisis de la sección. Factor de esbeltez y factor de transparencia.	381
6.4.4 Catedral de Toledo. Obtención de datos lumínicos.	384
6.4.5 Catedral de Toledo. Traslación de datos a gráficas lumínicas. iluminación indirecta.	389

6.4.6 Catedral de Toledo. Análisis de la iluminación general de la catedral. Iluminación indirecta.	398
6.4.6.1 Nave central.	398
6.4.6.2 Nave transversal.	402
6.4.6.3 Resto de naves longitudinales.	406
6.4.6.4. Iluminación total por zonas.	412
6.4.7 Catedral de Toledo. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	416
6.4.8 Catedral de Toledo. Análisis de la iluminación actual.	425
6.4.9 Catedral de Toledo. Análisis de color.	440
6.5 Catedral de León.	447
6.5.1 Catedral de León. Introducción y antecedentes.	448
6.5.2 Catedral de León. Modelos 2d y 3d.	454
6.5.3 Catedral de León. Análisis de la sección. Factor de esbeltez y factor de transparencia.	461
6.5.4 Catedral de León. Obtención de datos lumínicos.	465
6.5.5 Catedral de León. Traslación de datos a gráficas lumínicas. iluminación indirecta.	470
6.5.6 Catedral de León. Análisis de la iluminación general de la catedral.	479
6.5.6.1 Nave central.	479
6.5.6.2 Nave transversal.	483
6.5.6.3 Resto de naves longitudinales.	487
6.5.6.4. Iluminación total por zonas.	493
6.5.7 Catedral de León. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	497
6.5.8 Catedral de León. Análisis de la iluminación actual.	506
6.5.9 Catedral de León. Análisis de color.	520
6.6 Sainte Chapelle de París.	529
6.6.1 Sainte Chapelle de París. Introducción y antecedentes.	530
6.6.2 Sainte Chapelle de París. Modelos 2d y 3d.	533
6.6.3 Sainte Chapelle de París. Análisis de la sección: factor de esbeltez y factor de transparencia.	539
6.6.4 Sainte Chapelle de París. Obtención de datos lumínicos.	542
6.6.5 Sainte Chapelle de París. Traslación de datos a gráficas lumínicas iluminación indirecta.	544
6.6.6 Sainte Chapelle de París. Análisis de la iluminación general de la catedral. Iluminación indirecta.	553
6.6.6.1 Nave central.	553
6.6.6.2. Iluminación total por zonas.	558
6.6.7 Sainte Chapelle de París. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.	562
6.6.8 Sainte Chapelle de París. Análisis de la iluminación actual.	571
6.6.9 Sainte Chapelle de París. Análisis de color.	579

7. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS DISTINTAS MUESTRAS. 585

7.1. Comparativa de secciones. factores de forma y transparencia.	585
7.2. Comparativa de iluminación entre muestras.	592
7.2.1. Comparativa de iluminación indirecta de la nave central.	593
7.2.2. Comparativa de iluminación indirecta de los puntos singulares de las catedrales.	599
7.2.3. Comparativa de iluminación total.	601
7.2.4. Comparativa de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras	605
7.2.5. Comparativa de iluminación actual. Factor de distorsión	614
7.3. Comparativa de color.	623

8. DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE ILUMINACIÓN GÓTICA. FACTORES Y CUALIDADES 629

8.1 Definición de las cualidades.	629
8.1.1. Expresividad.	631
8.1.2. Intensidad.	636

8.1.3. Recorrido.	641
8.1.4. Distorsión.	642
8.1.5. Color.	643
8.2 Clasificación.	644
8.2.1. Clasificación según la Expresividad. Catedrales expresivas y mudas	644
8.2.2. Clasificación según la Intensidad. Catedrales luminosas y oscuras.	647
8.2.3. Clasificación según el Recorrido lumínico de su nave central. Catedrales crecientes y decrecientes.	651
8.2.4. Clasificación según su Distorsión. Catedrales distorsionadas y no distorsionadas.	652
8.2.5. Clasificación según el Color de las catedrales. Color gótico y color no gótico.	654
8.3 Resumen de la clasificación.	656
8.4 Acercamiento a la iluminación de catedrales. Procedimiento abreviado aproximado.	657
9. CONCLUSIONES.	662
9.1 Conclusión 1.	662
9.2 Conclusión 2.	663
9.3 Conclusión 3.	665
9.4 Conclusión 4.	668
10. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	669
11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	670
12. BIBLIOGRAFÍA DESTACADA.	671
12.1 Bibliografía sobre arquitectura gótica. Introducción, estado del arte y conclusiones.	671
12.2 Bibliografía sobre indicadores y selección de muestras.	682
12.3 Bibliografía sobre el estudio de las muestras. Catedrales.	688

1. INTRODUCCIÓN. MARCO Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las catedrales góticas y su luz son un lugar de encuentro. Su mágica combinación ha creado algunos de los hitos arquitectónicos más importantes de la historia. Este es el marco de nuestra investigación y el inicio argumental de la presente tesis doctoral.

1.1 LA ARQUITECTURA GÓTICA. "LA BÚSQUEDA DE LA LUZ"

La historia de la construcción de las catedrales góticas es la historia de la búsqueda de la luz.

Esta afirmación casi metafísica, engloba una teoría asumida por todos los historiadores tanto de la arquitectura antigua como del resto de las artes. El paso del Románico al Gótico supuso una ruptura con la pesadez arquitectónica de la piedra maniatada bajo el corsé estructural de las bóvedas de cañón y de los muros estructurales, para dar paso a una arquitectura que, como el propio Violet Le Duc definió, estaba ligada directamente a *"la construcción de sus entrañas, que evolucionan hasta hacer posible la ejecución de verdaderas cajas de vidrio"*, buscando con su naturaleza simbólica el estado de admiración del visitante, en aras de transmitir el mayor de los impactos, tal como expresaría el propio Ortega y Gasset al visitar una catedral gótica; *"Yo soy un hombre español, es realista...La poesía española, la épica castiza, se atiene a la realidad histórica.. español, es realista...La poesía española, la épica castiza, se atiene a la realidad histórica...soy un hombre que quiere ante todo ver y tocar las cosas y que no se place imaginándolas: soy un hombre sin imaginación. Y lo peor es que el otro día entré en una Catedral Gótica...Yo no sabía que dentro de una Catedral Gótica habita siempre un torbellino; ello es que apenas puse el pie en el interior fui arrebatado de mi propia pesantez sobre la tierra...Y todo esto vino sobre mí rapidísimamente. Puedo dar un detalle más común a aquella algarabía, a aquel pandemónium movilizado, a aquella realidad semoviente y agresiva..."*y ya fuera de la catedral, se sentó a contemplarla a ya recordar lo que había vivido dentro de ella, *"... había mirado hacia arriba, allá, a lo altísimo, curioso de conocer el acontecimiento supremo que me era anunciado, y había visto los nervios de los pilares lanzarse hacia lo sublime con una decisión de suicidas, y en el camino trabarse con otros, atravesarlos, enlazarlos y continuar más allá sin reposo, sin miramiento, arriba, arriba, sin acabar nunca de concretarse; arriba, arriba, hasta perderse en una confusión*

última que se parecería a una nada donde se hallara fermentando todo. A esto atribuyo haber perdido la serenidad.”¹.

Efectivamente, La arquitectura gótica provoca en el visitante, entre otros efectos, una “pérdida de la serenidad” como decía Ortega y Gasset. Pero además confunde e hipnotiza del mismo modo la mirada del visitante ajeno cómo lo hace con el ojo preparado del arquitecto más experto, o del artista avezado. La expresividad de su espacio es, sin lugar a duda, uno de los hitos arquitectónicos de la historia, capaz de capturar la esencia del misterio con el uso de la escenografía perfecta.

Pero ¿por qué el gótico es tan hipnótico?

Los momentos clave de la historia de la arquitectura se conocen bajo parámetros de ruptura referidos a la estructura y a la forma. Igualmente se establecen rupturas de tipo formal y espacial que reaccionan al estilo anterior y que lo superan, elevando el listón de la técnica y la expresividad. Así lo hace el gótico frente al románico. La utilización de nervaduras frente a bóvedas de cañón, altura frente a peso, filamentos frente a muros, todo ello ha definido la transición entre estos dos estilos como, probablemente, el salto más grande de la historia de la arquitectura.

Todos estos factores concurren en la ruptura de estilo del románico al gótico, claro está, pero hay un factor determinante en su realidad arquitectónica, un elemento de diseño que diferencia de manera drástica el cambio de estilo de cualquier otra evolución en la historia de la arquitectura: **la utilización de la luz.**

El gótico utiliza la luz de una manera absolutamente novedosa. Los nuevos alardes estructurales derivados de la concepción “nervada” de la transición de las cargas hacia el terreno, dan lugar a una modelización de los espacios y la composición de su luz realmente inédita; *“la arquitectura gótica se forma como la estructura de un árbol, dejando que la luz filtre entre la hojarasca a través de coloridas vidrieras”²*. Esta composición provocará la original forma de introducción de la luz en el interior de las naves. Esta penetra en los templos generando una escenografía nueva, antes desconocida, que no se basa exclusivamente en la cantidad de luz ni en la direccionalidad de la misma sino en el misticismo que por ella se crea; tal como describe

¹ Ortega y Gasset. J., “*La deshumanización del arte*”, Editorial Castalia, Madrid, 2009, pp. 101 al 103, ISBN 13: 9788497402774.

² ESCRIG PALLARES, Félix. “La estructura gótica. O de cómo las fuerzas encontraron su camino”. Ensayo del libro “La técnica de la arquitectura medieval” de Amparo Graciani, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2000. ISBN: 84-472-0576-8. p. 254

Jantzen: *"Suelen juzgarse las aberturas de las ventanas de iglesias medievales según la cantidad de luz a la que dan paso hacia el interior. Pero lo que con ello se pasa por alto es que, en la iglesia de la Edad Media, no se trata de diferencias en el grado de claridad, sino de la luz que, como potencia de culto, puede provocar un efecto tan arrebatador como las mismas formas arquitectónicas"*³.

Hoy en día, después de haber transcurrido ocho siglos desde los inicios del estilo gótico, éste continua siendo una incógnita para los investigadores en numerosos campos, tanto por los métodos utilizados por los maestros medievales para proyectar el trazado de sus formas arquitectónicas, como en lo referente a composiciones constructivas, creando, desde sus inicios, admiración y respeto y puestos en valor de manera constante desde el punto de vista de su concepción estructural.

Como veremos más adelante, la estructura gótica rompe con los conocimientos de traslado de fuerzas desarrollados hasta la fecha para experimentar un salto cualitativo hacia la direccionalidad nervada de las cargas. Sin embargo, no podemos valorar estos edificios tan sólo por su concepción estructural y la falta de medios de cálculo complejo. Este alarde estructural no sería suficiente para sobrecogernos de la manera que lo hacemos ante la visión de sus espacios si no hubiera "algo más". La fuerza que desprende este estilo, radica de manera singular, en el tratamiento que de la luz hacen los vitrales distribuidos en los muros de las catedrales. Tal como describe Jantzen, *"esto es lo que comprenderá al momento quien haya visto alguna vez la catedral de Chartres sin sus vitrales de colores durante la guerra, cuando fueron retirados, es decir, bajo luz natural"*⁴. Es la luz coloreada del S. XIII la que consigue, *"como parte integrante de los límites espaciales, completar el hechizo de la arquitectura, con su poder para arrancarnos por completo del mundo cotidiano y para elevarnos muy por encima de él, en medio de las sensaciones provocadas por semejante estructura"*⁵.

La luz gótica es, como veremos más adelante, y tal como aseguraba Jantzen y también Víctor Nieto Alcaide, una luz muy singular, una luz filtrada, coloreada y transfigurada, cargada de misterio y simbolismo. La iluminación gótica, escenográfica y cambiante, contrasta con la lóbreguez del románico, invadido de un sentimiento de piedad, y a su vez se diferencia de los ámbitos de las iglesias renacentistas, llenos de "luz natural".

³ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 76

⁴ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 79

⁵ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 79

La luz no sólo es parte del motor de conversión del modelo arquitectónico sino que definitivamente lo define y acota, dando forma al espacio y maquetándolo de tal modo que, ya para siempre, supera los aspectos de pesadez del Románico ofreciendo una suerte de estructura infinitamente alta para el ojo del observador y un modulado de luz que presta su función para conseguir un efecto de elevación del “espíritu” hacia las alturas.

Es por esto por lo que la **luz gótica** precisa de un estudio mucho más que pormenorizado, no sólo como elemento simbólico, sino también como hecho físico modelador del espacio interior. El propio Jantzen anima a su estudio y clasificación en su libro “La arquitectura gótica”, entendiendo que es necesario, no sólo conocerla, sino clasificarla y dotarla de contenido cualitativo en función de su intensidad y su color: *“Se hace preciso, pues, examinar con mayor detenimiento cuál es la naturaleza de la luz de la catedral gótica. Para ello es necesario distinguir **estilos de luz** así como distinguimos estilos de arquitectura, algo que apenas se ha tomado en cuenta hasta ahora para las iglesias de Occidente⁶”*.

Aún no siendo la luz el único factor definitorio de la concepción del gótico, los otros factores fundamentales como son la disposición de la estructura, las composiciones geométricas generadoras de los espacios o, incluso, la casi irracional búsqueda de la altura máxima de las bóvedas, ya han sido ampliamente estudiadas y teorizadas a lo largo de la reciente historia. Las estructuras se han modelado de manera teórica y hasta empírica, la forma de construir y de proyectar también se ha documentado de manera extensa, los materiales, los medios, e incluso el modelo social gótico son objeto de multitud de tesis y publicaciones especializadas. Pero por el contrario, el estudio de la luz en las catedrales góticas se ha quedado en una mera descripción “filosófica” e incluso “metafísica” en la bibliografía sobre la materia, obviando sus cualidades como fenómeno físico. La escasez de fuentes directas de la época tratada, unida a una interpretación parcial de la luz como mera consecuencia de la disposición estructural de las nuevas catedrales, relega el estudio de la luz hasta apuntes introductorios sin fundamentación física ni teórica.

El “mandato” de Jantzen es el motor fundamental de la presente tesis doctoral que, como se expondrá en los objetivos, tratará de sistematizar el estudio de los “**estilos de luz**”, respondiendo al llamamiento de 1979 de un estudioso del gótico, intentando rellenar,

⁶ JANTZEN, Hans, “*La arquitectura gótica*”, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

aunque sea con una humilde aportación, un vacío del conocimiento dentro del estilo gótico absolutamente imperdonable para el adecuado entendimiento del mismo. **El conocimiento de su luz.**

1.2 EVOLUCIÓN DE LA LUZ, DEL ROMÁNICO AL RENACIMIENTO PASANDO POR EL GÓTICO.

1.2.1 DEL ROMÁNICO AL GÓTICO. ¿REVOLUCIÓN DE LA LUZ O CONTROL SIMBÓLICO?

Tal como describíamos en el capítulo previo, el paso del románico al gótico se puede medir en términos de evolución de la utilización de la luz en el interior de sus espacios. Sin embargo, limitar el alcance del cambio a un sencillo aumento de captación de radiación gracias a la evolución de un sistema estructural sería demasiado miope.

El verdadero cambio y la verdadera evolución no fue, como a veces tiende a imaginarse, cuestión de captación global de iluminación, sino el de lograr la manipulación absoluta de la luz para servir a los fines de la arquitectura y la simbología. Así lo describe Jantzen cuando asevera que *“suele juzgarse las aberturas de las ventanas de las iglesias medievales según la cantidad de luz a la que dan paso hacia el interior. Pero lo que con ello se pasa por alto es que, en la iglesia de la Edad Media, no se trata de diferencias en el grado de claridad, sino de la luz que, como potencia del culto, puede provocar un efecto tan arrebatador como las mismas formas arquitectónicas”*⁷.

La “tecnología” de la vidriera no es patrimonio del gótico, y tal como afirma Kurmann-Schwarz *“la composición monumental de vidrios coloreados no es invención del gótico; las raíces de esta técnica se remontan a la era tardoantigua e incluso a la Antigüedad clásica”*⁸. Esta, tal como se desarrolla técnicamente en los talleres que trabajaron para las catedrales góticas, era una especialidad que tenía resueltos y experimentados los principales problemas técnicos. El monje Teófilo lo prescribe del siguiente modo: *“cuando quieras componer vidrieras primero haz un tablero de madera completamente liso...Si quieres incorporar un borde trázalo tan amplio como te guste y de conformidad con el dibujo que hayas escogido. Hecho esto, dibuja tantas figuras como quieras, primeramente con plomo estaño, luego con el color rojo o negro, trazando cada línea con cuidado...De esta manera pintarás todas las piezas de vidrio con la indumentaria, las manos, pies, borde y cualquier otra cosa que quieras pintar”*⁹. Las obras de este monje medieval se sitúan entre los siglos XI y XII y acreditan un dominio pleno de los procedimientos en el viejo estilo románico, tal como se continuarán aplicando en los siglos sucesivos.

⁷ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 76

⁸ KURMANN-SCHWARZ, Brigitte, *“La vidriera gótica”* en el libro *“El gótico, arquitectura, escultura y pintura”*, Ediciones Tandem Verlag GmbH. París, 2004. ISBN: 978-3-8331-4658-9. P.276

⁹ THEOPHILUS, *“De Diversis artibus. The various Arts”*, ED: C.R. Dodwell, Edimburgo, 1961; *“On Divers Arts. The treatise of Theophilus”*, ED: J.G. Harthorne y C.S. Smith, Chicago, 1963. ISBN: 0-520-03566-6. P. 46-48

Pero, si los maestros románicos ya conocían la técnica de las vidrieras, ¿por qué no las utilizaron de manera sistemática, como hicieron sus sucesores góticos?

La respuesta a esta pregunta la encontramos en la utilización que hacen unos y otros de la luz como elemento modelador del espacio interior. El estilo románico no tiene definida la vidriera como elemento de transformación espacial de la arquitectura sino que atribuye al hueco **la función de iluminar**, exclusivamente. En una iglesia románica, tal como afirma Otto Von Simson *"la luz es algo que se distingue de la sustancia pesada, sombría y tangible de los muros y que contrasta con ella"*.¹⁰

La arquitectura románica, con su sistema constructivo de muros compactos y continuos, era más adecuada para recibir una "ilustración" de pintura mural, que un complejo programa de iluminación espacial. El muro se entiende como superficie compacta y los vanos se abren para cumplir una función objetiva de iluminación. La misión de la luz románica, entendida como medio físico, y tal como explica Nieto Alcaide *"cumplía la función de posibilitar la lectura de los programas iconográficos desarrollados en las pinturas o en la escultura de los capiteles."*¹¹.

Esta utilización conllevaba igualmente supeditar la colocación del programa iconográfico de paredes y capiteles en función del movimiento solar y del protagonismo consecutivo de las naves iluminadas. De ahí que la constante de la iluminación lateral por la derecha haya obligado a los maestros románicos a la colocación de los elementos iconográficos más representativos en estas naves. Existe un recorrido de lectura como posteriormente veremos que también ocurre en el gótico, pero en este caso es más elemental.

Se puede establecer, por tanto, que la iluminación se entiende en este estilo previo, como un recurso natural para obtener resultados efectistas y apropiados para la correcta lectura de programas escultóricos. La decoración, en buena medida, se subordina al sistema de iluminación natural, y a su vez, determinado por la posición de la iglesia románica (orientada al Este). El resto de las dimensiones y proporciones, vanos, restringidos por la concepción estructural de los muros, convierten a la arquitectura románica en una arquitectura "recogida y compacta".

¹⁰ SIMSON, Otto Von, *"La catedral gótica"*. 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.25

¹¹ NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 18.

La vidriera, a su vez, queda también subordinada a este fin último de iluminación, por lo que sólo se da de manera ocasional. Si se hubiera sistematizado su utilización, cuestión que ya hemos determinado que era posible por el nivel de conocimiento tecnológico de la época, los niveles de iluminación en el interior del templo habrían disminuido drásticamente. Los reducidos huecos románicos, derivados de la falta de habilidad estructural para liberar espacio en los muros que permitieran su implantación, y determinados por el sistema arquitectónico, cumplen, exclusivamente, funciones de vano abierto al exterior; de foco de luz en sentido estricto.

Por tanto, y como describe Nieto *"Las diferencias que existen entre el ventanal de la iglesia románica y el de la iglesia gótica no radican exclusivamente en un problema de dimensión, sino que residen en una diferencia de funciones."*¹²

En el edificio gótico, no se produce solamente una diferencia de aumento de tamaño de vano, sino que los imperativos funcionales nuevos exigen un aumento del tamaño de los vidrios para ser ilustrados¹³. Al mejorar la distribución de cargas y permitir la traslación lineal de las mismas, se abren nuevas posibilidades de programa en los huecos. Esto se une a un cambio de modelo iconográfico que, como aventuraba Suger, tiende a la representación en la propia vidriera, no tanto en el programa escultórico.

Es posible establecer, por tanto, que la evolución no radica sólo en el tamaño del hueco sino en conceptos algo más elaborados. De ese modo y tal como describe Nieto *"Si entendiéramos las diferencias entre estos dos tipos de ventanales como un problema puro de dimensión, los efectos que se derivarían en la arquitectura gótica serían los de un simple aumento de la luminosidad del interior de la iglesia cuando el resultado que se buscaba era todo lo contrario."*¹⁴

Este análisis certero de Nieto se contradice con algunos aspectos de las teorías de Jantzen. Este último asegura que *"En las oscuras iglesias de bóveda de cañón del siglo XII, que en muchos casos sólo podían recibir a los fieles a la luz de las velas, reina otro sentimiento de*

¹² NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Catedral (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 21-22

¹³ GRODEKI, L., *"Le Vitrail et l'architecture au XII et XIII siècle "*, Gazette des Beaux Arts, Paris, 1949, p. 2-24

¹⁴ NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Catedral (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 22.

*piedad que en las iglesias del siglo XIII, colmadas de luz coloreada*¹⁵. Si bien ambos autores están de acuerdo en lo sustancial del cambio, la manipulación de color de la iluminación gótica, parece que Jantzen se decanta por unas iglesias góticas con mayor cantidad de luz cuantitativamente hablando, mientras que Nieto dice que la intención de la iglesia gótica “*era todo lo contrario*”.

Para desentrañar las diferencias entre ambos autores y llegar a evaluar en cual de los dos estilos la cantidad de iluminación es mayor, se realizó una medición sobre las condiciones de iluminación de un edificio románico de la geografía española comparado con un edificio gótico situado a escasos cien metros de distancia.

El edificio románico estudiado fue **Sant Pere de Galligants**, cuyo inicio de construcción data del año 1.130 en Gerona (Fig. 1.1 y Fig. 1.2), y el edificio gótico estudiado fue la propia **catedral de Gerona** (Fig. 1.3), iniciada casi 200 años más tarde, en el año 1.312.

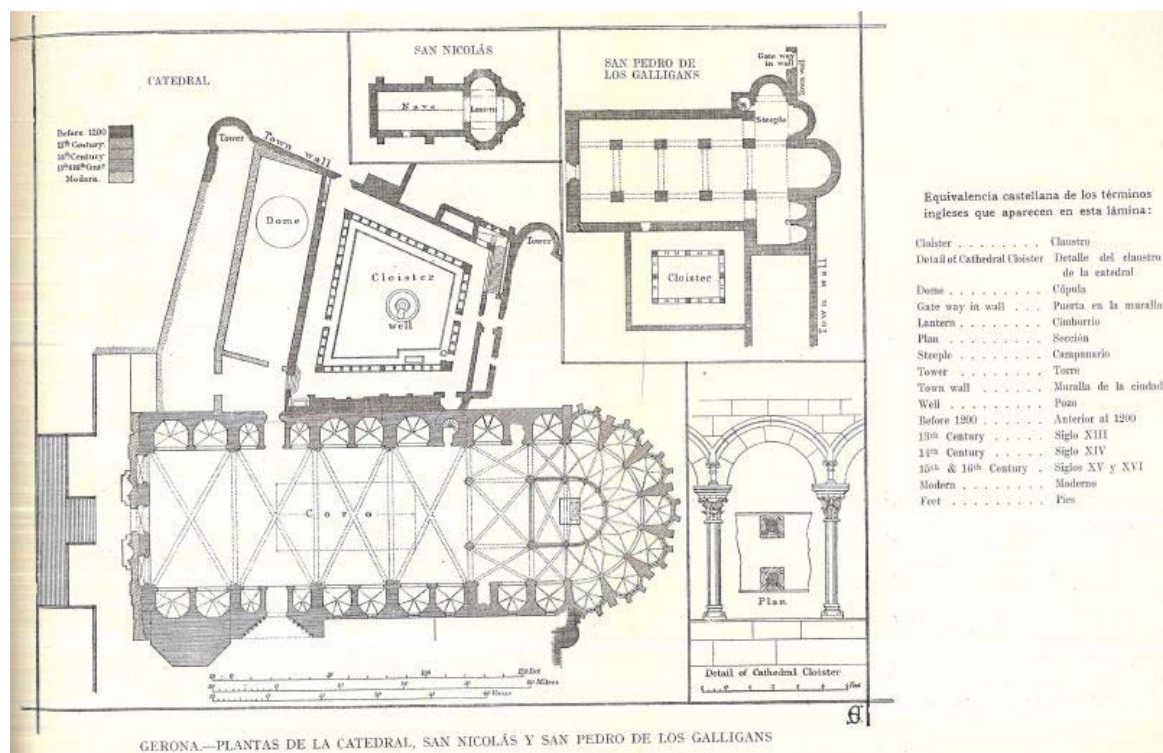


Fig. 1.1 Comparativa de la catedral de Gerona y la iglesia de Sant Pere de Galligants. Autor desconocido.

¹⁵ JANTZEN, Hans, “*La arquitectura gótica*”, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 76

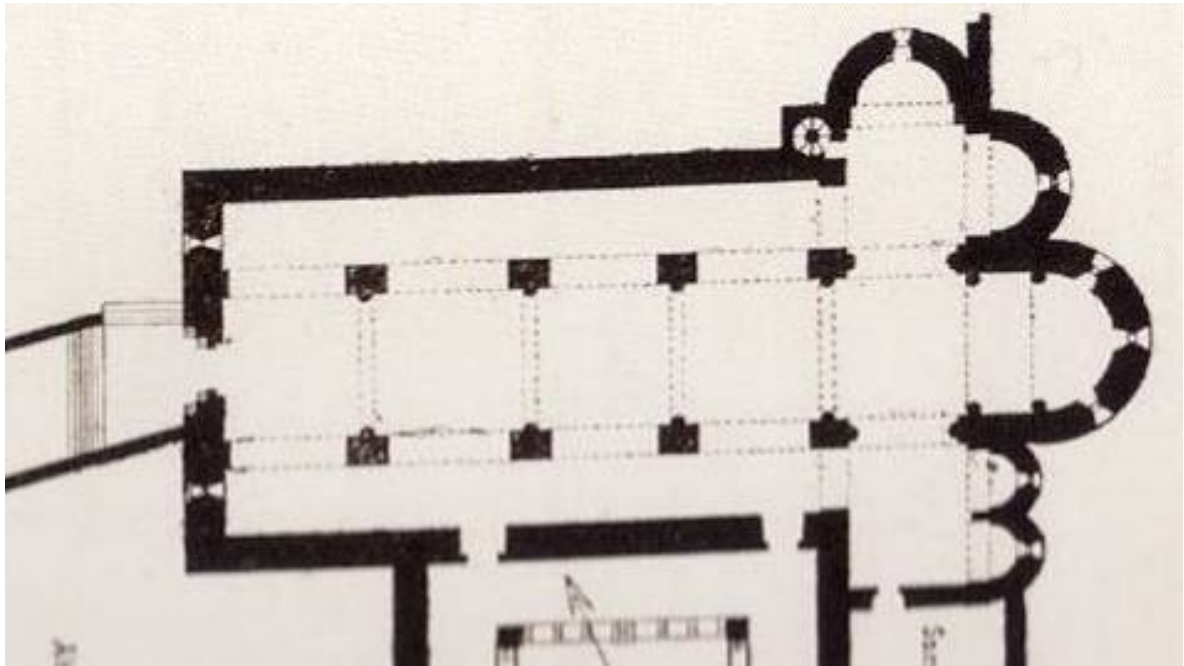


Fig. 1.2 Planta de la Iglesia de Sant Pere de Galligants. Plano del monasterio en 1906, según Gaietà Barraquer¹⁶

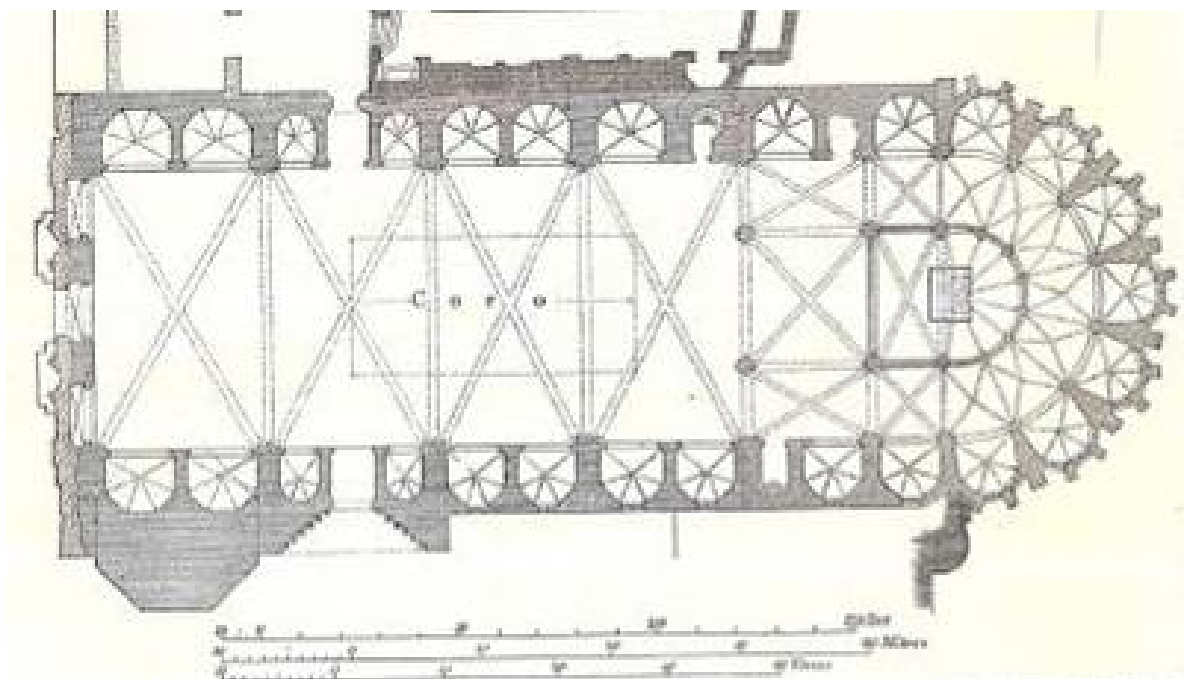


Fig. 1.3 Planta de la catedral de Gerona. Autor desconocido

Este ejercicio práctico que mide las diferencias cuantitativas de radiación solar en el interior de los templos fue llevada a cabo el 21 de marzo de 2012, equinoccio de primavera, en un mismo día y condiciones de iluminación equivalentes para ambos espacios.

¹⁶ Barraquer, C. "Las casas de religiosos en Cataluña durante el primer tercio de siglo XIX". Vol. I, Edición: F.J. Altés y Alabart, Barcelona, 1906. P. 68

Se utilizó un luxómetro manual y, aprovechando las buenas condiciones de iluminación con luz difusa exterior en día nublado, se midió en cuatro momentos distintos del día la iluminación real existente, censando los luxes absolutos debajo de cada bóveda.

La medición realizada en el templo de la catedral de Gerona quedará convenientemente desarrollada en el capítulo dedicado al efecto puesto que es una de las muestras estudiadas en detalle en la presente tesis; pero, para comparar los resultados con los de la Iglesia de Sant Pere basta con reflejar que, en la nave central de ambas, a la misma hora y en ausencia de iluminación artificial, San Pere posee más de 6 veces la iluminación absoluta de la catedral de Gerona.

Así en los puntos referentes a la nave principal, medidos desde los pies de cada templo (punto número 1) hasta el ábside, en el caso de Sant Pere (Fig. 1.5), y hasta el altar (final de la nave principal) en el caso de la catedral (Fig. xxx), a las 12.00 del mediodía, el día 21 de marzo de 2012 (equinoccio de primavera), se obtenían los siguientes resultados:

Catedral De Gerona	Luxes	Sant Pere de Galligants	Luxes
1 (Pie de la catedral)	14,70	1 (Pie de la catedral)	38,00
2	9,30	2	51,90
3	11,90	3	58,50
4	6,70	4	66,00
5	5,00	5	668,00
6 (Altar)	6,50	6 (Ábside)	85,00
Total luxes por puntos	54,10		967,40
Total media de luxes por punto (descartando el punto 5 por su exagerada dispersión)	9,82		59,88

Fig. 1.6 Cuadro de datos de iluminación de Sant Pere de Galligants y de la catedral de Gerona el 21 de marzo de 2012 (equinoccio de primavera). Juan M. Medina.

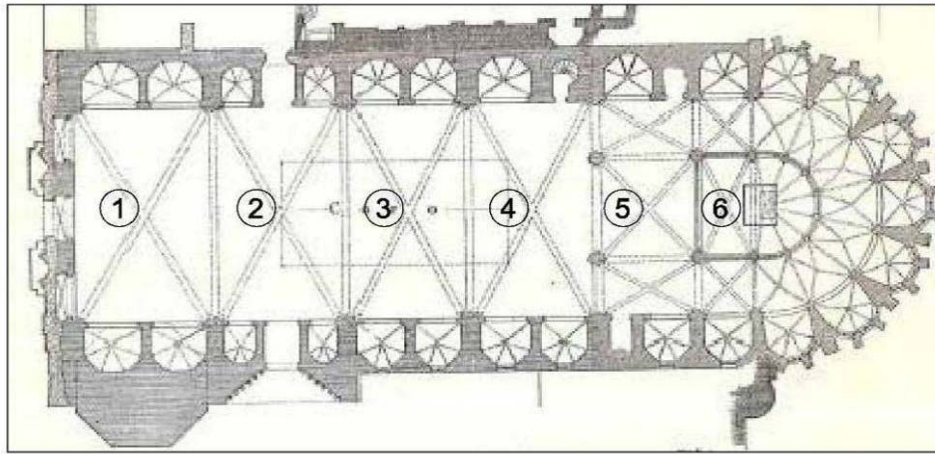
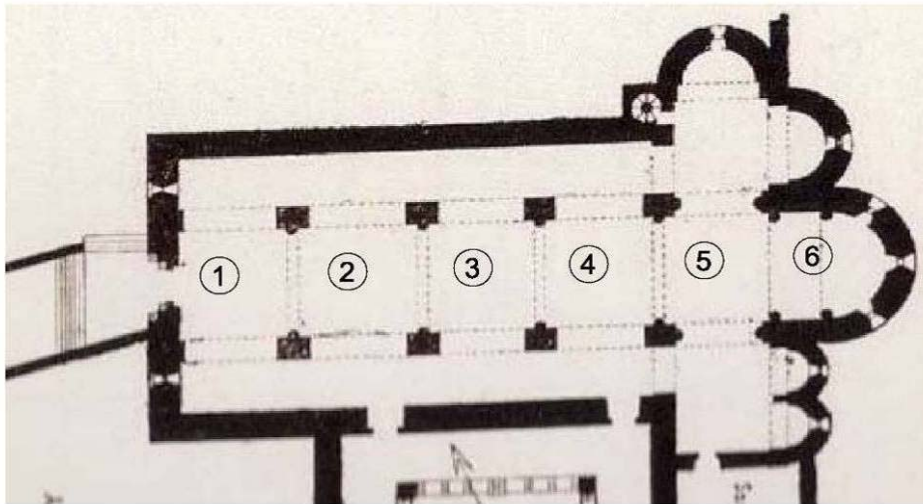


Fig. 1.5 y 1.6. Plantas de Sant Pere de Galligants y de la catedral de Gerona con el replanteo de puntos para la toma de datos el 21 de marzo de 2012 (equinoccio de primavera). Juan M. Medina.

Como podemos observar, en la catedral se obtienen valores prácticamente constantes y muy bajos (de 5 a 14,70 luxes), con la particularidad de que a los pies se encuentran valores superiores a los que tenemos en el altar, donde finaliza la nave principal.

En la iglesia de Sant Pere, sin embargo, los valores son muy superiores (de 38 a 85 luxes), con un aumento de la iluminación inversa, ganando en importancia según se avanza hacia el ábside (Fig. 1.7, Fig. 1.8, Fig. 1.9 y Fig. 1.10), y con un punto excepcionalmente singular, el que recibe 668 luxes, debido a la entrada directa de luz solar por un vano del ábside.



Fig. 1.7 Interior de la iglesia de Sant Pere de Galligants antes de 1936. Foto de Valentí Fargnoli, archivo MAC-Girona.

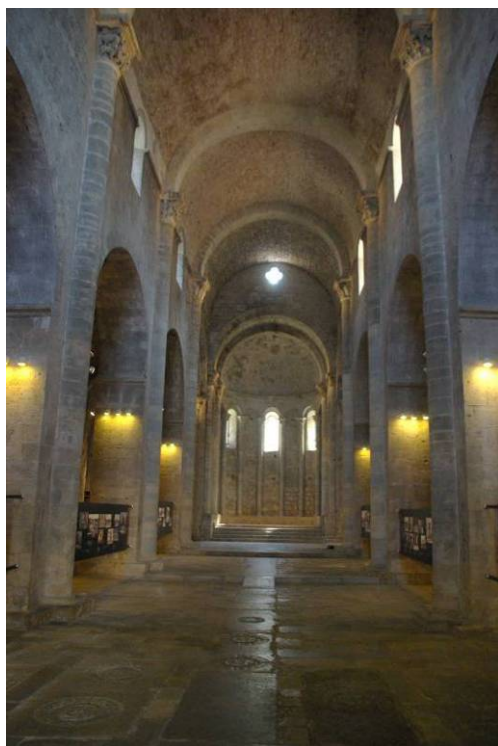


Fig. 1.8. Interior de la iglesia de Sant Pere de Galligants en la actualidad. Nave principal hacia el ábside. 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas. Fotografía de Juan M. Medina

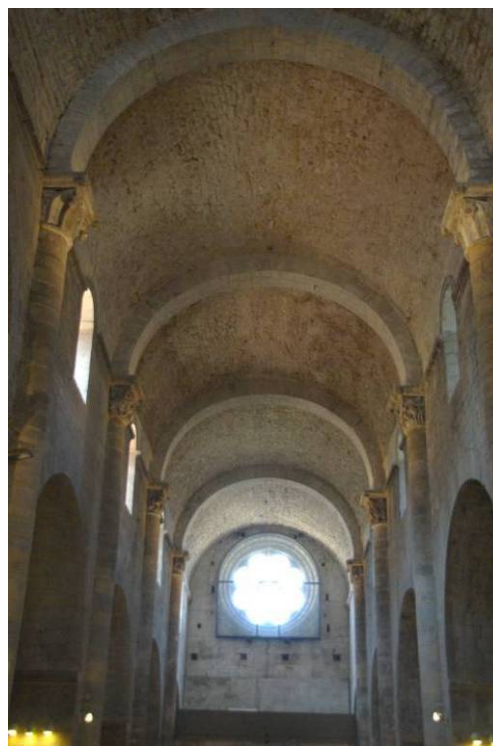


Fig. 1.9. Interior de la iglesia de Sant Pere de Galligants en la actualidad Nave principal hacia los pies de la Iglesia. 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas. Fotografía de Juan M. Medina



Fig. 1.10. Interior de la iglesia de Sant Pere de Galligants en la actualidad Nave principal hacia los pies de la Iglesia. 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas. Fotografía de Juan M. Medina.

Estos datos comparativos tan dispares quedan perfectamente retratados cuando obtenemos la media de iluminación por punto, una vez discriminado el valor desequilibrante de 668 luxes debido a la incidencia solar directa (Fig. 1.11). En este caso se observa que la iluminación pasa de 9,82 a 59,88 luxes de media en la nave principal de ambos templos.



Fig. 1.11. Incidencia de la luz natural directa sobre el ábside (orientado al sureste) de la Iglesia de San Pere de Galligants. Fotografía de Juan M. Medina. 21 de marzo de 2012 (12.00 horas).

El por qué de esta diferencia cuantitativa de iluminación en valores absolutos contrastados se debe, como es obvio, a que en la iglesia románica no existen vidrieras coloreadas. Esto, unido a las reducidas dimensiones de la misma (17,15 metros de ancho por 15,45 de alto) (Fig. xxx), provoca entradas de iluminación directa puntuales de gran intensidad que, gracias a la reflexión sobre los elementos de sólidos, desarrolla una iluminación constante a lo largo de la nave.

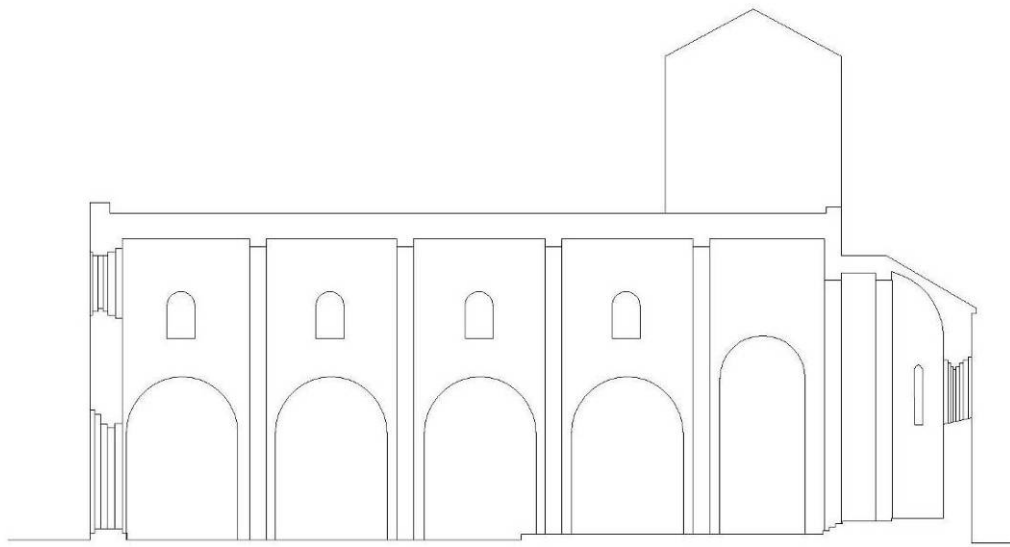


Fig. 1.12. Sección de la iglesia de Sant Pere de Galligants. Autor: Juan M. Medina.

Esta iluminación es muy superior a la que obtenemos en la catedral gótica cuyos huecos cerrados con vidrio coloreado con azules y rojos intensos, filtran la intensidad lumínica hasta atenuarla a valores mínimos, tal y como demostraremos más adelante. Adicionalmente, la generosa volumetría interior de la catedral (23 metros de ancho por 34 de altura) (Fig. xxx) hace que la cantidad de luz que penetra por los vanos se difumine en el gran espacio único de la nave central de la catedral (Fig. xxx y Fig. xxx)



Fig. 1.13 Nave central de la Catedral de Gerona desde los pies hacia el ábside. Fotografía de Juan M. Medina tomada desde nivel de triforio, 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas.



Fig. 1.14.. Nave central de la Catedral de Gerona desde el ábside hacia los pies. Fotografía de Juan M. Medina tomada desde nivel de triforio, 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas.

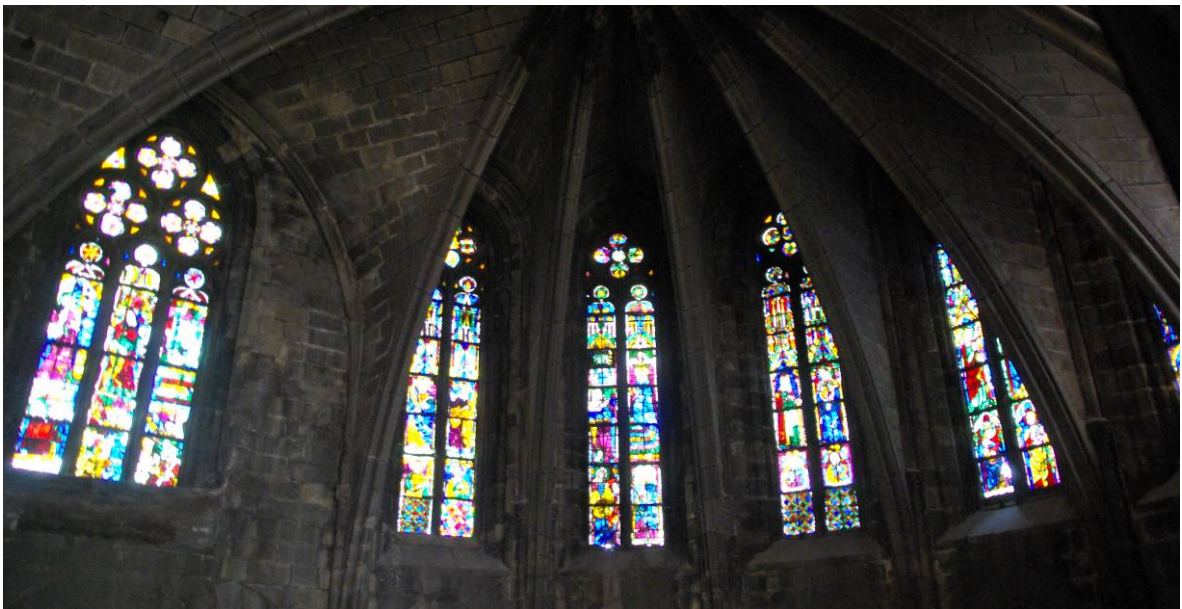


Fig. 1.15.. Detalle de la iluminación del ábside. Fotografía de Juan M. Medina tomada desde nivel de triforio, 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas.

A la vista de estos resultados quedaría demostrado, al menos en este ejercicio de comparación lumínica entre ambos estilos, que Nieto estaba más en lo cierto que Jantzen,

quien en otro pasaje de su análisis de la luz como poder de culto, aseguraba que "el *ámbito luminoso del gótico está en franca oposición con la lobreguez de cripta del estilo románico*"¹⁷.

La realidad del estilo gótico en cuanto a la "**cantidad de luz**" es que nos encontramos ante espacios más oscuros, manipulados por iluminación coloreada y filtrada y cargados de **simbolismo** latente.

¹⁷ JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

1.2.2 DEL GÓTICO AL RENACIMIENTO. HACIA LA LUZ NATURAL

Otro cambio interesante para ser analizado en lo que se refiere a la manipulación de la luz natural y para entender y dar valor a la singularidad del uso de la misma por los maestros góticos es el que se produce en el tránsito del estilo gótico al renacentista.

Los nuevos sistemas figurativos del espacio humanista del renacimiento que se desarrollan en Italia fundamentalmente y también en los Países Bajos a lo largo de los siglos consecutivos al gótico (S. XV en adelante), muestran un escenario arquitectónico elaborado a través de la implantación de la perspectiva como argumento compositivo.

De ese modo, tanto la arquitectura como la pintura, desplazan los elementos de carácter "simbólico" del gótico hacia una realidad más empírica y realista. La representación busca un componente de realidad, de acuerdo a una perspectiva y un sistema nominativo y regular, organizando la composición a través de la utilización de la *luz natural* como medio para articular una idea del espacio, el volumen y la "corporeidad" de los objetos. No se busca más el simbolismo de los mismos, sino que se buscan "paisajes" arquitectónicos nuevos bajo una métrica de iluminación natural "no transfigurada". Por esta razón, en contraposición con el gótico y tal como describe Simson *"las vidrieras eran tan poco adecuadas como fuente de luz que en una época posterior, muchas de ellas se vieron reemplazadas por "grisalla" o por ventanas blancas, de las que se obtiene hoy una impresión muy engañosa"*¹⁸.

Para entender esta evolución, hay que acercarse también a los cambios sociales que trajo la época posterior al gótico, donde los el mecenazgo del arte nuevo pasaran a ejercerlo la nobleza y la burguesía mercantil - en lugar de la Iglesia. Sin abandonar del todo el pensamiento cristiano y la forma de actuar de fondo, este nuevo mecenazgo laico, trajo consigo un nuevo modo de entender el "simbolismo" gótico de carácter sagrado. Ya no era necesario mistificar los espacios sino que había que dotarlos de una articulación en perspectiva que permitiera su entendimiento. Tal como describe Nieto *"El nuevo sistema de perspectiva se presenta como una forma plástica de dominio de la realidad, realidad a la que somete a una normativa que la idealiza y desvincula de las connotaciones simbólicas de carácter sagrado. Por este sistema de representación se remite a una*

¹⁸ SIMSON, Otto Von, *"La catedral gótica"*. 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.25

visualización referida al lugar desde la que se estructura, a un punto fuera de la composición situado en el espacio en que nos encontramos.”¹⁹.

En este sistema de proporciones del que habla Nieto, la valoración corpórea de los objetos y las figuras desde su lado “natural”, quedan subrayados por una idealización de la luz natural desentendida de los valores metafóricos a que se referían las teorías del Abad Suger que posteriormente analizaremos.

La luz en el Renacimiento ordena, mide los objetos y los sitúa dentro de la realidad mediante la creación de un espacio plástico: la pintura, que en muchos casos supera la misma realidad. Realza al individuo como agente organizador del espacio, alejando la idea de organización del espacio a través del orden de lo sagrado y luminoso del gótico. En el paisaje arquitectónico renacentista, la luz no aparece desvinculada de su carácter físico, no se “transfigura” sino que se emplea tal cual es para realzar mejor la jerarquía de los objetos representados en su interior.

La utilización que hace el pintor renacentista, en esta línea de organización de los espacios, no solo utiliza la luz natural sino que, aprovechándose de los claroscuros que esta genera en los espacios arquitectónicos, y a través de la creación de luces y sombras, la perspectiva aumenta.

Así, en numerosas pinturas renacentistas podemos observar como el pintor utiliza la arquitectura gótica como fondo de sus composiciones, pero a su vez la despoja de su mayor valor escenográfico, la modificación de la luz a través de las vidrieras. Sustituye la iluminación gótica por una iluminación natural que permite el juego de claroscuros necesario para la obtención de la ansiada perspectiva (Fig. 1.16 y Fig. 1.17).

¹⁹ NIETO, Víctor, “*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*”, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 87.



Fig. 1.16.. Jan Van Eyck: *La Virgen con el niño en el interior de una iglesia*. Museo de Berlín (hacia 1.425).



Fig. 1.17. Roger Van der Weyden. *Cristo en la cruz en el interior de una iglesia*. Museo Real de Amberes (hacia 1445).

A este respecto, y en relación con la obra de Roger Van der Weyden, Nieto asegura que *“el interior del templo está representado como un objeto entendido en su fría y escueta estructura pétrea. La idea del espacio arquitectónico gótico ha sido omitida al interpretarlo con un sistema que atiende a una plasmación “objetiva” del escenario.”*²⁰

De ese modo, y en ese ánimo renacentista de introducir la luz natural en los espacios, es cuando Andrea Mantegna recibió en 1456 el encargo de realizar el retablo para el altar mayor de San Zenón de Verona y, una vez instalada la obra, mandó abrir una ventana a su derecha para que la iluminación aplicada a la pintura se asemejase con la que el había representado en la pintura. (Fig. 1.18)

²⁰ NIETO, Víctor, *“La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento”*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 93.



Fig. 1.18. Andrea Mantegna: *Retablo de San Zenón. Verona. San Zenón. (1457-59).*

Todos los pensadores de la época atribuyen el mismo valor a la luz natural, desde Alberti en el Libro II de su *tratado de pintura*, hasta el mismo Leonardo, que alude a la luz como un sujeto, un medio de representación y como hecho físico que debe ser utilizado por el pintor y el arquitecto para modificar el espacio; “*Si tú me dices que tan sólo las ciencias de la mente no son mecánicas, te replicaré que la pintura es de la mente, y que así como la geometría y la música consideran las proporciones de las cantidades continuas y la aritmética de las discontinuas, aquella considera todas las cantidades continuas cualidades de las proporciones, las sombras, la luz y las distancias según la perspectiva*”²¹

Para el mismo Leonardo, la luz debe ser un elemento articulador del espacio en perspectiva en la pintura y afecta directamente a la utilización de los colores por lo que se supedita a ellos, eliminando la idea simbólico-religiosa del espacio gótico. Esta luz convierte, gracias a sus luces y sus sombras, y como ya hemos explicado, el espacio arquitectónico del Renacimiento en un auténtico “*espacio figurativo y representativo de un ámbito ideal*”, con un interior de iglesias con una entidad clara y diáfana, “*sin el cromatismo mágico creado por el filtro de las vidrieras*”.²²

²¹ DA VINCI, Leonardo, “*Tratado de pintura*”, edición A. González García, Madrid, 1976, ISBN: 84-276-1311-3. p. 34b, 69.

²² NIETO, Víctor, “*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*”, 1ª edición, ediciones Catedral (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 105

La Iglesia, como el resto de sectores sociales de la nueva época humanista, se adaptó al nuevo estilo modificando sus anteriores motivaciones simbólicas, si bien el proceso no fue tan rápido y surgieron reticencias a la implantación del nuevo estilo, este fue, poco a poco tomando un sitio definitivo en el pensamiento artístico de los mandatarios eclesiales, y por tanto, reflejándose en sus templos.

Es el caso de Julio II, que desde el principio de su mandato, propugnó la implantación del nuevo estilo como símbolo de prestigio del Pontífice y su poder. En este caso se recomponen los pensamientos dogmáticos verificándose una nueva *concordatio* entre los nuevos ideales y el clasicismo religioso de la antigüedad, cuando existía una diferenciación entre lo religioso y lo pagano con una relación de dicotomía asimilable a la que existe entre la luz y la oscuridad. Esta parte del sector eclesial, utilizó el renacimiento como motor de esta diferenciación y, en lo referente a la iluminación, negó la oscuridad del paganismo a través de los espacios claros y diáfanos, conmensurables y sometidos a un coherente sistema de proporción, asumiendo este arte como el arte oficial.

En el caso español, sin embargo, la transición no fue tan clara. Las tendencias religiosas más conservadoras, impedían una transición rápida hacia una nueva concepción de la espiritualidad lejos del simbolismo gótico. Es por esto que las catedrales de Salamanca, Segovia o Astorga se construyen en estilo gótico en pleno S XVI, mientras que Granada se construye con parámetros claramente renacentistas.

Lo singular de la catedral de Granada, y paradigma de la "duda" teórica sobre el cambio de estilo es que, si bien la construcción está fijada con estructura renacentista, el programa iconográfico de las vidrieras y, sobre todo, la utilización de la luz simbólica y filtrada del gótico sigue siendo la utilizada para el templo²³. Se da por tanto una contradicción única entre los dos estilos que genera un "espacio renacentista" con "luz gótica", cuando lo natural habría sido lo contrario: empezar a construir en gótico y, cuando se colocaran las vidrieras, rematar con vidrieras renacentistas por el paso del tiempo y cambio de estilo: "espacio gótico" con "luz renacentista", como es el caso de la iglesia de Sainte Eustache de París que estudiaremos más adelante.

²³ ROSENTHAL, Earl E. "La Catedral de Granada: Un estudio sobre el Renacimiento Español", Editorial: Universidad de Granada, Granada, 1990, ISBN: 9788433811042.

Tal como asegura Nieto, *"En la arquitectura religiosa española la idea tradicional de la iluminación coloreada y simbólica no desaparece hasta los últimos años del siglo XVI"*²⁴, ya que, la nueva tendencia arquitectónica, venía asociada a una crisis ideológica de la Iglesia clásica, basada en el simbolismo religioso y que se quería esconder el mayor tiempo posible.

Así, la catedral de Segovia, y tal como describiría Ponz *"se debía acomodar como otros artífices, a la usanza y gusto de los que mandaban y pagaban"*²⁵. Fue esta directriz o mandato "eclesial" y la posibilidad de acceso a mano de obra con capacidad de seguir construyendo con el estilo anterior lo que facilitó la "extensión" en el tiempo del estilo gótico a través de las catedrales comentadas de Segovia y Salamanca, Decidido de forma "oficial", como denomina Bayón²⁶, y, aunque en estas catedrales el gótico se va librando de parte de los ornamentos, e inclinándose en algunos aspectos hacia un clasicismo formal más propio del Renacimiento, lo cierto es que su iluminación es totalmente simbólica.

Lo más interesante para entender este proceso es, como hace Nieto, comparar la construcción de los dos templos y sus "camino" arquitectónicos divergentes: *"A mediados del siglo XVI las catedrales de Segovia y Granada se hallaban a medio construir. En la de Segovia se habían levantado las naves hasta el crucero y en la de Granada la cabecera. En ambos edificios se decide cerrar lo construido con un muro y habilitarlo para el culto. Las naves de la catedral castellana y la cabecera de la andaluza fueron dotadas con sus respectivos programas iconográficos de temática similar y con lo que se consigue un sistema de iluminación análogo. En ambos casos, la idea espacial coincide: una reducción de la iluminación a los límites exigibles para desarrollar la idea de un interior como valor simbólico."*²⁷ Sin embargo, en la catedral de Granada, este aspecto sólo se observa en la cabecera, contrastando con el espacio e iluminación renacentistas de las naves, con lo que se diferencian ambos ambientes, tal como describe a su vez Chueca *"...una composición arquitectónica completa y cerrada en sí misma, que podría vivir sin el cuerpo de la iglesia, y que aún más se hallaba en pugna, por su forma radical, con el resto*

²⁴ NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 131

²⁵ PONZ, Antonio, *"Viaje fuera de España"*, Edición en la imprenta de la viuda de Ibarra. Segunda edición, Madrid, 1785. t. X, carta 8ª, p.8

²⁶ BAYON, Damien, *"L'architecture en Castille au XVI siècle. Commande et réalisations"* París, 1967, ISBN 13: 9782252009192. p. 170-172

²⁷ NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 138

*cuadriculado de las naves*²⁸. En efecto, el simbolismo de la cabecera es casi más pronunciado que sus coetáneas de Salamanca y Segovia, mientras que sus naves son diáfanas y de luz clara.

En todo caso, y con la salvedad descrita, también en España y una vez salvado el periodo de transición que hemos descrito de Segovia y Granada, se retomará el muro renacentista como en la arquitectura clásica, como elemento cerrado con inclusión de vanos con el fin de generar una iluminación general, como focos de luz aislados, huyendo de la diáfaneidad del muro acristalado gótico, eliminando los triforios y haciendo desaparecer el efecto de la arquitectura traslúcida.. (Fig. 1.19 y Fig. 1.20)



Fig. 1.19. Iluminación gótica, proyectada sobre una columna con "lux vera". Catedral de León. Fotografía de Juan M. Medina



Fig. 1.20. Iluminación renacentista-barroca, proyectada sobre una columna con "luz natural" en el deambulatorio de la Catedral de Toledo a través del "Transparente". Fotografías: Alberto Rodrigo Matute y Miguel Ángel Valdivielso²⁹

²⁸ CHUECA, Fernando, *"Invariantes castizos de la arquitectura española"*, Editorial Dossat, Madrid, 1947, ISBN: 84-23704-59-9. p. 56

²⁹ RODRIGO, Alberto y VALDIVIESO, Miguel Ángel, en el libro de GONZÁLEZ, Ramón, *"La Catedral Primada de Toledo. Dieciocho siglos de historia"*, Ed: Promecal publicaciones, Toledo, 2010. ISBN: 978-84-614-0155-0. p. 273.

En aras de comprobar el efecto de la iluminación renacentista y para poder cuantificar en qué consiste el verdadero cambio de iluminación con respecto al estilo gótico, se realizó una medición de iluminación en dos templos de la ciudad de París el mismo día y a la misma hora. Los templos elegidos fueron la catedral gótica de Notre Dame de París, cuyo inicio de construcción data de 1.163, y la iglesia de Saint Eustache de París, cuyo comienzo se remonta a 1.532, de estructura gótica tardía y de terminación de vidrieras plenamente renacentistas. El día elegido para la toma de datos fue el 21 de marzo, equinoccio de primavera bajo unas condiciones de iluminación adecuadas con cielo nublado.

La razón por la que se eligen estas dos muestras para realizar la toma de datos comparativos es porque Notre Dame responde al tipo de catedral gótica identificable con las españolas de corte "francés" y sus valores de iluminación se asemejan a las muestras utilizadas en la presente tesis (Fig. 1.21 y Fig. 1.22), mientras que la iglesia de Saint Eustache mantiene una estructura absolutamente gótica y tan sólo el sistema de iluminación es renacentista. Fue terminada en 1.637 y su distribución y volumetría se asemejan a las catedrales del estilo gótico, mientras que el sistema de vidrieras, ya renacentistas, se componen de vidrios tipo "grisalla" de color blanco o casi blanco, con un factor de transparencia elevado, tal como muestran las figuras de los grabados de principios del S. XIX (Fig. 1.23 y Fig. 1.24) y las fotografías de la actualidad (Fig. 1.25 y Fig. 1.26)



Fig. 1.21. Nave principal de Notre Dame iluminada a las 14.00 horas del 21 de marzo con la iluminación de las vidrieras de la fachada sur bañando el triforio de la nave principal en su pared norte. Fotografía de Juan M. Medina. París, 21 de marzo 2012, 12.00 horas.



Fig. 1.22. Efecto luminoso, retratado a las 14:00 horas del 21 de marzo, del rosetón de la fachada sur sobre el crucero de la catedral de Notre Dame. Fotografía de Juan M. Medina. París, 21 de marzo 2012, 12.00 horas.



Fig. 1.23. Nave principal de Saint Eustache. A. Plugin, "Paris and its Environs", Londres, 1831.



Fig. 1.24. Nave principal de Saint Eustache. "Les Églises de Paris", Paris, 1843.

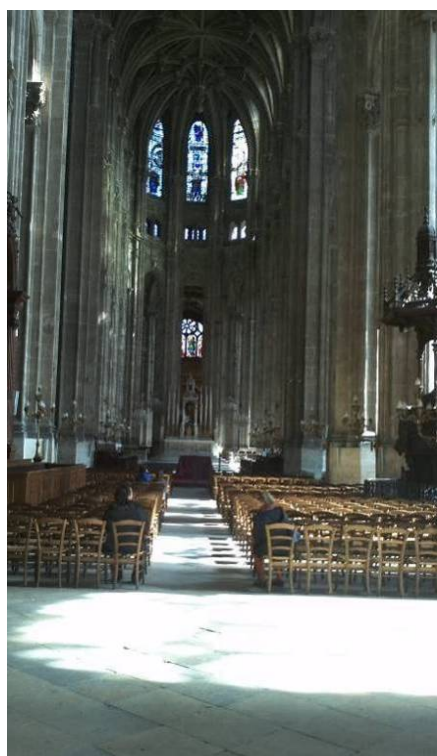


Fig. 1.25. Nave principal de Saint Eustache en la actualidad. Fotografía de Juan M. Medina. Paris, marzo 2012.

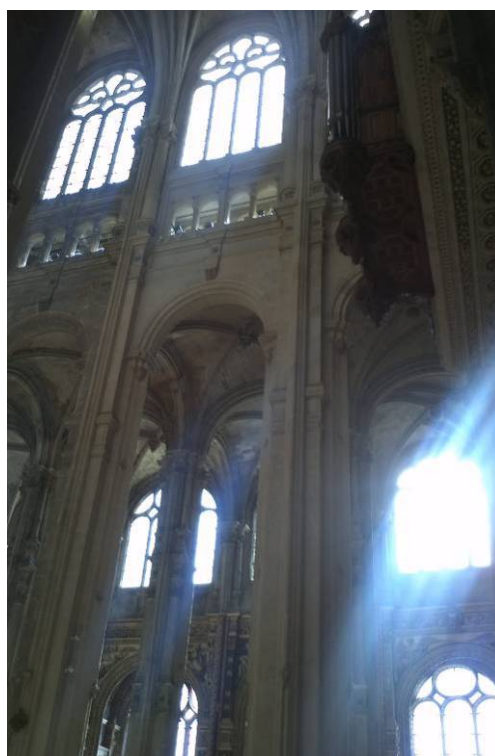


Fig. 1.26. Iluminación natural de la iglesia de Saint Eustache en la actualidad. Fotografía de Juan M. Medina. Paris, marzo 2012.

La comparación de la iluminación en ambas catedrales, tomadas con las mismas condiciones luminosas exteriores (el mismo día y a la misma hora), arrojan unos valores cuantitativos en luxes significativos. Mientras que en la catedral de Notre Dame de París, las condiciones de iluminación responden plenamente al simbolismo gótico; homogéneas, transfiguradas y con valores de iluminación reducidos, las de Saint Eustache son completamente diferentes, de fuerte componente dirigida, de gran impacto luminoso y de magnificación del espacio arquitectónico.

Así se tomaron datos a las 14.00 horas en los pies de cada iglesia, en la nave transversal y bajo el crucero, obteniendo los siguientes resultados:

Catedral De Notre Dame de Paris	Luxes	Saint Eustache de París	Luxes
1 (pie de la catedral)	9,30	1 (pie de la catedral)	1.200,00
2 (nave transversal, bajo el rosetón norte)	40,50	2 (nave transversal, bajo el rosetón norte)	190,00
3 (crucero)	50,20	3 (crucero)	220,00
4 (nave transversal, bajo el rosetón sur)	26,00	4 (nave transversal, bajo el rosetón sur)	1.800,00
Total luxes por punto	126,00		3.410,00
Total media de luxes por punto	31,50		852,50

Fig. 1.27. Cuadro de iluminaciones de la Catedral de Notre Dame y Saint Eustache de París el 21 de marzo de 2012 a las 14:00 horas. Autor: Juan M. Medina.

Como podemos observar, en la catedral gótica se obtienen valores prácticamente constantes y muy bajos (de 9,30 a 50,20 luxes), en el momento de máximo esplendor luminoso del día, incluyendo la distorsión provocada por la incidencia puntual del rosetón sobre el crucero de la catedral que aumenta la iluminación particular de ese espacio (de ahí el valor de 50,20 luxes), tal como mostraba la Fig. 1.27.

En la iglesia de Saint Eustache, sin embargo, los valores son extraordinariamente superiores (de 190,00 a 1.800 luxes), con una distribución diferente a Notre Dame, donde los puntos más destacables van a ser los pies de la iglesia y la nave sur, con una entrada directa de luz solar, luz natural dirigida y proyectada contra el suelo. (Fig. 1.27)

Estos datos comparativos se ratifican al estudiar la media de iluminación por punto, al igual que pasaba cuando estudiábamos la diferencia de iluminación entre el gótico y el románico, la media de iluminación en el caso del renacimiento es muy superior a la del estilo precedente (de 852,50 luxes por punto a 31,50; **27 veces superior**).

La causa de esta diferencia tan abultada vuelve a radicar en la utilización de vidrios de colores claros, azules pálidos y grisalla, casi transparentes, en vez de las vidrieras coloreadas góticas con rojos oscuros y azules igualmente intensos.

En este caso, y a diferencia de la comparativa realizada entre las iglesias gótica y románica, las proporciones espaciales si que son similares, ya que Saint Eustache tiene configuración gótica y por tanto la variación luminosa es motivada exclusivamente por la utilización del vidrio y no por las diferencias volumétricas del espacio interior.

Se podría decir que la escenografía gótica colorea el espacio bajo un manto de penumbra constante (Fig. xxx), mientras que la iluminación natural renacentista baña el espacio arquitectónico indiscriminadamente confiriendo presencia a la materialidad arquitectónica, haciendo protagonista a la composición arquitectónica pero perdiendo el misticismo inigualable de la sensibilidad vidriada del gótico (Fig. 1.28, Fig. 1.29 y Fig. 1.30).

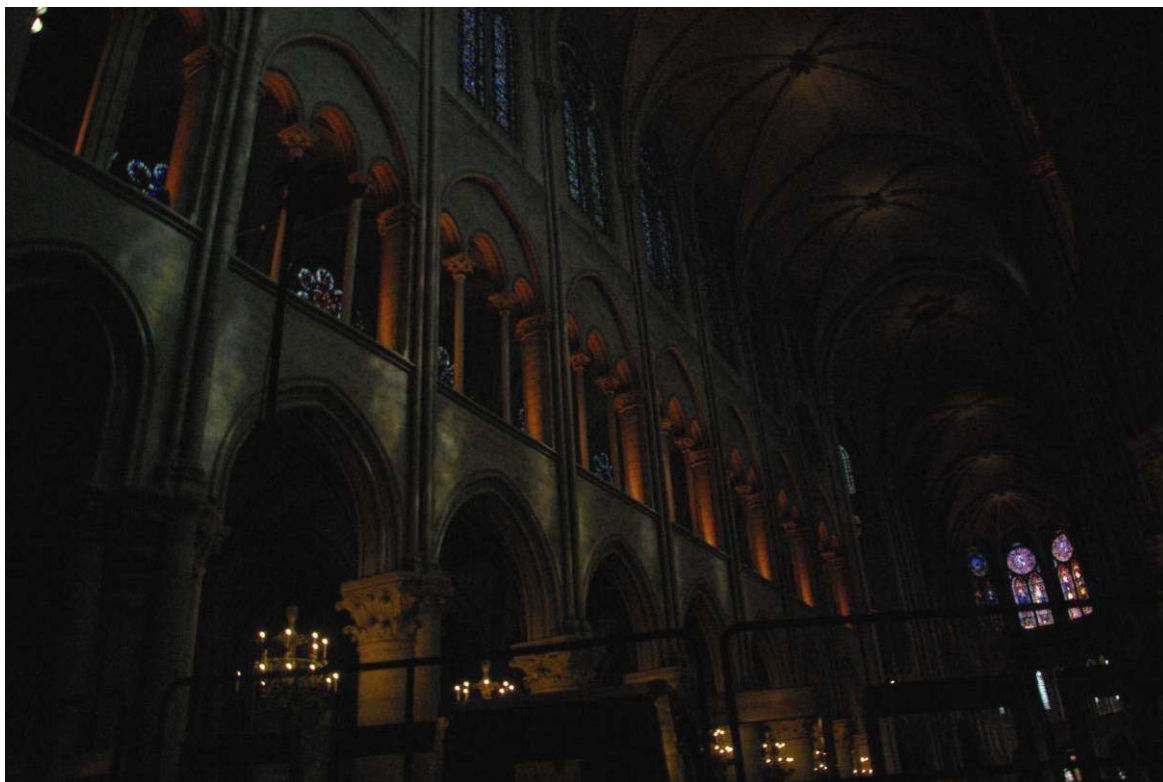


Fig. 1.28. Nave principal de Notre Dame en la actualidad, con las vidrieras sur derramadas sobre la arquería del triforio. Fotografía de Juan M. Medina. París, 21 de marzo 2012. 12.00 horas.

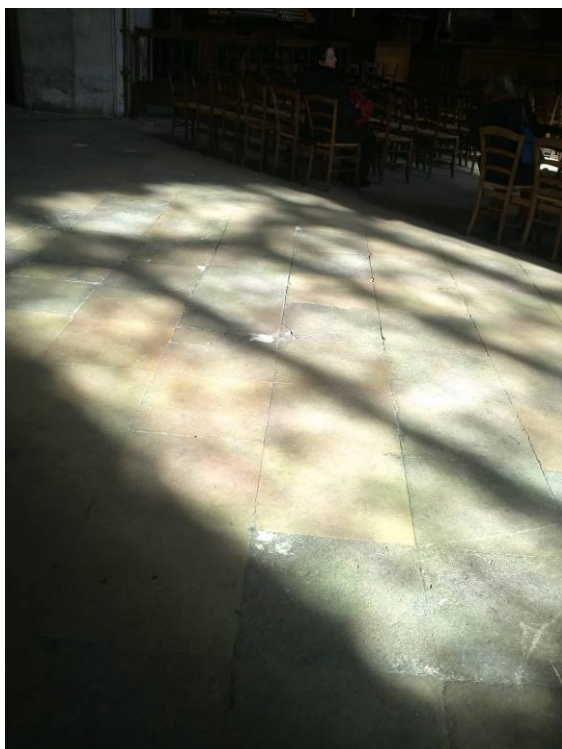


Fig. 1.29. Nave principal de Saint Eustache en la actualidad. Fotografía de Juan M. Medina. París, 21 de marzo 2012., 12.00 horas

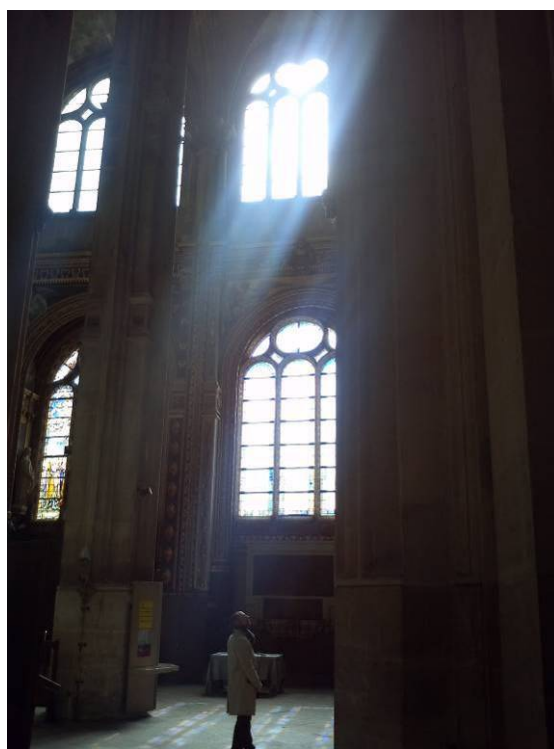


Fig. 1.30. Iluminación natural de la iglesia de Saint Eustache en la actualidad. Fotografía de Juan M. Medina. París, 21 de marzo 2012. 12 horas

Una vez analizado el efecto de cantidad de luz, y teorizado sobre el simbolismo de la misma, debemos ir más allá en un intento por conocer la génesis del pensamiento gótico.

Para ello es ineludible acercarnos a la cuna del nacimiento del estilo y estudiar al primer propulsor del mismo, el personaje medieval que marcó la tendencia de pensamiento que debía regir el gótico y que se atrevió a llevarlo a cabo con su propia abadía, el Abad Suger de Saint Denis.

1.3 NACIMIENTO DEL GÓTICO. EL ABAD SUGER Y SAINT-DENIS

"¿Será posible afirmar que el 14 de julio de 1140 fue puesta la piedra fundamental de la arquitectura gótica?"³⁰, se pregunta Klein acerca del nacimiento del gótico, y la verdad es que en esa fecha, existe en el germen del gótico como estilo arquitectónico, una figura destacada y reconocida como motor del cambio. Este personaje histórico, a caballo entre mecenas, visionario y poeta fue el Abad Suger de la Abadía de Saint-Denis. Dirigió la abadía entre los años 1122 y 1151, año en que murió y en su tiempo se llevó a cabo una reforma integral de la misma según el nuevo estilo gótico, cargado de simbología religiosa y de intención arquitectónica y que viene a ser el primer hito gótico reconocido en Europa. (Fig. 1.31)

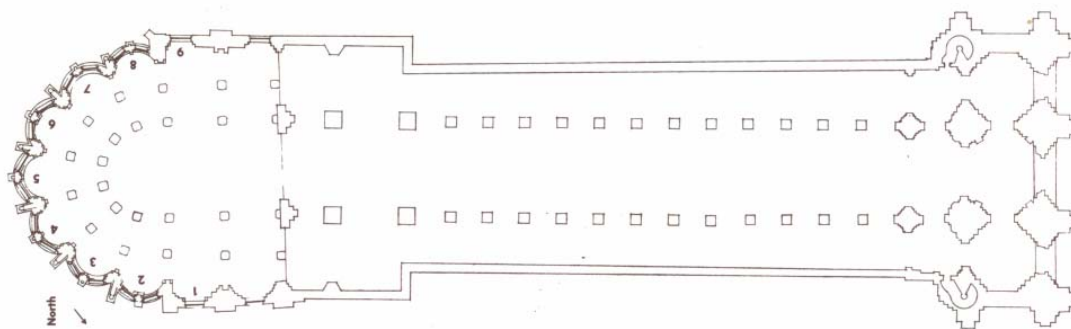


Fig. 1.31. Saint-Denis, planta de la nave y el transepto carolingios en la reconstrucción de S. MCK Crosby, y del nártex y el coro de Suger, que todavía se conservan.

Lo que hace especialmente singular la figura del Abad Suger no fue sólo su aportación como mecenas de la nueva arquitectura sino, principalmente, su capacidad de síntesis de la misma a través de una serie de escritos que legó tras su intervención en la Abadía y que han llegado hasta nuestros días como testigo de una ideología de cambio. Raras veces, en realidad casi nunca, ha sentido un gran mecenas de las artes el impulso de escribir una relación retrospectiva de sus intenciones y realizaciones. Tanto los hombres de acción como son los grandes dirigentes militares, como los de expresión, escritores o poetas, pintores y escultores, han recurrido siempre a la autobiografía pero, sin embargo, la figura del mecenas se rige por parámetros diferentes. Los Adrianos, y Maximilianos, Los Leones y Julios y Médici decidían lo que querían, organizaban el programa de sus obras, pagaban a sus artistas y aprobaban o criticaban sus actuaciones pero dejaban a sus funcionarios de corte las tareas de redacción de las descripciones de las mismas. Sin embargo, el Abad

³⁰ KLEIN, Bruno, "El gótico, Arquitectura, escultura, pintura", Ediciones H.F.Ullman, Rolf Toman, Madrid, 2007. ISBN: 978-3-8331-4658-9. p.28

Suger, primer mecenas gótico, ha legado uno de los documentos más interesantes del período y fundamental a la hora de entender los razonamientos medievales que generaron el cambio de estilo arquitectónico más importante de la historia.

Jefe y organizador de la Abadía, consiguió regir los designios de la misma durante casi treinta años. En este tiempo y gracias a sus habilidades políticas y a sus contactos con la realeza francesa, de la que llegó a ser "leal consejero y amigo", consiguió unos años de paz en el entorno de su abadía y con presupuesto económico suficiente para acometer su propósito de reforma de manera global en ausencia de conflictos.

Para entender los antecedentes ideológicos de los que se influencia el Abad Suger, conviene establecer las dos corrientes existentes durante el segundo cuarto del siglo S XII, que fueron capaces de captar en Francia, la filosofía agustiniana de la belleza. El primer movimiento, tal como lo describe Simson "*tenía su centro en el grupo de eminentes platónicos que se reunían en la Escuela de la catedral de Chartres*" mientras que el segundo "*de carácter antiespeculativo y ascético, procedía de los grandes monasterios de Citreux y Claraval y estaba personificado por San Bernardo*".³¹

Suger, fiel a la segunda de las doctrinas de la época en Francia, la de San Bernardo, se vio influenciado por Dionisio el pseudo Areopagita, pensador medieval que combina una fusión de doctrinas, la de Plotino y más en concreto, la de Proclo, para interpretar las creencias del cristianismo. Según defendía este pensador medieval, Dios era uno y trino y basaba su omnipotencia en la luminosa vitalidad del mundo. Para este personaje, el pseudo Areopagita, y según explica Panofsky, "*el universo es creado, animado y unificado por la perpetua autorrealización de lo que Plotino denomina "el Uno", lo que la Biblia denomina "El Señor" y lo que él denomina "La luz supraesencial" o incluso "el sol invisible", con dios Padre concebido como el "Padre de las luces" (Pater luminum) y Cristo (en una alusión a Juan III, 19 y VIII, 12) como el "primer resplandor" que "ha revelado el Padre al mundo" (Patrem clarificavit mundo)*"³².

La realidad luminosa que trata el Suger establece una distancia insalvable entre Dios y el ser humano. La luz divina se vierte sobre los hombres de manera que se sumerge en la materia de los cuerpos físicos limpiándolos y revertiendo un ascenso de la polución

³¹ SIMSON, Otto Von, "*La catedral gótica*". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.47

³² Panofsky, Erwin, "*El Abad Suger. Sobre la abadía de Saint-Denis y sus tesoros artísticos*", 1ª Edición revisada por Panofsky-Soergel, Gerda, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. Título original de la obra: "*Abbot Suger. On the abey church of St.-Denis and its art treasures*" ISBN: 84-376-2179-8. p. 35

humana, por tanto, el hombre, no debe avergonzarse de interpretar los sentidos, su capacidad sensorial debe servirle para poder admirar la trascendencia de Dios, la realidad física de su luz.

Para Pseudo Areopagita y para Suger, todas las cosas creadas se elevan a lo no material con la "guía manual" de lo material, basan su existencia en la percepción sensorial. Ellos aseguran que, la verdad de Dios no se puede mostrar, ni siquiera a los profetas, de otro modo que en alguna forma visible. Por esto las cosas son "luces materiales" que reflejan las cosas inteligibles y, en última instancia, la *vera lux* del Altísimo mismo. Por tanto, una piedra o un trozo de madera son luz y gracias a su percepción se entiende como bello o bueno un objeto, existiendo de acuerdo a unas adecuadas reglas de proporción, determinándose diferente en clase y especie de otras clases y especies.

Así, todo el universo material deviene de una gran "luz" compuesta de innumerables luces pequeñas que trascienden de lo terrenal guiadas hacia arriba a la causa trascendente que es Dios. Este concepto de ascensión del mundo material a lo inmaterial es lo que Pseudo Areopagita y Juan Escoto describen como "enfoque anagógico", y esta escenografía es la que el Abad Suger utilizó, tal como describe Panofsky, ya que "*como teólogo proclamó como poeta y practicó como mecenas de las artes y organizador de espectáculos litúrgicos*"³³ (Fig. 1.32).

³³ Panofsky, Erwin, "*El Abad Suger. Sobre la abadía de Saint-Denis y sus tesoros artísticos*", 1ª Edición revisada por Panofsky-Soergel, Gerda, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. Título original de la obra: "*Abbot Suger. On the abey church of St.-Denis and its art treasures*" ISBN: 84-376-2179-8, p. 36

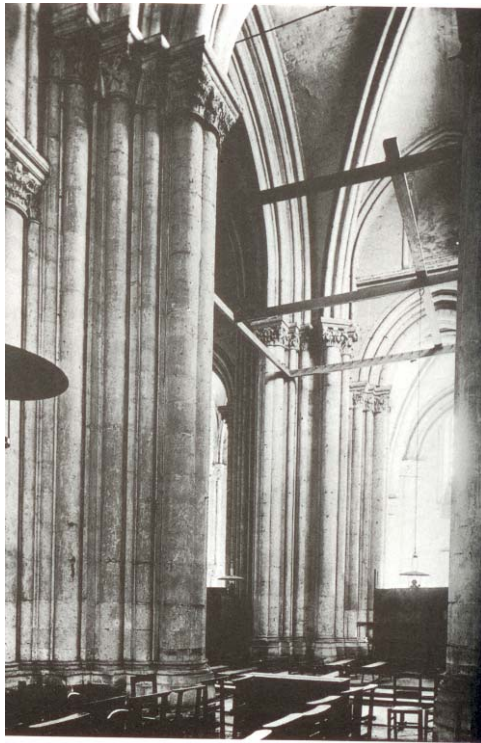


Fig. 1.32. Saint-Denis, antigua iglesia abacial. Interior del nártex, visto de noroeste a sudeste y desde el interior del coro, visto de noroeste a sudeste. (Fot. Archives Photographiques, París).

El propio Suger describe el enfoque anagógico de entendimiento de la religión como ascenso de la luz "hacia arriba" en sus propios escritos "*por eso, cuando de vez en cuando la belleza de la casa del Señor o el esplendor multicolor de las piedras preciosas me alejan, por el placer que producen, de mis propias preocupaciones, trasladándome de las cosas materiales a las inmateriales, me parece que resido en una extraña región del orbe terrestre, que no llega a estar por completo en la faz de la tierra ni en la pureza del cielo, y que, por la gracia de Dios, puedo trasladarme de un lugar inferior hacia otro superior de un modo anagógico*"³⁴.

Este pequeño fragmento en prosa del Abad Suger queda empequeñecido con el alarde de poesía que escribe en sus textos acerca de la luz, así, para la conmemoración de la consagración de la nueva cabecera de la Abadía, escribió:

"Pars nova posterior dum jungitur anteriori"

(Una vez que la nueva parte de atrás se añade a la frontal)

"Aula micat medio clarificata suo"

(La nave brilla iluminada en su medio)

³⁴ Lecoy de la Marche, A, "*Oeuvres Completes de Suger*", 1ª Edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. ISBN: 84-376-2179-8. p. 36

“Claret enim claris quod clare concopulator”

(Pues brilla lo brillante que se une a lo brillante)

“Et quod perfundit luz nova, Claret opus”

(Y brillará el noble edificio al que atraviesa la nueva luz).³⁵

Estas palabras denotan la dualidad expresa del pensamiento del abad en torno a la “nueva iluminación”; en ella deben convivir lo metafísico y lo arquitectónico. Parece que define una experiencia puramente estética cuando explica que el nuevo y transparente coro debe reemplazar el opaco ábside carolingio y que tendría su equivalente en una nave igualmente “luminosa” y que todo sería invadido por una luz más intensa que antes; pero hay que encontrar el matiz en que se han elegido deliberadamente las palabras para que sean comprensibles en dos niveles diferentes de significado: Por un lado la fórmula *lux nova* tiene sentido en referencia a la mejora de condiciones reales de iluminación, pero al mismo tiempo recuerda la luz del Nuevo Testamento, en oposición a la oscuridad y ceguera de la Ley Judía anterior.

En otro poema, en el que Suger analiza las puertas del pórtico central occidental de la Abadía se descubre una manifiesta tendencia hacia la teoría de la iluminación “anagógica” antes descrita; reza así:

Nobile Claret opus, sed opus quod nobile Claret.

(La obra noble brilla, pero que esta obra que brilla con nobleza)

Clarificet mentes, ut eant per lumina vera.

(Ilumine las mentes para que siguiendo verdaderas luces)

Ad verum lumen, ubi Christus janua vera.

(Lleguen a la luz verdadera, donde Cristo es la Verdadera Luz Puerta)

Quale sit intus in his determinat aurea porta.

(La puerta dorada define de esta manera esta luz interior)

Mens hebes ad verum per materialia surgit.

³⁵ Suger, A. “*Liber de rebus in administratione sua gestis. Libellus de consecratione ecclesiae s. Dionysii*”, 1.144- 1.145, Saint Denis.

(La mente aletargada se eleva hacia la verdad pasando por lo material)

Et demersa prius hac visa luce resurgit.

(Y primero sumida en el abismo, resurge a la vista de esta luz).³⁶

Podemos observar que para el, la nueva luz natural de la Abadía, llevará la mente de los contempladores hacia la luz espiritual, el alma será guiada por las verdaderas, aunque apenas perceptibles, "luces" hacia la Verdadera Luz, Cristo, y así se "elevará" mediante la resurrección, hacia Cristo "*Resurrectio vel Ascensio*" representada en las puertas.

Esta línea de pensamiento es consecuencia del seguimiento que el Abad Suger tenía de los escritos de Juan Escoto, es lo que "*profesó como teólogo, proclamó como poeta y llevó a la práctica como protector de las artes y organizador de espectáculos litúrgicos*", teniendo la suerte de descubrir, precisamente en las palabras del tres veces beato San Dionisio, "*una filosofía cristiana que le permitía saludar la belleza material como vehículo de la beatitud espiritual, en lugar de obligarlo a esquivarla como si fuera una tentación y concebir el universo, tanto moral como físico, no como un monocromo en blanco y negro, sino una armonía de muchos colores*".³⁷

Al estudiar a Suger como mecenas "arquitecto" pionero en las artes del gótico, descubrimos y extrapolamos a los maestros posteriores algunas de las razones que movían sus intuiciones arquitectónicas. La vanidad se encuentra arraigada en su realidad como generadora de tendencia arquitectónica, esto es indudable, pero esta vanidad, a diferencia de la que se producirá en el hombre renacentista es de tipo "humilde" a la vez que "excelsa". Así "*El gran hombre del Renacimiento afirmaba su personalidad de manera centrípeta, por decirlo así: se tragaba al mundo que lo rodeaba hasta que su entorno quedaba absorbido por su propio yo. Suger afirmaba su personalidad de manera centrífuga: proyectaba su ego en el mundo que lo rodeaba hasta que todo su ser había quedado absorbido por su entorno*"³⁸.

³⁶ Suger, A. "*Liber de rebus in administratione sua gestis. Segunda parte*", 1.148- 1.149, Saint Denis.

³⁷ Panofsky, Erwin, "*El Abad Suger. Sobre la abadía de Saint-Denis y sus tesoros artísticos*", 1ª Edición revisada por Panofsky-Soergel, Gerda, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. Título original de la obra: "*Abbot Suger. On the abey church of St.-Denis and its art treasures*" ISBN: 84-376-2179-8, p. 41

³⁸ Panofsky, Erwin, "*El Abad Suger. Sobre la abadía de Saint-Denis y sus tesoros artísticos*", 1ª Edición revisada por Panofsky-Soergel, Gerda, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. Título original de la obra: "*Abbot Suger. On the abey church of St.-Denis and its art treasures*" ISBN: 84-376-2179-8, p. 42

El Abad Suger y su abadía, marcan, sin lugar a duda el inicio de un estilo. La concentración de artistas "de todas partes del reino" señalan el punto de partida del gótico en la *Isla de Francia*, y más concretamente en tres grandes iglesias, "*la primera catedral gótica es la de Sens, la primera abadía la de Saint-Denis, y las primeras manifestaciones de la escultura arquitectónica gótica las fachadas occidentales de Saint-Denis y de Chartres*"³⁹. Centrándonos en Saint-Denis, su Rosetón de la fachada occidental, "*hasta donde sabemos, la primera aparición de este motivo en este emplazamiento*", fue una de las grandes innovaciones de la historia de la arquitectura, y también de la consecuencia determinante de la cualidad más arrebatadora del estilo gótico, la iluminación. Pero no sólo empezó una cultura arquitectónica seguida en los siglos venideros sino que, a través de su irreflexivo entusiasmo por la metafísica de la luz del Pseudo Areopagita y Juan Escoto, lo situó en la vanguardia del movimiento intelectual que posteriormente dio lugar a las teorías de Roberto Grosseteste y Roger Bacon.

Podemos entender que sabía de la importancia de su aportación a la arquitectura y en definitiva, a la captación de la luz cuando, hablando de captar la espaciosidad de la nueva estructura "moderna" (*opus novum*) (Fig. 1.33 y Fig. 1.34) en contraposición con la vieja basílica carolingia (*opus antiquum*)⁴⁰ decía que "*ha sido ennoblecida por la belleza de su longitud y anchura y de repente levantada a una gran altura brillando con luz admirable y constante de las vidrieras más luminosas*"⁴¹, o como también describiría Georges Duby; "*Entre 1140 y 1144 se edificó una secuencia de capillas dispuestas en semicírculo, en virtud de la cual toda la iglesia resplandecía gracias a la maravillosa luz ininterrumpida que se extendía desde las más luminosas ventanas*".⁴²

³⁹ SIMSON, Otto Von, "*La catedral gótica*". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.84

⁴⁰ Suger, A. "*Liber de rebus in administratione sua gestis. Segunda parte*, 1.148- 1.149", Saint Denis.

⁴¹ Suger, A. "*Liber de rebus in administratione sua gestis. Segunda parte*, 1.148- 1.149", Saint Denis.

⁴² DUBY, Georges, "*La época de las catedrales. Arte y sociedad. 980-1420*". Ed: Cátedra, Madrid, 1997. ISBN: 84-376-1179-2.

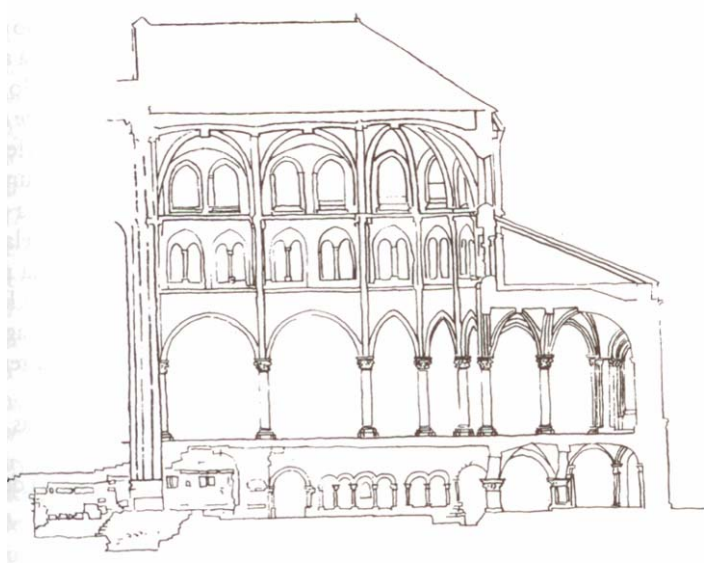


Fig.1.33. Saint-Denis, sección longitudinal de la cripta carolingia ampliada por Suger y del nuevo coro alto de Suger, en una reconstrucción preliminar de S. MCK. Crosby.

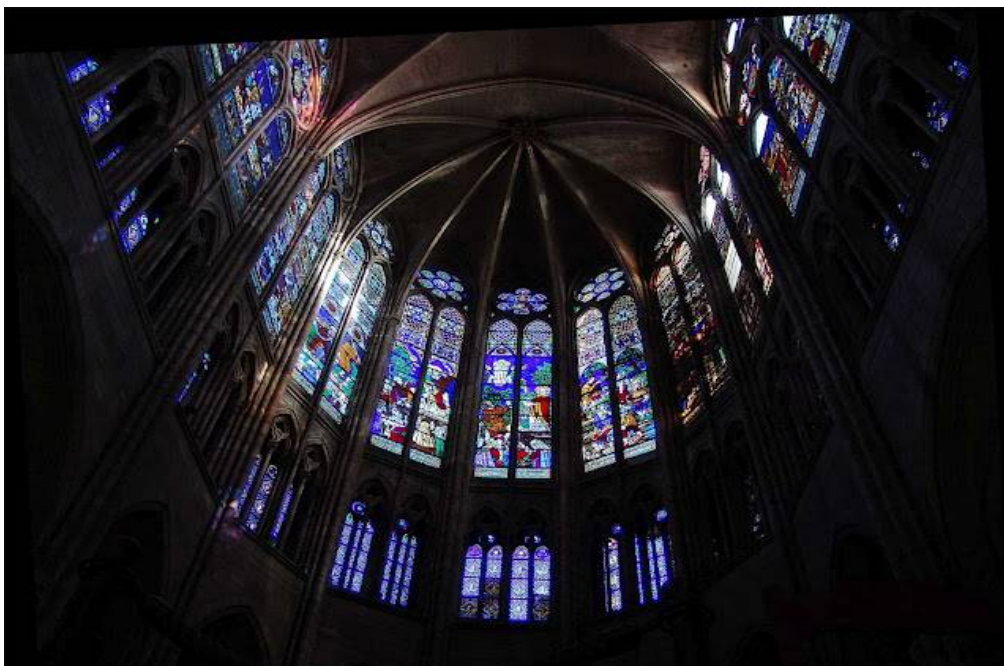


Fig.1.34. Saint-Denis. Vista del ábside en la actualidad. Fotografía de autor desconocido.

Una vez introducido el marco de la investigación y determinado el momento estudiado y los parámetros anteriores al nacimiento del gótico y posteriores al mismo, podemos observar cómo algo tan singular como es la iluminación gótica merece un estudio más profundo y pormenorizado.

Para una mejor comprensión del documento que se presenta se exponen a continuación un resumen de los capítulos que definen la **organización de la tesis**.

2. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

CAPÍTULO 1. Introducción. Marco y justificación de la investigación:

En un intento de **acercamiento introductorio** al concepto de la iluminación gótica, una vez abordadas las ideas de cómo esta fue concebida, cuáles fueron sus **gérmenes** y las diferencias sustanciales con los estilos anterior y posterior, el **románico** y el **renacimiento**, estableceremos las correspondientes hipótesis de partida y objetivos buscados en la investigación.

CAPÍTULO 2. Organización de la tesis:

Esquema con resumen de capítulos que presenta el esquema con que la presente tesis doctoral aborda sus estudios.

CAPÍTULO 3. Hipótesis y Objetivos:

Las hipótesis de partida planteadas, tal como se verá más adelante, se basan en que es posible profundizar en el conocimiento de la luz gótica y en su clasificación, por lo que el objeto de la presente investigación analítica y experimental es el estudio de la **ILUMINACIÓN** de la **ARQUITECTURA GÓTICA ESPAÑOLA**, en función de su volumetría, su composición de vanos y vidrieras y sus condiciones arquitectónicas generales, y su objetivo fundamental es **ESTABLECER LOS TIPOS DE ILUMINACIÓN GÓTICA DE LAS CATEDRALES ESPAÑOLAS**, en base a sus condiciones iniciales de construcción, tratando, en la medida de lo posible, de profundizar en uno de los valores más importantes de este estilo, para poner sobre la mesa un condicionante de máximo interés a tener en cuenta dentro de cualquier restauración en el futuro.

Para ello el presente trabajo de investigación se estructura bajo el siguiente esquema:

CAPÍTULO 4. Estado del arte:

En este apartado estudiaremos, en primer lugar, el legado medieval (manuscritos, textos y catedrales) en busca de fuentes que nos faciliten la comprensión del porqué de la luz gótica.

En segundo lugar se recogen en este análisis del estado actual de conocimientos, las **corrientes** derivadas del estudio del gótico que han profundizado sobre el efecto de la luz en sus espacios y se estudia cuales son las **fuentes** que nos servirán a la postre para alcanzar los objetivos propuestos.

CAPÍTULO 5. Desarrollo del método:

En este capítulo se analiza cual es la estructura metodológica empleada para alcanzar los objetivos planteados, se buscan los **indicadores** que nos ayuden a discernir entre las distintas tipologías de iluminación y por último, termina con la **preclasificación** de muestras a analizar con detenimiento.

CAPÍTULO 6. Análisis de resultados: Estudio de muestras.

A través de un desarrollo analítico y experimental sobre cada una de las muestras seleccionadas, el método estudia, de manera específica, los condicionantes que definen la influencia de la luz en cada espacio (volumetría, configuración estructural, ubicación y proporción de vanos...). Para ello y en aras de reproducir con mayor fidelidad la composición del primitivo proyecto gótico se generan recreaciones en tres dimensiones de las catedrales "muestra", que arrojan valores de iluminación certeros sobre la realidad gótica.

CAPÍTULO 7. Análisis comparativo entre las distintas muestras.

En este apartado se analiza comparativamente los resultados obtenidos de todas las muestras, poniéndolas en relación unas con otras para un análisis conjunto de la situación.

CAPÍTULO 8. Definición de tipos de iluminación gótica:

Según sus características y comportamiento, se determinan en este apartado cuales son los distintos tipos de iluminación gótica en función de los indicadores prefijados y con la introducción de los nuevos factores encontrados.

Una vez terminada la preclasificación alcanzamos el objetivo fundamental de la tesis:

CAPÍTULO 9. Conclusiones:

Estas se recogen en un resumen de las conclusiones más destacables de todo el proceso analítico y experimental realizado, tanto en lo relativo a los factores que nos lleva al mejor conocimiento de la luz gótica como en lo relativo a la clasificación de las catedrales en función de su iluminación gótica, reseñando las aportaciones realizadas.

CAPÍTULO 10. Importancia de la investigación.

Con este apartado finaliza la tesis doctoral y marca los caminos abiertos por la presente investigación para profundizar en el conocimiento de las catedrales góticas y su extraordinaria iluminación.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

La investigación parte de una hipótesis fundamental:

“LA LUZ GÓTICA ES CUANTIFICABLE Y CUALIFICABLE.”

Esta hipótesis se fundamenta en el hecho de que la luz reinante en un espacio arquitectónico es, hoy día, medible y que de la comparación entre distintos espacios góticos se pueden extraer adjetivos intrínsecos de la iluminación de los mismos que nos permitan cualificarla.

La hipótesis, a su vez, se subdivide en cuatro apartados relacionados con la misma.

3.1.1 APARTADO 1. SOBRE LA MANIPULACIÓN DE LA LUZ EN EL GÓTICO:

“LA ARQUITECTURA GÓTICA NO SOLO BUSCA INTRODUCIR LUZ EN LOS ESPACIOS SINO CONTROLARLA Y MANIPULARLA.”

La luz introducida en los espacios góticos no es una luz natural sino que su composición es coloreada y simbólica. La iluminación general es baja y perfectamente controlada.

Este apartado de la hipótesis principal se basa en la homogeneidad ambiental detectada en los espacios góticos. La luz percibida en su interior está manipulada pero en ningún caso es una iluminación elevada.

¿Para qué abrir tantos vanos para posteriormente tamizar la luz? El presente apartado plantea que, para poder controlar la luz, esta debe ser baja y homogénea y así poner el énfasis necesario en aquellos puntos que se pretenda.

3.1.2 APARTADO 2. SOBRE LA CLASIFICACIÓN DE LA LUZ:

“LAS CATEDRALES GÓTICAS SON CLASIFICABLES EN FUNCIÓN DE SU LUZ”

La luz natural contenida en el espacio arquitectónico de la catedral gótica puede ser clasificada en tipos de calidades lumínicas (cantidad, cualidad, distribución), a través del establecimiento de los parámetros o indicadores que la caracterizan.

Este apartado de la hipótesis principal se basa en una “patente realidad” que no necesita ser demostrada mediante investigación alguna. Es un hecho conocido que hay catedrales e iglesias góticas muy luminosas, que cuentan con grandes vidrieras, como Saint Chapelle de París, y otras muy oscuras, dotadas de pequeñas vidrieras, como la Catedral de Almería.

A su vez, las hay dotadas de una luz natural multicolor, mientras que en otras la luz natural es casi monocromática y además este impacto luminoso multicolor de las vidrieras sobre el espectador es en cada una de ellas diferente.

Por tanto, la “luz natural” contenida en el espacio de la Catedral Gótica es diferente, en cantidad y calidad, en la extensa diversidad de las catedrales existentes.

3.1.3 APARTADO 3. SOBRE LAS RELACIONES ENTRE LA FORMA DE LAS CATEDRALES Y SU LUZ:

“EXISTEN RELACIONES ENTRE VOLUMETRÍAS, FORMA Y ESTRUCTURA Y SU RESULTADO LUMINOSO”

La cantidad de luz natural contenida en el espacio arquitectónico de las catedrales góticas está fundamentalmente condicionada por su configuración formal (número de naves, decalajes, etc.) y esta, a su vez, influenciada por el riesgo sísmico del lugar donde fue construida.

Este apartado de la hipótesis principal también es un hecho demostrado, ya que forma parte de las conclusiones de la tesis realizada por la profesora Cassinello bajo el título “Trazado y Estabilidad de la Arquitectura” (2003), que ha sido ampliamente difundida. En ella se pone de manifiesto que las fachadas de las catedrales góticas construidas en zonas sísmicas, tuvieron que contar con mayor superficie muraria de arriostramiento de su esqueleto estructural, no pudiendo dotarlas de amplias vidrieras.

3.1.4 APARTADO 4. SOBRE LAS DISTORSIONES LUMÍNICAS EN LOS ESPACIOS GÓTICOS.

“EXISTEN EFECTOS DISTORSIONADORES DE LA LUZ, ALGUNOS DE ELLOS “REPARABLES” EN LA ILUMINACIÓN ACTUAL DE LAS CATEDRALES GÓTICAS.

Este apartado de la hipótesis principal se basa en el hecho indiscutible de que la luz natural contenida en el espacio arquitectónico de las catedrales góticas ha sido manipulada y desvirtuada a lo largo del tiempo.

En los posteriores al gótico y hasta nuestros días, se han producido multitud de intervenciones sobre el patrimonio gótico. Estas intervenciones y los cambios sobre la configuración inicial de los edificios han sido capitales a la hora de entender la iluminación de sus espacios, quedando estos completamente distorsionados.

La sustitución de muros vidriados en color por vidrios transparentes, el adosamiento de conjuntos constructivos como claustros, torres y edificaciones posteriores con el consiguiente sellado de los huecos primigenios, la obstrucción solar producida por edificaciones construidas con posterioridad al gótico en los alrededores de las catedrales, algunos ejemplos puntuales de iluminación artificial sobrepuesta a la natural de manera no meditada e incluso la incorporación de nuevas entradas de luz en épocas posteriores como el lucernario barroco de la catedral de Toledo (el “transparente”) han transformado la configuración luminosa inicial, variándolo de manera definitiva.

Gran parte de estos elementos “distorsionadores” podrían ser revertidos en aras de lograr conseguir de nuevo la escenografía gótica que otrora poseyera.

3.2 OBJETIVOS

El objetivo fundamental de la investigación es resolver la hipótesis de partida y por tanto busca, a través del análisis de la luz natural como generadora del espacio arquitectónico de la primitiva catedral gótica, determinar la **“CUANTIFICACIÓN Y CUALIFICACIÓN DE LA LUZ GÓTICA”**.

Para ello, la tesis **determinará cuales son los factores** que caracterizan sus diferentes **cualidades lumínicas** y a través del conocimiento de estas cualidades, **establecerá su clasificación** en función de **tipos de iluminación gótica**. El Desglose secuencial de pasos que nos llevarán al objetivo principal buscado son:

1 DETECTAR Y ESTABLECER LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS.

Este primer paso nos permitirá determinar los indicadores adecuados con los que establecer los tipos diferentes de catedrales góticas en función de su iluminación (**“tipos de cualidad lumínica (cantidad + calidad)”**). Con esto obtenemos la PRECLASIFICACIÓN INICIAL.

2 COMPRENDER Y CUANTIFICAR LA DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ EN LAS CATEDRALES GÓTICAS.

Que lo haremos mediante el estudio pormenorizado de una catedral de cada “tipo” (a priori 6 tipos) de la PRECLASIFICACIÓN INICIAL, teniendo en cuenta tanto su intensidad y su distribución a lo largo de los espacios del templo, como su recorrido de vidrieras, matices y textura, determinando los **factores** que nos permitan **cualificarlas**.

3 ESTABLECER LA CLASIFICACIÓN DE LAS CATEDRALES SEGÚN SUS “TIPOS DE CUALIDAD LUMÍNICA”

Por último y en función de las cualidades detectadas se procederá a la pretendida **clasificación**. Esta clasificación se establecerá mediante la inclusión del resto de catedrales no estudiadas en el muestreo utilizando los factores previamente establecidos, así como aquellos que se vayan descubriendo a lo largo de la investigación.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1 EL MARCO GÓTICO. SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LA ÉPOCA Y SU INFLUENCIA EN LAS FUENTES DOCUMENTALES.

Para entender la catedral gótica y por consecuencia la búsqueda de la luz, es fundamental entender los factores sociales que coincidieron con este cambio arquitectónico y que facilitaron el desarrollo de un estilo a lo largo de un extenso territorio como es Europa.

Las "distancias" medievales unidas a la limitada capacidad de movimiento del hombre de la época, entendidas desde una óptica actual, equivaldrían a valores inalcanzables para nuestro entendimiento, y sin embargo una suerte de transmisión de conocimiento dio lugar al estilo más extendido y homogéneo de los que ha dado la arquitectura en toda su historia.

Pasados los "oscuros" años del románico, en que la clase eclesiástica dominaba los designios espirituales, sociales y económicos de la sociedad medieval y en una evolución continua, la burguesía de la Alta Edad Media empezó a hacerse notar cuando, a finales del S XII se producen los primeros cambios en la economía monetaria y mercantil. Estos primeros burgueses se dedicaron a la artesanía y el comercio, generando en los centros urbanos europeos un dinamismo y progresión al margen de los monasterios autónomos propiedad de la clase eclesiástica, la cual había regido los designios de la conducta social desde la caída del Imperio Romano. Las nuevas ciudades agrupan nuevas sensibilidades y nuevas formas de organización.

Como parte fundamental de esta evolución económica surge el capital financiero al acuñar la moneda. Los monasterios van perdiendo poder a medida que se avanza en el desarrollo del comercio y de la libre competencia. La nueva clase social introduce, en los nuevos núcleos urbanos, nuevas ideas y formas de sentir, basadas en el intercambio de bienes y en las transacciones de productos y dinero.

Las catedrales son, más que nunca hasta la fecha, un producto urbano y burgués. Si bien la Iglesia sigue teniendo sobre ellas un poder importante sobre todo en el desarrollo programático de los edificios y tal como describe La profesora Cassinello "*...al contrario que las románicas nacidas del espíritu monástico y aristocrático de una pequeña parte de*

la población, el dinero de la burguesía levanta los edificios góticos e influye notablemente en su desarrollo y estilo al adquirir en sus viajes, continuos conocimientos en otras logia"⁴³

Las nuevas catedrales, fruto del esfuerzo en gran parte de la clase social burguesa, monopolizaron la economía y sociedad de los núcleos urbanos de la Alta Edad Media, focalización que sigue vigente a día de hoy. Ningún otro monumento de una cultura radicalmente distinta a la nuestra participa tanto de la vida contemporánea como la catedral, tal como describe Otto Von Simson *"es posible que no nos sintamos más próximos a la civilización medieval que a la Grecia o al Egipto antiguos; de hecho, nuestro mundo moderno nació como una rebelión contra el orden intelectual de la Edad Media. Sin embargo las catedrales góticas, que son la expresión de ese orden, se conservan intactas y siguen utilizándose hoy en día; no son una ruina romántica de un pasado irrecuperable, sino que siguen siendo el centro de casi todas las poblaciones europeas y también, en discutibles imitaciones, de muchas ciudades norteamericanas."*⁴⁴

Por otro lado, aún cuando la Iglesia continua ejerciendo una gran presión en lo referente a los valores morales, el espíritu práctico de la nueva burguesía populariza en cierto modo la religión, y la hace más "mundana", más emocional. Esta burguesía intentará trasladar la dramaturgia cristiana a una puesta en escena casi contemporánea, una estrategia de masas que seculariza la cultura y la retira de los elitismos que ha gozado hasta entonces, en un camino inexorable hacia el renacimiento y la secularización total de la arquitectura.

Otro factor fundamental que permite entender el proceso de construcción de estos grandes templos fue su nueva "organización del trabajo" a través de la organización gremial de la Alta Edad Media. Las logias se componen de dos figuras fundamentales: el maestro de obra o "*magister operis*" y el gran maestro o arquitecto o "*magister lapidum*", bajo la dirección administrativa y artística de personas comisionadas por la entidad o entidades que financiaban las obras.

Algo que definió en gran parte el auge del estilo gótico y que facilitó su extensión y en ausencia de legados ni tratados escritos fue, sin duda, la gran capacidad de movimiento de estos miembros de las logias (entendida claro está desde la óptica de desplazamientos del sistema medieval), y la transmisión de los conocimientos empíricos se producían "boca a boca" de una obra a otra y de generación en generación.

⁴³ CASINELLO, M.J., "*Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica*", Tesis doctoral inédita. Madrid 2003. P.2

⁴⁴ SIMSON, Otto Von, "*La catedral gótica*". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.15

Este marco social y económico, unido a la evolución lógica del conocimiento constructivo anterior, dio lugar a un rotundo cambio en la concepción del espacio arquitectónico, en la racionalización del proceso constructivo y en el nuevo orden de funcionamiento estructural. Este último factor generó una nueva derivada, permitió una proyectar un espacio habitable donde, por primera vez se podía introducir libremente la luz.

Sin embargo, la forma de organización social y la transmisión “boca a boca” de los conocimientos derivó en una ausencia de legado documental sobre cómo construían y diseñaban sus edificios. El siguiente capítulo recopila los escasos documentos de la época que pueden arrojar luz al tema estudiado.

4.2 FUENTES DE LA ÉPOCA. MANUSCRITOS

En la búsqueda por conocer la mecánica de proyecto de los arquitectos de la época medieval, el presente estudio ha investigado sobre las fuentes escritas del momento. Esta inmersión en los manuscritos góticos resultó del todo escasa en lo referente al tratamiento específico de la luz.

Tal como se preveía, no existe documento alguno del momento de construcción de las catedrales que nos lleve a la comprensión de cómo las mismas se proyectaron y, sobre todo, hasta que punto el arquitecto medieval podía manipular el concepto de iluminación dirigida hasta convertirlo en un condicionante de proyecto con personalidad propia.

Ya hemos visto que el simbolismo religioso movía la "razón" arquitectónica y modelaba el ambiente gótico, pero no existen documentos escritos de cómo este se trasladaba a la arquitectura en forma de recomendaciones, tratados o metodologías de proyecto propias de la utilización de la luz.

El motivo fundamental por lo que no se encuentran escritos de la época fue el propio sentir de la misma, donde reinaban la *Masonería*, el misterio y la ocultación, y donde además el método de transmisión de conocimientos fue directo, de maestros a aprendices, dentro de cada logia y cada oficio constructivo. Una suerte de competición gótica en alcanzar cada vez mayores cotas de altura y belleza se desarrolló a lo largo del espacio europeo en esos siglos, donde el secretismo por conseguir los hitos más singulares llevó a que no se publicara tratado de construcción alguno. La catedral era el único hito reconocible de la ciudad, de la cual todos estaban altamente orgullosos y alrededor de la cual se generaba toda la vida económica, social y religiosa de la ciudad.

Si nos circunscribimos a la búsqueda de "*proyectos arquitectónicos*" en los documentos del gótico e incluso anteriores, la documentación es prácticamente inexistente, y tal como recoge Antonio Castro Villalba "*...a la hora de buscar las fuentes, nos encontramos con una notable escasez de datos, Vagnetti así lo refleja y Kostof va más allá, reconociendo que en realidad los documentos más antiguos que se conservan son los del palimpsesto de Reims, que datan, aproximadamente, de 1240 o 1260, y aunque ello no es rigurosamente cierto porque se conserva una planta del monasterio de Sant Gall datada en el 820, este*

es, como veremos, no es con documento con información suficiente para construir un edificio y su intención ha provocado bastantes polémicas."⁴⁵.

Profundizando en la búsqueda, encontramos los documentos gráficos de Luís de Villanueva que recoge la existencia de unos 5.000 dibujos arquitectónicos de los siglos XIII y XIV, de interpretación bastante dudosa como para considerarlos "proyectos" de arquitectura donde el arquitecto pudiera plasmar su concepto arquitectónico, y que para el propio Antonio Castro son "*para unos son descriptivos y para otros de proyecto, pero la realidad es que en ninguno de ellos, a pesar de la pulcritud de su trazado, aparecen datos suficientes para emprender el complejo trabajo estereotómico imprescindible para la materialización de la obra*"⁴⁶.

Los manuscritos gráficos más completos anteriores a la segunda mitad del siglo XV serían, principalmente, el de **Villard de Honnecourt** (año aproximado 1230), que incluye los dibujos de las 33 láminas del Álbum de viaje de Villard (Fig. 4.1), junto con los planos del monasterio de Saint Gall y el de Canterbury, ambos significativos por su amplitud y detalle y con pocos recursos más a los que acudir como fuente de interpretación.

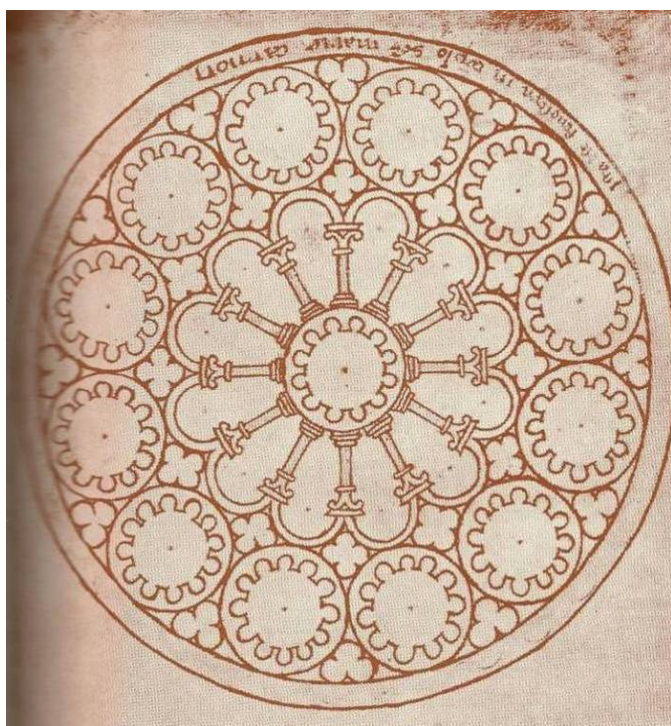


Fig. 4.1 Lámina que representa la tracería de un rosetón. Tratado de Villard de Honnecourt.

⁴⁵ CASTRO, Antonio, "*Historia de la construcción medieval. Aportaciones*" 1ª edición, Barcelona, ediciones UPC, S.L. Quaderns d'arquitectes, 15, 1996, ISBN: 8483011735 ISBN-13: 9788483011737, p. 12

⁴⁶ CASTRO, Antonio, "*Historia de la construcción medieval. Aportaciones*" 1ª edición, Barcelona, ediciones UPC, S.L. Quaderns d'arquitectes, 15, 1996, ISBN: 8483011735 ISBN-13: 9788483011737. p. 12.

El caso del tratado de Villard de Honnecourt es singular, este personaje medieval fue un maestro de obras que trabajó en pleno auge de la arquitectura gótica durante varias décadas del siglo XIII. Hombre viajero que no sólo desarrollo trabajo como maestro de obras sino que se trasladó a Laón, Reims y otras muchas villas medievales donde se encontraban en construcción las más importantes catedrales, tomando apuntes y notas y recogiénolas en un manuscrito dirigido a ilustrar a maestros de obras.

El manuscrito se conserva actualmente en la Biblioteca de París⁴⁷ y cuenta con 33 páginas de las que debieron ser 62, según Hahnloser. Describe dibujos e información de obras como Laón y Reims (Fig. 4.2 y Fig. 4.3) y si bien es un documento extremadamente interesante a la hora de describir aspectos parciales de los métodos constructivos utilizados en la construcción de catedrales, es insuficiente como para considerarse tratado ni documento cerrado en torno al trazado o estabilidad de los edificios góticos.

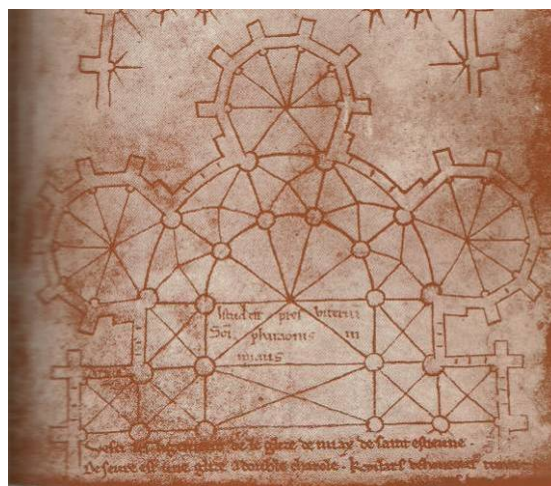
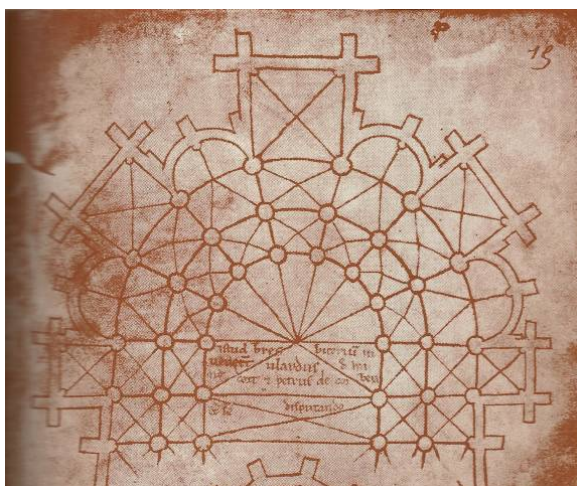


Fig. 4.2. y Fig. 4.3. Plantas de Laón y Reims. Tratado de Villard de Honnecourt

En el se mezclan aspectos de la construcción aleatorios con recomendaciones sobre maquinaria de obra, herramientas de la época y algunos trazados geométricos (Fig. 4.4), unido a recetas para conservar el color de los pétalos de las flores, o de cómo obtener una mezcla de cal para eliminar el pelo.

⁴⁷ Honnecout, Villard, "*Cuaderno*", a partir del manuscrito conservado en la Biblioteca Nacional de París (n.19093) presentado y comentado por Erlande-Brandenburg, Alain, Pernoud, Regine, Gimpel, Jean y Bechmann, Roland, Editions Stock, 1986 para estudios introductorios y Ediciones Akal, 1991, 2001 para los países de habla hispana, Madrid, 2001. ISBN: 84-460-1776-8.



Fig. 4.4. Trazados Geométricos para la composición de vanos y tracerías. Tratado de Villard de Honnecourt

El documento, tan sólo es útil como documento de información parcial, como por ejemplo y en lo referente a la estabilidad estructural, es interesante destacar su apreciación “y si pensáis en construir poderosísimos contrafuertes, conviene que elijáis unos lo suficientemente salientes; concentraros en vuestra empresa, y obraréis como sabios y prudentes”⁴⁸, lo que demuestra que los maestros góticos dominaban el efecto de la componente horizontal del empuje de las bóvedas de crucería, para lo cual es fundamental el componente “saliente” de los contrafuertes. También es interesante el constante referirse a la triangulación como método compositivo y de trazado de elementos constructivos, lo que viene ligado a la estabilidad geométrica aplicada a la estructura. Así y como recoge Cassinello, “Además de las explicaciones gráficas sobre sistemas de construcción y talla, existe una constante en las láminas de Villard, la geometría-base del diseño de todos y cada uno de los elementos de la catedral, y base como sabemos hoy de la propia determinación de la adecuada distribución de masas pétreas en la catedral para poder garantizar su estabilidad estructural. Triángulos y

⁴⁸ Honnecout, Villard, “Cuaderno”, a partir del manuscrito conservado en la Biblioteca Nacional de París (n.19093) presentado y comentado por Erlande-Brandenburg, Alain, Pernoud, Regine, Gimpel, Jean y Bechmann, Roland, Editions Stock, 1986 para estudios introductorios y Ediciones Akal, 1991, 2001 para los países de habla hispana, Madrid, 2001. ISBN: 84-460-1776-8.

cuadrados, formas geométricas puras que aparecen también como referencia de equilibrio"⁴⁹ (Fig. 4.5)

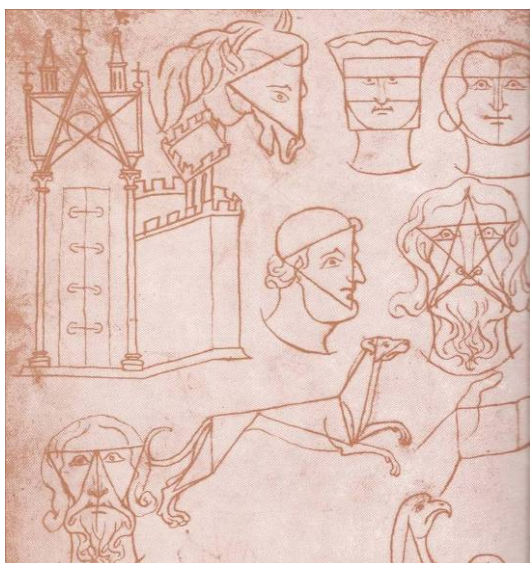


Fig. 4.5. Trazados Geométricos en "triángulos". Tratado de Villard de Honnecourt.

Pero lamentablemente, su aportación es nula en lo referente a variables sobre la utilización de la luz en las catedrales y tan sólo cabe destacar su interés en lo referente al diseño de trazados de vanos. (Fig. 4.6. Y Fig. 4.7).

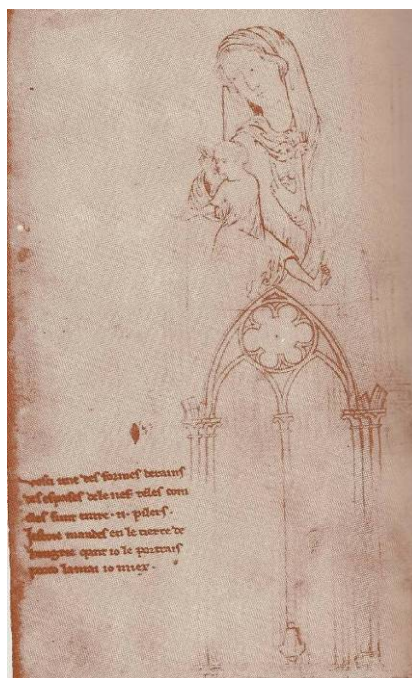
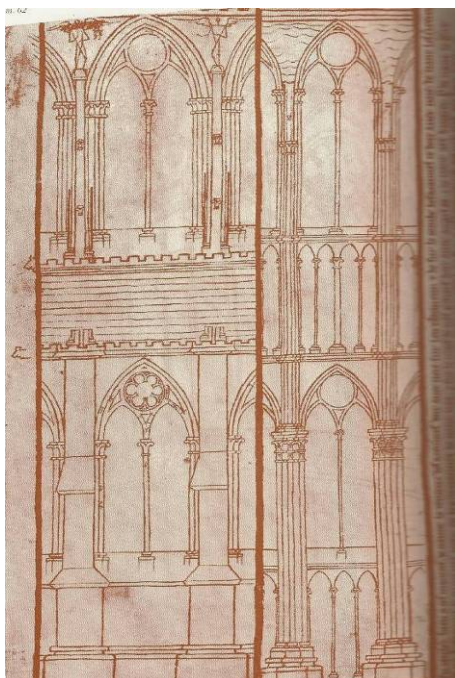


Fig. 4.6. Y Fig. 4.7. Trazados para la composición de vanos y tracerías. Tratado de Villard de Honnecourt

⁴⁹ CASSINELLO, M.J. "Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica" Tesis doctoral inédita. Madrid, 2003. p.16 v.1

El resto de manuscritos de la época, con los que contamos, no proceden de maestros albañiles, sino de poetas, literatos o clérigos, y su descripción de la arquitectura se reduce a curiosos relatos descriptivos. El siguiente manuscrito constructivo de que disponemos data de 200 años después, al final de la época gótica y escrito por algunos maestros alemanes, como son los tratados geométricos de Mathes Roriczer y Hanns Schmuttermayer; manuscritos casi ilegibles, escritos en dialectos alemanes y propios del medioevo, que han dificultado sobremanera la labor de traducción e interpretación y que suponen meras notas personales de trabajo o de intercambio gremial.

El primero de los autores, **Mathes Roriczer** (Fig. 4.8), pertenecía a una familia de cuatro generaciones de maestros albañiles y en sus trazados geométricos expresa la habilidad que hay que tener para determinar un pináculo pétreo.



Fig. 4.8. Autorretrato de Roriczer. Museo Preussischer Kulturbesitz Kupferstichkabinett Berlín

El segundo de estos autores, **Hanns Schmuttermayer**, coetáneo de Roriczer, también recoge trazados geométricos que definen como construir un pináculo (Fig. 4.9), pero los dos se reducen, lamentablemente, a la definición de este elemento, y nada muestran del resto de los elementos que componen la catedral.

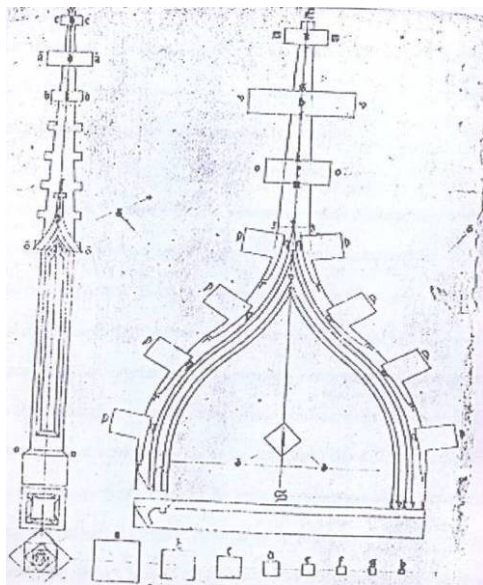


Fig. 4.9. Trazado geométrico de un pináculo. Schmuttermayer. Museo Nacional Germanisches Nürnberg.

Los dibujos de estos autores y las reflexiones posteriores que sobre ellos se pueden hacer, son de gran interés para el entendimiento, en gran medida, del modo de proceder medieval y los conocimientos en geometría y trazado que los maestros poseían, y aunque la información es parcial en lo referente al significado constructivo de los mismos y su comportamiento estructural, la realidad es que nos muestra como se transmitían en la época los conocimientos por tradición heredada. El hecho que demuestra este último aspecto es que estos maestros góticos citan a los maestros predecesores que les enseñaron: *"No he descubierto esto por mi mismo, lo he aprendido de otros grandes y famosos maestros como Junkers de Praga, Master Ruger y Nicholas de Estrasburgo..."* (Texto del manuscrito de Schmmuttermayer)⁵⁰.

Un dato interesante a tener en cuenta, y según asegura Shelby, Schmmuttermayer no pudo conocer personalmente a los maestros citados, lo cual nos deja dos posibilidades: o el maestro lo aprendió de maestros que a su vez lo aprendieron de los primeros citados, o existió algún tipo de manuscrito que consiguió transmitir los conceptos y que no tenemos en la actualidad. Ambas posibilidades existen pero lo que evidencian es que el modo de transmisión de conocimientos, aunque en cierta manera elemental, era eficaz en la época.

En los años posteriores a los de los maestros alemanes encontramos escasa documentación de la época, si bien cabe destacar las conclusiones que son conocidas

⁵⁰ BASSEGODA, Buenaventura, *"algunos ensayos sobre técnica Edificatoria"*, Ed. Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 1975. ISBN 10: 8460064948.

como **Actas de Comisiones de Expertos**. Estas comisiones se reunían para debatir temas estructurales, constructivos y estéticos, a partir de este momento los intercambios entre maestros empiezan a ser mayores, las preocupaciones gremiales de alguna forma comienzan a ser compartidas. Son famosas las comisiones de la catedral de Milán y, sobre todo y dentro del ámbito español, la **comisión de la catedral de Gerona**.

Centrando nuestra atención sobre esta comisión y buscando resquicios en torno a la utilización de la luz en el diseño del templo, nos encontramos en el Siglo XIV, donde se había completado la primera parte de una iglesia de tres naves en Gerona, llegando los trabajos hasta el transepto. Una vez terminada esta primera fase, se planteó continuar la construcción del templo con una sola nave. La discusión teórica sobre su conveniencia se alargó durante cincuenta años hasta que el cabildo catedralicio convocó una reunión de expertos en 1417.

En esta encontramos un curioso diagnóstico de 12 arquitectos afamados del momento que enuncian claves significativas sobre la forma de proyectar de la época y sobre cuales eran los condicionantes principales a la hora de enfrentarse a un proyecto (en este caso la reanudación de una obra). Recogido por Eugenio Llaguno y Amirola en su "Noticia de los Arquitectos y Arquitectura en España" se plantea "de manera que no pueda errarse" la siguiente encuesta por parte del Cabildo.

La primera pregunta fue si la obra de la catedral empezada antiguamente se podría continuar con designio de quedar segura y sin riesgo.

La segunda pregunta planteaba si en el supuesto de que no pudiera continuarse dicha nave con seguridad, si la obra de tres naves, seguida después, era congrua, suficiente y tal que mereciera proseguirse.

La tercera pregunta planteaba cuál sería la forma o continuación de las obras más compatible y la más proporcionada a la cabeza de dicha iglesia, que estaba ya comenzada, hecha y acabada.

Lo que al presente estudio interesa son fundamentalmente las respuestas de los 12 arquitectos a las preguntas planteadas. Sin documentación gráfica alguna ni justificación matemática ni empírica, los arquitectos, uno por uno y de manera breve y concisa, explican según su propia experiencia como continuar con la construcción.

Algunas opiniones, con más o menos acierto se basan en criterios estructurales derivados de experiencias previas y del temor a los terremotos y movimientos horizontales de la estructura por ellos derivados, otras se apoyan en criterios estéticos "a palmos", pero los más interesantes para el asunto que nos trata son los de Bartolomé Gual, Arnaldo de Vallerias y Juan de Guinguamps.

El primer arquitecto, Bartolomé Gual, y según recoge Antonio Castro Villalba expone que "la nueva bóveda del segundo arco, últimamente hecha, debe deshacerse hasta las cerchas, y debe subir hasta que quepa allí una "O" de catorce palmos de hueco; y de este modo será una obra bella y notable"⁵¹.

El segundo, Arnaldo de Valleas, reza que *"la obra merece seguirse con tal de que la bóveda del segundo arco se deshaga hasta las cerchas, y que éstas también se deshagan, para que suba la obra por sus medidas, de modo que se pueda hacer sobre lo principal del primer arco una ventana redonda de veinte palmos de hueco, con lo que será muy buena y no se desfigurará"*.⁵² Lo que ambos autores fijan, más allá de los criterios puramente estructurales, son unas condiciones de proporción que deben regir los nuevos huecos a disponer sobre las naves, de catorce palmos y de veinte palmos, en lo que puede ser el primer reflejo escrito de la voluntad de "diseñar" los huecos que proporcionarán luz al templo.

El tercero, Juan de Guinguamps, justifica la conveniencia de continuar la iglesia con una nave *"porque si se continuase la obra con una nave, no habría deformidad o diferencia que chocase. Y aunque algunos puedan decir que siendo la obra de una nave se presentaría la cabeza baja y pequeña, más por esto no se sigue ninguna deformidad y la razón es que en el espacio que habrá en lo alto de la cabeza hasta la cúspide de la bóveda mayor, habrá tan grande espacio que se podrá hacer en él tres roscas: la primera y principal en el medio, y otra pequeña a cada costado; y estas tres roscas quitarán toda deformidad, darán gran luz a la iglesia y dejarán la obra con gran perfección"*⁵³. (Fig. 4.10).

⁵¹ CASTRO, Antonio, *"Historia de la construcción medieval. Aportaciones"* 1ª ed., Barcelona, edic. UPC, S.L. Quaderns d'arquitectes, 15, 1996, ISBN: 8483011735 ISBN-13: 9788483011737. p. 142.

⁵² CASTRO, Antonio, *"Historia de la construcción medieval. Aportaciones"* 1ª edición, Barcelona, ediciones UPC, S.L. Quaderns d'arquitectes, 15, 1996, ISBN: 8483011735 ISBN-13: 9788483011737. p.142

⁵³ CASTRO, Antonio, *"Historia de la construcción medieval. Aportaciones"* 1ª edición, Barcelona, ediciones UPC, S.L. Quaderns d'arquitectes, 15, 1996, ISBN: 8483011735 ISBN-13: 9788483011737. p.143



Fig. 4.10. Nave Principal de la catedral de Gerona hacia los pies de la Iglesia. Fotografía de Juan M. Medina tomada desde nivel de triforio, 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas.

Será, por tanto, este autor, el que fije más que ninguno de los otros 12 los criterios de medida basados no sólo en la proporción y estabilidad, sino también en la voluntad de aportar "gran luz a la iglesia", asimilando este concepto con el de dejar una obra "con gran perfección". (Fig. 4.11)



Fig. 4.11. Detalle rosetón de la catedral de Gerona. Fotografía de Juan M. Medina tomada desde nivel de triforio, 21 de marzo de 2012 a las 12.00 horas.

Otro ejemplo de cómo una toma de decisiones particular modelaría un templo gótico fue el caso de la construcción de la **iglesia de Castelló d'Empuries**, también llamada la

catedral del Ampurdán. Este curioso templo catalán se construyó, tal como describe José Luís González Moreno-Navarro del siguiente modo; "la sección de las dos primeras crujías (Fig. 4.14, 4.15 y 4.16), la proyectó el maestro de obras francés Raimon de Chartres hacia el año 1261. El ábside sin arbotantes se construyó poco después, sólo con contrafuertes, según una manera "a la catalana al igual que el resto de los pórticos posteriores (Fig. 4.12 y Fig. 4.13 y Fig.)"⁵⁴.



Fig. 4.12. Fachada principal de la Iglesia de Castelló d'empuries ("la catedral del ampurdán"). Fotografía de J.M. Medina

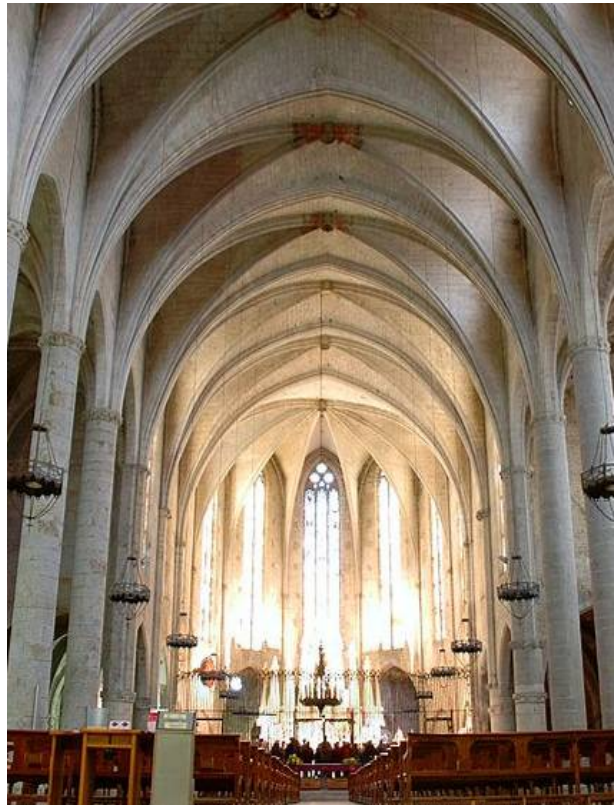


Fig. 4.13. Interior de la Iglesia de Castelló d'empuries ("la catedral del ampurdán"). Fotografía de www.wikipedia.com

⁵⁴ GONZÁLEZ M, José Luís, "El caso de los arbotantes de la cabecera de la iglesia gótica de Castelló d'empuries (la llamada catedral del Ampurdán)", publicada en Actas del quinto congreso nacional de historia de la construcción, Burgos, 7-9 Junio 2007, ISBN 978-84-7790-446-5, pp. 479-480.

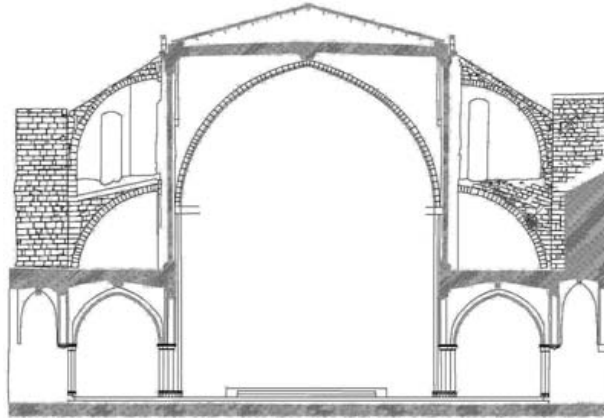


Fig. 4.14. Pórtico de la "catedral del Ampurdán" de estilo francés con arbotantes y grandes ventanas. (Tres primeras crujías).

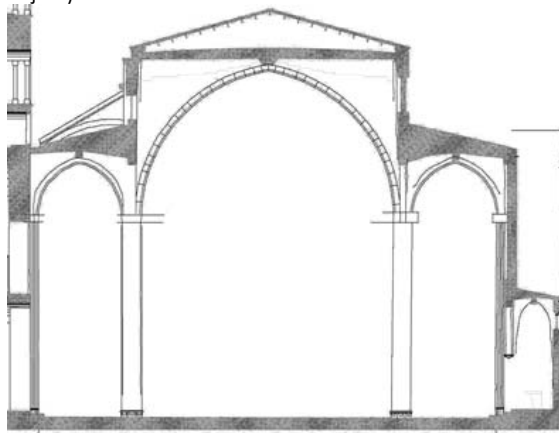


Fig. 4.15. Pórtico de la "catedral del Ampurdán" de estilo catalán con naves laterales altas sin arbotantes. (Resto de la nave principal).



Fig. 4.16. Interior de la Iglesia de Castelló d'empuries ("*la catedral del ampurdán*"). Donde se aprecian las dos primeras crujías "francesas" y las siguientes "a la catalana". Fotografía de www.wikipedia.com.

La razón por la que se cambió el "diseño" de pórticos de la estructura de unos de tipo "francés" con grandes aperturas de luz a otros del tipo "caja cerrada", se debe a que en

la misma época se estaba construyendo en la zona la iglesia de Santa María de la Aurora de Manresa y la de Santa María del Mar de Barcelona, por lo que la experiencia en este tipo de pórticos de tipo sísmico, tal como describe La profesora Cassinello en su Tesis doctoral⁵⁵ debió de pesar de manera definitiva en el cambio de estilo. Nos encontramos por tanto con un ejemplo evidente en el que la solidez estructural ha primado sobre otros aspectos estéticos, y por supuesto sobre el de la “entrada de la luz”.

Estos dos ejemplos, el de Gerona y el de Castelló démpuries, esbozan apenas unas pinceladas sobre algunas decisiones de proyecto, nos demuestran que la voluntad del proyectista medieval era, sin duda, la de dotar al templo de condiciones luminosas atractivas y constantes, pero que otros valores del diseño como la definición estructural sustentante eran, lógicamente, de igual o mayor relevancia. De este modo, parece obvio que el “éxito” del proyecto gótico se basaría sin duda en el equilibrio entre ambas premisas, no pudiendo entenderse la una sin la otra.

Poco más podemos rescatar de los escritos de época del gótico, que durante cuatro siglos produjo gran cantidad de edificios y casi nula documentación escrita, por lo que son de gran importancia los estudios constructivos de los manuscritos españoles del siglo XVI que se conservan y que incluyen reglas estructurales góticas y detalles de cantería:

Rodrigo Gil de Hontañón.

Martínez de Aranda (Cantería) y Hernán Ruiz (Geometría).

Vandelvira (Estereotomía).

Estos escritos forman parte de lo que denominaremos “corrientes actuales” y son el germen del análisis de la arquitectura gótica como hecho científico, que razonan, comprueban y justifican la estructura, la forma y la estabilidad de las catedrales, y por tanto su trazado y construcción.

Nos centraremos en el siguiente capítulo en aquellos autores que, además de estos análisis, hayan centrado su estudio en el comportamiento de la luz en el gótico de manera expresa, para de ese modo poder comparar las distintas corrientes y pensamientos que, como veremos más adelante, son más de tipo simbólico y metafísico que de tipo formal y científico. De este estudio partirá la base del desarrollo analítico de los siguientes capítulos.

⁵⁵ CASSINELLO, M.J.. “*Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica*” Tesis doctoral inédita. Madrid, 2003.

Por otra parte y en lo referente al legado que las fuentes de la época arrojan sobre el conocimiento de la luz gótica, cabe concluir que no pueden ser por sí mismo base de ningún análisis científico del fenómeno luminoso. Es por esta razón que tomaremos, como fuente de la época principal para el desarrollo de la tesis, la única que realmente puede arrojar “luz” sobre la cuestión: **La propia catedral.**

4.3 CORRIENTES HISTÓRICAS REFERIDAS AL TRAZADO Y ESTABILIDAD DEL GÓTICO

Es necesario, aunque sea a modo de apunte introductorio de las corrientes históricas referidas a la luz en el gótico, analizar cuales han sido las corrientes referidas al trazado y estabilidad, ya que el entendimiento de estas cualidades son definitivas para la comprensión de la distribución de los vanos en el interior de los muros góticos.

En lo referente a la estabilidad estructural de las catedrales góticas existen numerosos estudios empíricos. En el siglo XIX Viollet-Le-Duc, gracias a su trabajo como restaurador de catedrales francesas, escribió el *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI e au XVI e siècle*. Otros como Pol Abraham, Choisy, Sabouret, se adentraron en la estabilidad estructural a través de la recuperación de "formas y trazados", aportando los primeros teoremas energéticos del cálculo.

Más tarde, y ya adentrados en el siglo XX, se avanzó en el estudio de estas técnicas experimentales, que derivaron en métodos fotoelásticos y sus derivadas, como los aportados por Billington y Robert Mark.

Pero los estudios más recientes en lo que se refiere a estabilidad estructural los encontramos en los desarrollados por Jacques Heyman, basados en la aplicación del análisis límite y la teoría plástica y más recientemente, dentro del panorama español, las aplicaciones de Santiago Huerta a la forma y composición de las bóvedas y la profesora Cassinello, que introduce el factor de "material discontinuo" al método de elementos finitos, adaptando a la realidad de las fábricas pétreas góticas un método previsto para materiales homogéneos y continuos como es el hormigón.

El estudio del comportamiento estructural de las catedrales, tal como se puede comprobar, es extenso y todos los autores coinciden en asegurar que el gran avance estructural que permitió el traslado de cargas de manera lineal hasta la base del edificio fue la introducción de la bóveda cuatrimpartita gótica. Esta consiguió que la carga no se transmitiera verticalmente a lo largo de todo el muro sino a través de los elementos verticales de apoyo de las bóvedas: los pilares.

No se sabe a ciencia cierta de donde proviene la idea de las nuevas bóvedas, tal como se pregunta Titus Burckhardt “¿de donde provienen la idea y el saber técnico sin los cuales nadie se habría atrevido a construir bóvedas tan osadas? Viene de más lejos que el románico, del arte islámico”. Probablemente de las bóvedas del norte de África, y en su

formación más pura, en Persia. Se importa en tiempo de las cruzadas, cuando Jerusalem era, desde el año 1100, la capital de un reino franco y que la orden de los Templarios, fundada en 1118 con el patrocinio espiritual de San Bernardo de Claraval, reclutaba sus propios equipos de obreros de ambos lados del Mediterráneo”⁵⁶, pero el hecho fundamental es que, de este modo, el muro queda liberado de su función estructural directa, pudiendo practicar sobre el las aperturas necesarias para la introducción de la luz exterior, aunque quedando supeditado a algunos efectos estructurales secundarios como son los sismos, tal como veremos más adelante.

⁵⁶ BURCKHARDT, Titus, “*Chartres y el nacimiento de la Catedral*”, Ed: Medievalia, José J. de Olañeta, editor, Palma de Mallorca, 1999. ISBN: 84-7651-770-x. p. 109

4.4 CORRIENTES HISTÓRICAS REFERIDAS A LA LUZ EN EL GÓTICO

Muchos son los autores que han tratado el tema de la luz como elemento distinguido de la organización espacial. Desde **Hugo de San Víctor**: "*Quid luce pulchrius, quae cum colorem in se non habeat, rerum ipsa quodammodo illuminando colorat*", hasta **Santo Tomás de Aquino**, el cual atribuye a lo bello dos características principales: la consonancia de las partes, o proporción, y la luminosidad⁵⁷.

La luz será tratada en el *Paraíso* de **Dante**: "*la luz divina penetra el universo según su dignidad*" y por **Platón**, cuando en su sexto libro de la *República* se define lo bueno como causa del conocimiento, así como del ser y de la esencia, y se compara luego con la luz del sol, que es "*no solo lo que crea la visibilidad en todas las cosas visibles, sino también su generación, nutrición y crecimiento.*"

Más tarde fueron **San Agustín**, con su teoría de que la percepción intelectual es el resultado de una acción iluminadora en la que el intelecto divino ilustra a la mente humana. Con mayor fuerza, el padre de la filosofía cristiana, establece la creencia de que la luz es el primer principio tanto de la metafísica como de la epistemología, este será el místico oriental Dionisio, llamado el **Pseudo-Areopagita**.

Este último pensador fue, como vimos anteriormente, uno de los grandes influyentes del pensamiento del **Abad Suger**, primer "impulsor" del gótico luminoso, y que, entre sus teorías abogaba por fundir la filosofía neoplatónica con la espléndida teología de la luz del Evangelio de san Juan, en el que el Logos divino se concibe como "*la Luz verdadera que brilla en las tinieblas, por cuya acción fueron hechas todas las cosas, y que ilumina a todos los hombres que vienen a este mundo*". Para Suger el mundo se ha creado por la luz, y sin ella, este desaparecería y desvanecería en la nada. Todas las cosas creadas son luces y se manifiestan gracias a ella.

Autores mucho más actuales como **Panofsky**, justifican como la arquitectura gótica y el pensamiento escolástico coincide en el tiempo, esto arroja un modelo de arquitecto que "*vivía sin duda en estrecha relación con los escultores, los maestros vidrieros, los tallistas y otros quienes estudiaban las obras allí por donde pasaba, tal como testimonió Villard de*

⁵⁷TOMAS DE AQUINO, "*Summa Theologiae*", I, 39. en "*Medieval Aesthetics*" de Coomaraswamy, A.K. 1935

*Honnecourt. El arquitecto los contrataba y controlaba en sus propias obras artísticas al tiempo que les trasmitía el programa iconográfico que el no podía realizar*⁵⁸.

Según Panofsky, Este arquitecto que influía en el orden global de la obra y en cada uno de sus apartados respondía en su filosofía a un tipo de pensamiento escolástico que les hacía pensar de manera más ordenada y más lógica, y sobre todo, que se sentían obligados a hacer palpables y explícitos el orden y la lógica de su pensamiento. Este "Principio de clarificación" obligaba a los escolásticos *"no sólo a explicitar completamente aquello que, a pesar de ser necesario, habría podido permanecer implícito, sino también, en determinadas ocasiones, a introducir algo que no es en absoluto necesario"*⁵⁹ en una suerte de pasión por la "clarificación".

Organizando el orden de cada cosa y clarificando los conceptos, se estratifican los conceptos de la catedral en función de su jerarquía y, tal como describen **Félix Escrig Pallarés** y **Juan Pérez Valcárcel** *"la Catedral no es la casa de Dios, es la casa del obispo y de su corte de prelados, intelectuales y segundones de la corte. Dios está arriba, pero abajo están los hombres. Sólo las partes altas y los ábsides está realmente dominadas por la luz, el resto es tan oscuro como todas las iglesias románicas"*⁶⁰.

Si en todas las artes está presente la escolástica, es sin duda, como explica Panofsky *"en la arquitectura, donde el principio de clarificación ha triunfado más rotundamente. Del mismo modo que la escolástica clásica está dominada por el principio de manifestatio, también la arquitectura gótica clásica se ve dominada, como ya ha observado Suger, por lo que puede denominarse el -principio de transparencia."*⁶¹

En este estadio de pensamiento se puede asimilar que el arquitecto director de las obras de construcción en su más amplio sentido de la palabra "explicitará" todo aquello que quiera reflejar con su arquitectura, y por tanto, así lo hará con la expresividad que la luz de su catedral va a desplegar, en su cantidad y calidad.

Más recientemente, y en torno a la idea de la luz como generadora de forma, la profesora **Cassinello** observa que, *"La catedral gótica nació como resultado de la búsqueda de la luz. Es sabido que los maestros medievales querían hacer penetrar la luz en el espacio*

⁵⁸ PANOFSKY, Erwin, "Arquitectura gótica y pensamiento escolástico.", p. 37.

⁵⁹ PANOFSKY, Erwin, "Arquitectura gótica y pensamiento escolástico.", p. 45.

⁶⁰ ESCRIG PALLARES, Félix y PÉREZ VALCARCEL, Juan. "La modernidad del Gótico. Seis puntos de vista sobre la arquitectura medieval." p. 73 y 74.

⁶¹ PANOFSKY, Erwin, "Arquitectura gótica y pensamiento escolástico.", p. 50.

arquitectónico del templo.- El templo tenía que aprender a hablar".⁶² Pero entonces se pregunta: "*pero si este era su objetivo, y al parecer lo fue, ¿por qué existen en España tantas catedrales góticas oscuras, tantas cajas casi cerradas, tantos grandiosos templos mudos*".⁶³

La razón que expondrá al respecto y que luego analizaremos en profundidad es la de que algunas de estas catedrales basan su diseño estructural en soportar los movimientos horizontales (sismos), como ya hemos explicado al hablar de los arbotantes de la catedral del Ampurdán. Por tanto parece de especial importancia e interés el estudio de estas "catedrales sísmicas", estos templos que, obligados por sus condicionantes estructurales han visto mermadas sus cualidades "lumínicas".

Multitud de autores han tratado de describir la luz gótica a lo largo de los siglos XVII al XXI, pero queremos, en este momento del estudio, detenernos en los autores que más han profundizado sobre este hecho: **Otto Von Simson, Hans Jantzen, Robert Mark** y ya dentro del panorama nacional con **Víctor Nieto Alcaide**.

⁶² CASSINELLO, M.J., "Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas", artículo publicado en la revista Annali di architettura, nº17/2005. p.11 y 12.

⁶³ CASSINELLO, M.J., "Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas", artículo publicado en la revista Annali di architettura, nº17/2005. p.11 y 12.

4.4.1 OTTO VON SIMSON

Este historiador alemán de mediados del siglo XIX, desarrolló su actividad intelectual más fructífera durante los años en los que fue profesor de la Universidad de Chicago (1945-1957) y fue uno de los que trató de definir los conceptos que regían la luz gótica como elemento fundamental de la arquitectura gótica.

Como para Víctor Nieto, y tal como describíamos en el capítulo del paso de la luz del románico al gótico, la arquitectura gótica para Otto Von Simson, es tratada como una imagen o representación de una realidad sobrenatural. Para ello, los que proyectaban catedrales hacían uso de un aspecto nuevo, la utilización de la luz para dotar al espacio interior de una función simbólica que eclipsaba a todos los demás aspectos de la arquitectura, aspecto que hoy en día es el más difícil de comprender. Para nosotros, el símbolo es una imagen que confiere significado poético a la realidad física. Para el hombre medieval, el mundo físico, tal y como nosotros lo entendemos no tiene realidad excepto como símbolo. Simson alude a la definición de Máximo, el Confesor, por la que se define la "visión simbólica" como la capacidad de aprehender, en el interior de los objetos de la percepción sensorial, la realidad invisible de lo inteligible, realidad que se halla situada más allá de ellos.

Por este entendimiento simbólico, y aferrados a esa "verdad única" el artista medieval se hallaba comprometido con una verdad que trascendía la existencia humana y a la que se sentía atado, mientras que el artista contemporáneo es libre para crear, solamente le pedimos que sea sincero consigo mismo. Este simbolismo, finalmente, transformará la visión gótica en forma arquitectónica. El arquitecto gótico consigue con el simbolismo y trazando según las leyes de la proporción armónica, no sólo una imitación del mundo visible, sino que transmitía también, en la medida en que le es posible al hombre, una indicación de la perfección del mundo venidero.

En lo referente a la forma gótica, Simson define dos conceptos fundamentales para el entendimiento del gótico en general y de la utilización de su iluminación en particular: *"Hay dos aspectos de la arquitectura gótica, sin embargo, que carecen de precedente y de paralelo: la utilización de la luz y una relación original entre la estructura y la apariencia"*. Y más concretamente, hablando de la luz dice *"Por la utilización de la luz entiendo más específicamente su relación con la sustancia material de los muros, donde el*

muro da la impresión de que fuera poroso: la luz se filtra a través de él, penetrándolo, fundiéndose con él, transfigurándolo”⁶⁴. (Fig. 4.17)

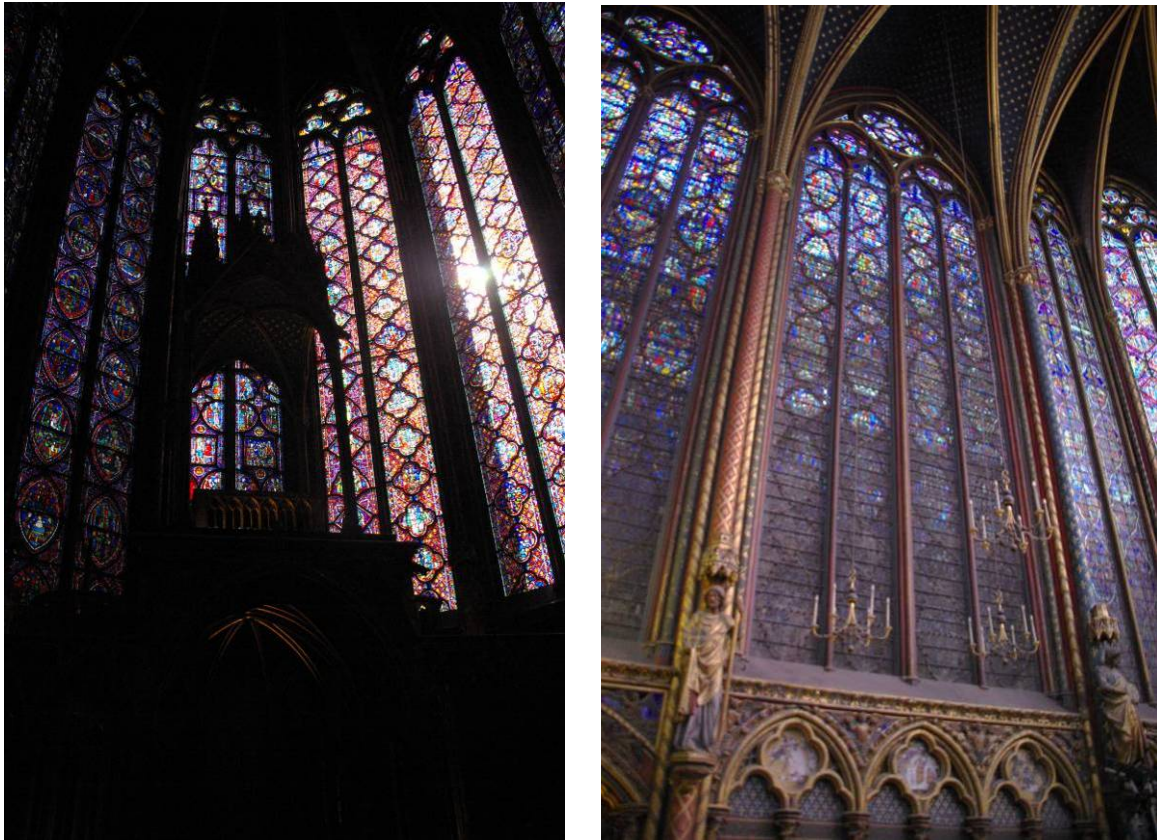


Fig. 4.17. Muro transformado en vidrio. Vidrieras de la Sainte Chapelle de París. Fotografía: Juan M. Medina

Aparecen en este autor, por primera vez, los conceptos que luego se repetirán en muchos otros autores, como son los de la “porosidad” de los muros y la “transfiguración” de los espacios interiores por culpa de la luz. Ahondando en este concepto de transfiguración, el autor describe los espacios góticos como “no especialmente luminosos”, lo cual es radicalmente cierto, pero se equivoca al aventurar que “si lo son mucho más que sus antecedentes románicos”⁶⁵.

Estos extremos ya han sido demostrados convenientemente en el capítulo del “paso del románico al gótico” del presente estudio, donde se puede comprobar que los espacios románicos si son más luminosos en el sentido estricto de cantidad de luz, que los posteriores góticos.

⁶⁴ SIMSON, Otto Von, “La catedral gótica”. 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.25

⁶⁵ SIMSON, Otto Von, “La catedral gótica”. 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.25

Coincidente con Grodecki, que aseguraba que *"las vidrieras se hacen más sombrías a la vez que aumentan de superficie"*⁶⁶, describe la utilización de los vanos en el espacio gótico no como la de elementos diseñados para dejar pasar la luz sino para manipularla a través de muros "transparentes" pero oscuros.

Simson define la luz gótica como principio activo de la materia y no como elemento ocultado por esta, determinando que la realidad material del conjunto arquitectónico sólo es estéticamente real en la medida en que comparte la luminosidad de la luz y es definida por ella. Ningún segmento del espacio interior de la catedral podía permanecer en la oscuridad, sin ser definido por la luz.

También destaca el autor, la diferencia compositiva en lo referente a los vanos, estudiando incluso en el juego de los detalles compositivos donde, el románico utiliza el hueco de la ventana como un *"vano rodeado de un marco pesado y sólido"* mientras que en la ventana gótica, *"los elementos de tracería flotan, por así decirlo, en la superficie luminosa de la ventana, articulándose dramáticamente su dibujo por obra de la luz"*.⁶⁷

Para Simson, las impresiones que tenían los medievales y nosotros sobre la arquitectura gótica coinciden aunque para los primeros, el origen de la belleza de la luz y su utilización tenía su origen en una visión del mundo muy alejada de la que tenemos en la actualidad. Para el pensador medieval, la belleza no era un valor independiente de los demás sino más bien el resplandor de la verdad enfocada a la espiritualidad y al hecho de que todas las cosas tienen su origen en Dios. Según la metafísica platonizante de la Edad Media *"la luz es el más noble de los fenómenos naturales, el menos material, el que más se acerca a la forma pura. La luz es, además, el principio creativo de todas las cosas"*⁶⁸, y el hecho más significativo que ratifica este pensamiento es la pregunta de San Buenaventura: *"¿no empiezan a brillar los metales y las piedras preciosas cuando los limpiamos, no se sacan de arena y ceniza transparentes cristales para las ventanas, no se enciende fuego partiendo del negro carbón, y no es esta cualidad luminosa de las cosas una prueba de la existencia de la luz en ellas?"*⁶⁹. Por ello para los pensadores medievales, la luz es el principio del orden y del valor, el valor de cada cosa se medirá en función del grado en que participa de la luz, y el de cada espacio, en función de cómo la luz lo modela.

⁶⁶ GRODECKI, Louis, "Le vitrail et l'architecture au XIIe et au XIIIe siècles", Gazette des beaux-arts, Paris, 1949, II, p. 5-24. OCLC. 25759067

⁶⁷ SIMSON, Otto Von, "La catedral gótica". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.26

⁶⁸ SIMSON, Otto Von, "La catedral gótica". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.71

⁶⁹ GILSON, "La philosophie de Saint Bonaventure", Paris 1924, Pp 263 y ss.

Todo el simbolismo de la luz medieval, tomado desde su versión analógica, en la que, según los escritores medievales, solo podremos comprender un trozo de madera o una piedra cuando percibimos a Dios en ellos nos resulta totalmente cerrado para nuestro entendimiento. Para nosotros, la luz del sol que se filtra a través de los muros transparentes de una catedral gótica y tal como explica Simson “*es, o bien un fenómeno físico que como tal ha de explicarse en términos de la física, o bien un fenómeno estético que puede despertar en nosotros una reflexión religiosa o puede no hacerlo*”⁷⁰, estos dos niveles no tienen nada que ver el uno con el otro y aunque sabemos que para el hombre medieval ambos conceptos “*se unían*”, de manera inseparable y “*anagógica*”, nosotros tenemos que saber interpretar su lenguaje tal como nos ha sido legado y en el idioma actual, el de nuestra sensibilidad como espectador, como hecho físico y como fenómeno estético de inusitada relevancia.

El autor demuestra cómo los religiosos medievales usaban la luz como elemento simbólico del poder de Dios utilizando la ubicación de eventos litúrgicos de importancia en torno a fechas del año de iluminación extrema. Así, la festividad de la Encarnación, momento en que la “luz divina transfigura las tinieblas de la materia”, fue ubicada en el solsticio de invierno, cuando la iluminación controlada y baja del exterior, evocaba sin duda la transformación de la oscuridad a la claridad. **La luz.**

⁷⁰ SIMSON, Otto Von, “*La catedral gótica*”. 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.74

4.4.2 HANS JANTZEN .

Este historiador alemán de mediados del siglo XIX, desarrolló su actividad intelectual más importante en el estudio del gótico y sus características estéticas, formales y de composición. Su famoso libro "la arquitectura gótica" ha sido manual de iniciación de todos los estudiosos de la arquitectura medieval.

El autor dedica un apartado de su estudio, como no podía ser de otra manera, al entendimiento y definición de los valores de la iluminación.

Observamos como, al igual que el resto de estudiosos reflejados, considera un error juzgar las aberturas medievales según la *cantidad* de luz a la que dan paso hacia el interior ya que la auténtica diferencia existente no se obtiene del grado de claridad, sino de la luz que, "*como potencia del culto, puede provocar un efecto tan arrebatador como las mismas formas arquitectónicas.*" ⁷¹.

Establece que las iglesias románicas son oscuras bajo sus bóvedas de cañón, en contraposición con las iglesias góticas colmadas de luz coloreada. El ámbito luminoso gótico está, según el en franca oposición con la lobreguez de cripta del estilo románico. Aunque el autor se refiere a la luz coloreada, habría que discrepar sobre su interpretación sobre el "*ámbito luminoso gótico*" ya que, como ya hemos visto y demostrado en la comparativa entre San Pere de Galligants y la catedral de Gerona, aún cuando los vanos románicos son mucho más pequeños, la utilización de la luz natural como vehículo de iluminación del espacio interior, hace que, en términos globales, los espacios románicos estén más iluminados (en lo que a cantidad de luxes se refiere) que los góticos.

Sin embargo si que es acertada su aseveración sobre que los espacios renacentistas, estableciendo sobre ellos una especie de supremacía de iluminación sobre los góticos en lo que a iluminación natural se refiere.

Lo más interesante de su mandato es el establecimiento de la necesidad de un análisis de los "**estilos de luz**"⁷² gótica, al igual que distinguimos estilos de arquitectura. Guante que recoge la presente tesis y verdadero motor de la misma. La ausencia de análisis de este

⁷¹ JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 76

⁷² JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

tipo es plausible a lo largo de las iglesias de occidente, lo que genera un intenso vacío sobre el conocimiento de uno de los valores singulares más importantes del gótico, su luz.

En lo referente a la forma, el autor también establece, de manera intuitiva, que es distinto el efecto de una iglesia con tres naves de igual altura, en la que entra la luz por las paredes exteriores de las naves laterales de la de un ámbito de corte basilical, donde la luz se acumula en la nave central y luego vuelve a penetrar con fuerza por los altos ventanales del ábside⁷³, poniendo de manifiesto lo importante de la configuración volumétrica en lo referente al entendimiento de la luz gótica, valores que tendremos en cuenta de manera muy pormenorizada en el capítulo de los indicadores.

Estudioso de Schöne y seguidor de sus estudios, Jantzen aboga por un análisis algo más profundo de la luz gótica del que hasta la fecha se había realizado. Sin restar importancia a la concepción metafísica de la luz, ni a la teología de la que deriva, propia del mismo San Agustín, interpreta que es necesario profundizar en el problema de *“en qué medida la metafísica medieval de la luz puede ayudarnos a captar el sentido de la luz físicamente corporizada en los cuadros medievales”*⁷⁴.

Vuelve por tanto, el autor, a encomendar otro mandato, otra intención a ser continuada en el futuro, pero que no define ni estudia personalmente de manera efectiva. Razona y expone la necesidad del estudio del concepto de luz “física” contra la ya muy estudiada luz “metafísica”, pero sin decir cómo ni abordarlo de manera alguna, sino que se mantiene en todo momento en el ámbito de los estudios simbólicos precedentes y posteriores.

La luz es un factor influyente en la arquitectura gótica, pero de manera diferente a la que nosotros la experimentamos. El hombre gótico, tal como se ha descrito con anterioridad, entiende el fenómeno luminoso alejado de la esfera de los sentidos, de manera puramente espiritual y contribuye a aproximar a la imaginación religiosa la esencia inasible de Dios. La luz abarca realidades ópticas y espirituales sin disociación, unidas en una misma cosa, por eso, al igual que en la pintura gótica no existe la “sombra”, diluida en la luz directa que aleja la figura reflejada de su realidad terrenal, en el espacio gótico se reproduce el mismo ambiente.

⁷³ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77.

⁷⁴ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77.

Pero de nuevo, Jantzen, da un paso más en su estudio sobre la luz gótica. De nuevo detecta un problema que existe en la manipulación que la luz gótica ha sufrido a lo largo del tiempo, así y hablando de la luz gótica, destaca que *“más sólo rara vez, lamentablemente, ha llegado hasta nosotros la **luz gótica en toda su pureza**, pues la mayoría de las iglesias fueron despojadas del adorno de sus ventanas, o bien sólo conservaron fragmentos de sus primitivos vitrales”*⁷⁵. Esta reflexión nos llevará a crear un nuevo capítulo de la tesis, un capítulo fundamental a la hora de interpretar lo que queda de la luz gótica y su posible restitución, el del *“Análisis de la situación actual de la luz en las muestras estudiadas”*, en el que evaluaremos que ha ocurrido con la escenografía gótica a lo largo de los siglos posteriores a su construcción.

Por último, y en lo referente al color, también establece como capital el estudio de la luz gótica en su concepción inicial, considerando que *“ya no nos puede resultar indiferente que sea la luz del siglo XIV o XV la que llene un ámbito del siglo XIII, porque la luz gótica también cambia el estilo según el carácter del color.”*⁷⁶ La importancia que el color dio a la arquitectura gótica espacialmente hablando era básica, y su transfiguración la clave de su entendimiento, como también se determinará en el capítulo de estudio de *“el color”* de la presente tesis.

Existen en Europa pocas catedrales que aún conserven su espíritu gótico inicial. Tal como describe Jantzen, *“aquel que quiera apreciar la luz de la catedral gótica en toda su prístina imponentia, la del siglo XIII, tendrá que visitar en primer lugar la catedral de Chartres, el único caso en que una catedral del alto gótico, considerada en conjunto, ha conservado casi intacta (con la excepción de unas pocas ventanas) la luz de la época en que se construyó. Además de Chartres también podrían mencionarse los coros de Beauvais, Le Mans, Bourges.”*⁷⁷. Estos ejemplos muestran, en primer lugar, y tal como también describe Nieto Alcaide, que la luz no es “natural”, y en segundo lugar, que, en relación con la potencia arrebatadora de la arquitectura, la luz “no natural” impresiona como luz “sobrenatural”.

El gótico es un estilo que colma sus espacios de colores oscuros, entre el rojizo y el violáceo, siempre difícil de describir en esencia a causa de que, además, no surge de una sola

⁷⁵ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

⁷⁶ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

⁷⁷ JANTZEN, Hans, *“La arquitectura gótica”*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

fuente y varía en su grado de claridad de acuerdo con las variaciones de la atmósfera exterior⁷⁸.

Además, cabe destacar que, en la entrada de luz gótica se produce el efecto de fuente múltiple de admisión de luz y que esta varía en su grado de claridad de acuerdo con las variaciones de la atmósfera exterior: los colores ascienden, decrecen y, en la hora de la puesta de sol, se encienden en rojos llameantes. La ventana no sólo transmite la luz sino que se capta como una propia fuente de luz, tal como describía Jantzen y también Schöene.

Por eso cuando encontramos arquitectura gótica despojada de su color, cuando se observan imágenes de una catedral gótica sin sus vitrales de colores, invadida de luz "natural" (Fig. 4.18, Fig. 4.19, Fig. 4.20 y Fig. 4.21) la arquitectura queda profundamente descompuesta, el espacio queda modificado y definitivamente relegado a la categoría de "volumetría elegante", pero sin alma.

⁷⁸ JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77



Fig. 4.18. Catedral de Colonia tras el bombardeo aliado de la II Guerra Mundial. Revista LIFE.



Fig. 4.19. Catedral de Colonia tras el bombardeo aliado de la Segunda Guerra Mundial. Revista LIFE



Fig. 4.20. Nave principal de la catedral de Colonia en la actualidad. Vista del ábside iluminado con luz "natural".



Fig. 4.21. Claristorio de la nave principal de la catedral de Colonia en la actualidad. Vitrales con vidrios transparentes.

El color es, en definitiva, fuente fundamental de la corporeidad gótica; atenúa la corporeidad de la plasticidad de la estructura arquitectónica, haciendo al espectador buscar, entre sus filamentos, su lógica sustentante, liberando al muro de su función y convirtiéndolo en muro con luz propia y como dice Jantzen *"con la luz coloreada del siglo XIII, como parte integrante de los límites espaciales, se completa el hechizo de la arquitectura, con su poder para arrancarnos por completo del mundo cotidiano y para elevarnos muy por encima de él, en medio de las sensaciones provocadas por semejante estructura."*

Cabe concluir, para resumir el estudio de este importante estudioso del gótico, que quedan tres "mandatos" de investigación por continuar:

1. Es necesario el análisis de los **"estilos de luz"**⁷⁹ gótica.
2. Debemos estudiar el sentido de la **"luz físicamente corporizada"**.
3. La luz gótica a estudiar deberá ser **"en toda su pureza"**, con su color y filtrado original.

⁷⁹ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

4.4.3 VÍCTOR NIETO ALCAIDE .

Tratamos en este capítulo de extraer la aportación de este autor español, de gran experiencia en el estudio del estilo gótico en lo referente, de manera específica, a su aportación al entendimiento de la luz.

Víctor Nieto Alcaide ha desarrollado a lo largo de su vida profesional un estudio pormenorizado de la vidriera gótica, de su programa iconográfico y, lo que es más interesante, de sus consecuencias escenográficas sobre el espacio gótico. Para el autor, y tal como referíamos en el capítulo dedicado al “paso de la luz del románico al renacimiento”, pasando por el gótico, las diferencias existentes entre las ventanas románicas y las postreras góticas, no radican exclusivamente en un problema de dimensión, no son estrictamente producto de aprovechar un avance de tipo estructural que permitía hacer “desvanecer” muros completos que otrora eran estructurales, sino que residen en una diferencia de “*funciones*”⁸⁰.

Alineado con las teorías de Grodecki,⁸¹ son otros imperativos funcionales los que exigen este aumento de ventanaje, si explicáramos la evolución sufrida en el cambio de estilo como un sencillo aumento de dimensión de vanos, esto debería traducirse en un aumento exponencial de la iluminación natural del interior de los templos góticos con respecto a los románicos y la realidad es que el resultado es todo lo contrario, tal como demostramos en el capítulo introductorio con las pruebas empíricas realizadas sobre las iglesias de San Pere de Galligants (románica) y la catedral de Gerona (gótica).

La entrada de luz se realiza mediante una transformación radical de las relaciones entre vano y muro y esto favorece un “sistema de iluminación” de carácter simbólico, completamente inédito. Este “sistema visual”, descrito por Nieto, utiliza el vano, que se ha convertido en un paramento traslúcido y de color, como elemento transformador de la luz que penetra en el interior. Desaparece por tanto el “foco de luz”, haciendo que el nuevo vano lo ilumine todo, lo cierre todo, no será nunca más utilizada la luz aplicada y dirigida sino la escenografía global pura que llena el espacio interior de magia y color.

⁸⁰ NIETO, Víctor, “*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*”, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 22

⁸¹ GRODEKI, L., “*Le Vitrail et l'architecture au XII et XIII siècle*”, Gazette des Beaux Arts, Paris, 1949, p. 7

En esta escenografía, los muros traslúcidos generan una idea espacial "coloreada". En esto difiere de la apreciación de Jantzen,⁸² que posteriormente retoma y asume más tarde Simson⁸³ en la que definen la arquitectura gótica como una "arquitectura diáfana"⁸⁴. En el espacio gótico se cumple el "principio de transparencia"⁸⁵ de Panofsky pero el espacio interior, pero habría que matizar la diafanidad de Jantzen y de Simson, se ya que no se trata de espacios transparentes, sino traslúcidos y la idea espacial, más que diáfana es **coloreada, cambiante y oscura**, por lo que sería más adecuado, y esta es la aportación fundamental del autor, tratar "*la textura material del edificio gótico clásico hablando de arquitectura traslúcida y en lo espacial, de iluminación no-natural, coloreada y simbólica*".⁸⁶ (Fig. 4.22 y Fig. 4.23)

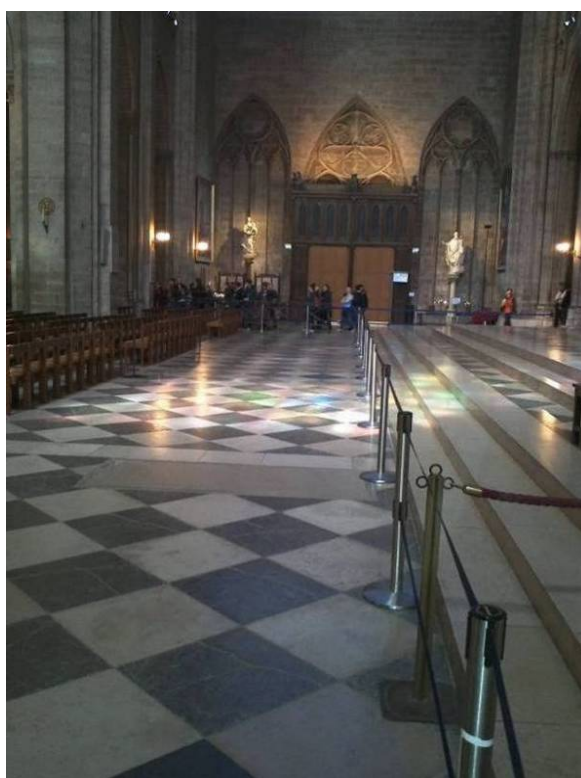
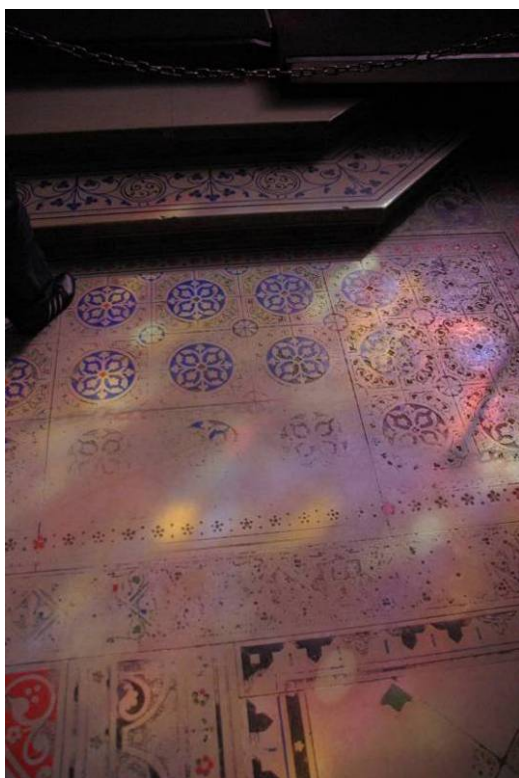


Fig. 4.22 y Fig. 4.23. Juegos de color sobre el pavimento de la Sainte Chapelle y Notre Dame de París. Marzo de 2012. Fotografía: Juan M. Medina.

⁸² JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 82

⁸³ SIMSON, Otto Von, "*The Gothic Cathedral: Origins of Gothic Architecture and the Medieval Concept of Order*". ED: Textbook Publishers, 2003. ISBN: 0758166958, 9780758166951. p. 4

⁸⁴ NIETO, Víctor, "*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*", 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 24

⁸⁵ PANOFSKY, Erwin, "*El Abad Suger. Sobre la abadía de Saint-Denis y sus tesoros artísticos*", 1ª Edición revisada por Panofsky-Soergel, Gerda, ediciones Cátedra (Grupo Anaya, S.A.), 2004, Madrid. Título original de la obra: "*Abbot Suger. On the abey church of St.-Denis and its art treasures*" ISBN: 84-376-2179-8. p. 89 y ss.

⁸⁶ NIETO, Víctor, "*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*", 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 24

La gran diferencia y aportación del autor sobre las teorías previas es la matización sobre la excelsa iluminación gótica. Su composición se convierte en fantástica por sus matices, por sus colores y su escenografía, no por su cantidad. La arquitectura gótica es una arquitectura *oscura* (Fig. 4.24), cromáticamente matizada. Ciertamente es que existe un gran telón de vidrio que separa el interior del exterior, pero existe hasta detrás de los triforios clásicos del gótico, donde apenas aporta iluminación en el interior. Lo que ciertamente consigue este telón de vidrio es transformar la atmósfera, colorearla, cambiarla y convertirla en una atmósfera *no-natural*.

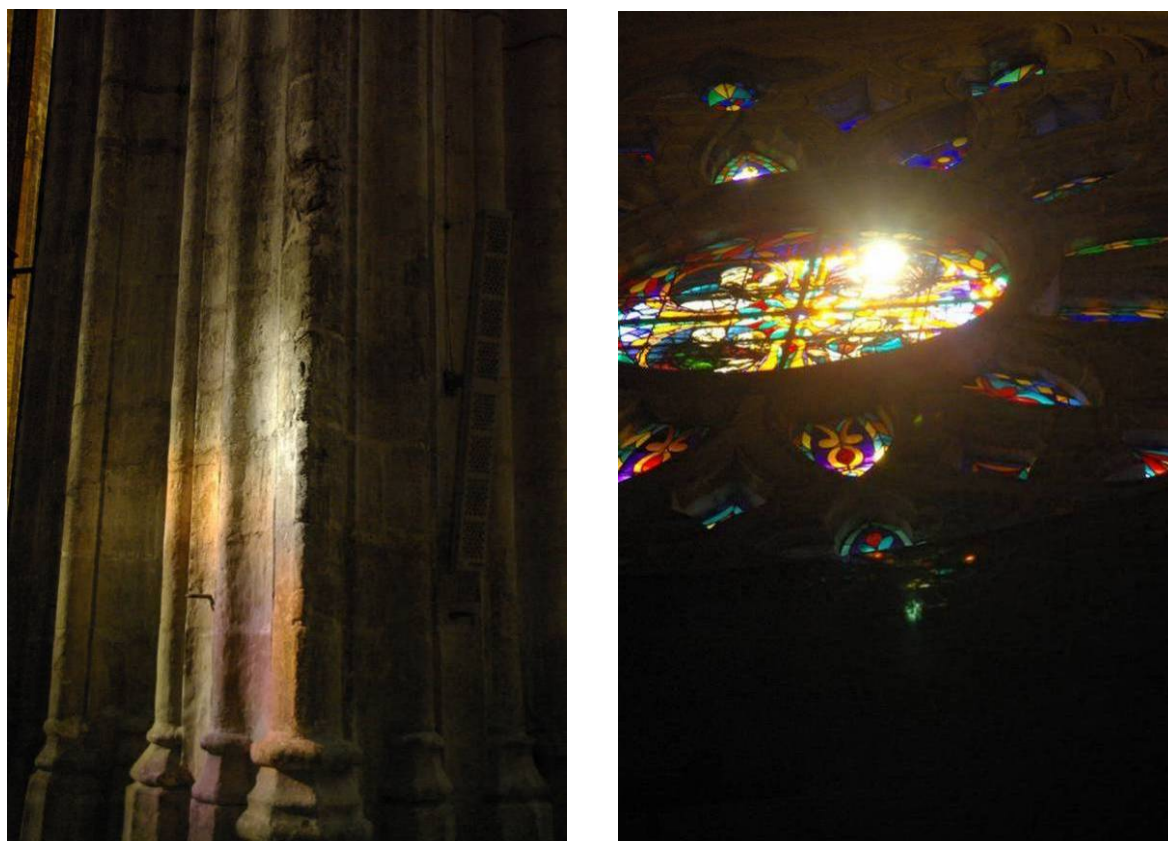


Fig. 4.24. Matices de color sobre la piedra y el vidrio. Catedral de Sevilla. Agosto de 2011. Fotografía: Juan M. Medina.

Es interesante, en este aspecto, observar la relación de las vidrieras del gótico clásico, las del siglo XII con respecto a las posteriores del siglo XIII, en las primeras, más cercanas al estilo anterior permitían un mayor paso de la luz, teniendo sus vidrios menor densidad de color, siendo más “luminosas”⁸⁷ que las que se aplican a los grandes conjuntos góticos del siglo XIII.⁸⁸

⁸⁷ NIETO, Víctor, “La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento”, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 26

⁸⁸ GRODEKI, L., “Le Vitrail et l’architecture au XII et XIII siècle”, Gazette des Beaux Arts, Paris, 1949, p. 8 y 9.

En la misma línea apunta Bruyne que será en el siglo XIII cuando se conceda una considerable importancia a todo lo que es claridad, luz y esplendor.⁸⁹

El nuevo significado gótico, por tanto, se articula en torno a dos conceptos fundamentales; en primer lugar tenemos los avances técnicos, que con un corolario de soluciones evolucionadas consigue articular nuevas posibilidades de programa, los avances estructurales, el profundo conocimiento de la estereotomía de la piedra y la habilidad de traza de los arquitectos medievales llevan el espacio interior a sus máximas "dimensiones". Pero por otro lado el programa ideológico a instaurar en el estilo, se basa en una fuerte componente religiosa, que establece el simbolismo como fuente de inspiración.

Por tanto iluminación sí, pero simbólica. Avances técnicos y "desvanecimiento del muro" van unido, pero también van unidos al control y matización de la luz introducida en el interior, de su intensidad y direccionalidad, y esto se consigue gracias, obviamente, al sublime control sobre la vidriera gótica.

Las nuevas funciones que asume la vidriera en el contexto significativo de la catedral determinan una relación inédita entre el simbolismo de la luz y el valor de la iconografía.

La prueba, describe el autor, de que el conjunto de soluciones constructivas góticas no pueden definirse como el estilo propiamente dicho sin contar con el simbolismo de la luz, es que los intentos realizados en la arquitectura cisterciense, que cuentan con arcos apuntados, bóvedas de crucerías y arbotantes góticos, no resisten la definición de arquitectura gótica. Estos elementos, de por sí, no definen un sistema arquitectónico completo, son tan sólo sus componentes, pero que no se "activan" no se convierten en arquitectura gótica, hasta que la luz coloreada y su valor simbólico intervienen y ponen el espacio gótico en valor.

El espacio gótico consigue, con la desmaterialización del muro, dos efectos adicionales. Por un lado la desvinculación del interior con el exterior mediante la interposición de vidrieras con programas coloreados que evitan que entre ambos espacios se produzca conexión alguna, desvinculando por tanto el entorno material de la ciudad y de la vida que rodea la catedral del espacio de culto. En segundo lugar logra hacer "levitar" el programa de testimonio religioso al provocar que este se represente en la propia vidriera que, una vez atravesada por la luz solar, queda suspendida e iluminada sobre el muro, sin

⁸⁹ BRUYNE, "*Estudios de estética medieval*", Editorial Gredos, Madrid, 1958, tres volúmenes. P.15

referencia al soporte material que la produce y en contraposición con el y que permite al espectador leer un programa que hoy definiríamos como "retroiluminado" a muchos metros de altura.

El simbolismo luminoso; ese "engaño" a la razón de la luz con la introducción de la iluminación "no-natural", es un argumento que se repitió en el resto de conceptos arquitectónicos. El espacio gótico pretendido por los maestros medievales trata de lograr una "*ingravedez*"⁹⁰, en contraposición con el tópico extendido de que la arquitectura gótica tan sólo busca la elevación de su espacio. Se constata que la arquitectura gótica busca que desaparezcan las leyes físicas en que se ordenan y distribuyen los elementos arquitectónicos, creando espacios que nunca acaban, que se extienden hasta el infinito, y todo esto habría sido imposible sin la aplicación del sistema visual descrito. Este sistema articula los medios arquitectónicos dentro de una normativa óptica de ficción que altera su apariencia y omite la evidencia de sus funciones.

La realidad gótica, por tanto, obtiene una categoría para Nieto "muy poco arquitectónica"⁹¹, que no responde con exactitud a las leyes de construcción sino a otros valores inasibles, enfrentándose a un conocimiento constructivo y de materiales limitado, teniendo la piedra como material exclusivo de conformación de espacios, tenían que crear espacios "no espacios", lugares transfigurados, no arquitectónicos, y todo ello lo consiguieron a través del consabido sistema visual.

Para Nieto, en la búsqueda de esta especialidad singular como el máximo anhelo del maestro gótico, que busca que el espacio "no natural" sea único y unitario bajo el envoltorio de la luz transfigurada, un edificio destaca sobre el resto, La Sainte Chapelle de París, que por su carácter de edificio de una sola nave, desarrolla al máximo esta idea de unidad espacial al tiempo que lleva a sus límites las posibilidades del sistema arquitectónico, y que como dice Grodekí "*En ningún sitio, antes o después, la vidriera ha desempeñado un papel semejante en una composición arquitectónica, concebida en función del efecto coloreado y luminoso, donde se unen todos los temas maravillosos del simbolismo de la luz*"⁹². El muro ha desaparecido por completo en el sentido arquitectónico

⁹⁰ JANTZEN, Hans, "*La arquitectura gótica*", 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 81

⁹¹ NIETO, Víctor, "*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*", 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 32

⁹² GRODEKÍ, L., "*Fontions spirituelles, en Le vitrail français*", Paris, 1958, p. 45.

y se ha convertido en un paramento de vidrio pleno de color. “*La idea de límite*”⁹³, no como marco y cierre de un espacio, sino como materia impenetrable, ha sido omitida completamente. (Fig. 4.25)



Fig. 4.25 Sainte Chapelle de París. Fotografía: Juan M. Medina.

Siguiendo esta aseveración y en aras de estudiar en profundidad hasta donde fue capaz de llegar el maestro gótico para buscar la luz, el presente estudio analizará como una de las muestras del método analítico, la propia capilla de la Sainte Chapelle de París.

⁹³ NIETO, Víctor, “*La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento*”, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 37

4.4.4 ROBERT MARK

Profesor de Arquitectura e Ingeniería Civil de Princeton, es el autor de estudios medievales responsable del acercamiento más "científico" al hecho de la iluminación gótica que hay entre las corrientes actuales.

Alejado de las teorías antes descritas, que tratan la luz desde un punto de vista simbólico y metafísico, este autor se acerca al fenómeno desde variables luminosas más cercanas a la métrica actual. En términos de medida, la luz se asocia a condiciones de matiz, brillo y saturación. Aunque los matices y la saturación se refieren a colores y los trataremos más adelante, el brillo se refiere a superficies de iluminación y puede ser medido por una fotocélula o luxómetro en luxes. La potencia luminosa medida en luxes se rige por la fórmula:

$$B = I/S^2 \text{ (Fig. 4.26)}$$

Donde,

B, es la superficie de iluminación (en luxes por cm.).

I, se refiere a la intensidad de la luz emisora, y

S, se refiere a la distancia desde la fuente de luz ("longitud del camino de la luz") hasta la superficie de iluminación (cm.).

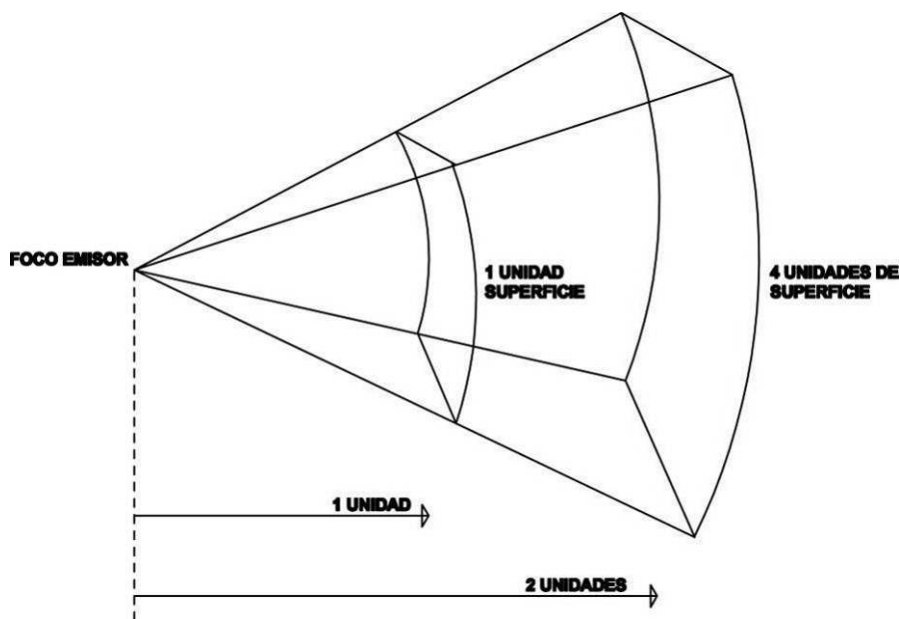


Fig. 4.26. Esquema que ilustra la variación de iluminación con la distancia. Interpretación de las teorías de Robert Mark. Autor Juan M. Medina

Por otro lado, y tal como analiza Mark, siguiendo el esquema del "camino de la luz" aplicado sobre una superficie concreta (Fig. 4.27), si estudiamos el ejemplo de incidencia solar a 45° con respecto al eje x de la apertura en el muro, la ventana aparece al observador según una imagen virtual, de ahí que la fuente de iluminación disponible para iluminar la superficie del suelo estará en función de la altura de la ventana por el coseno de 45° (0.707), es decir, que esta se reduce en un 71 % del total de la fuente luminosa.

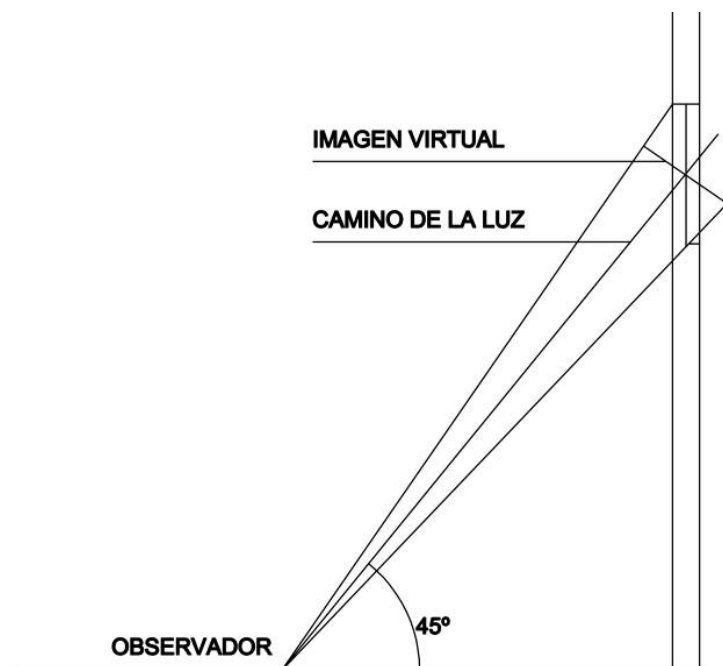


Fig. 4.27. Esquema que ilustra la incidencia de la luz en relación a su ángulo. Esquemas interpretados de las teorías de Robert Mark. Autor Juan M. Medina

Con estos dos sencillos esquemas, el autor determina que, mientras que al aumentar la altura de una ventana dentro de un muro, el coseno del ángulo es cada vez menor y por lo tanto así lo será también el valor de la incidencia luminosa sobre el observador, también al aumentar la distancia sobre el suelo, la superficie iluminada aumenta según su cuadrado. (Fig. 4.27).⁹⁴

Por lo tanto, y en los datos que a nosotros nos conciernen, será necesario constatar todos los cambios volumétricos entre catedrales distintas y replantear todos sus huecos dentro de sus alturas relativas para conseguir establecer cuales de ellas son más luminosas y cuales lo son menos.

⁹⁴ MARK, Robert, "*Light Wind, and Structure: The mystery of the Master Builders*", New Liberal Arts Series, Cambridge, Mass, and London: MIT Press, 1990, ISBN: 026213246X. p. 44 y 45.

Atendiendo al ejemplo antes descrito, y para comprobar la veracidad de estos valores teóricos descritos por Robert Mark en la presente tesis y dentro del capítulo de los indicadores de volumetría, se realiza un "experimento volumétrico" para determinar los cambios que la altura provoca en las catedrales, comparando la luminosidad de la catedral de Toledo con sus dimensiones actuales en contraposición con otra de las mismas características pero con 5 metros más de altura en todas sus naves.

La lógica del esquema de la Fig. 4.2.7. Hace pensar que en la segunda recreación, la que es 5 metros más alta, al aumentar el ángulo de incidencia solar y mantenerse los mismos huecos, la resultante luminosa aplicada sobre el suelo sería inferior, aunque queda la incógnita por resolver de cómo afecta la mayor superficie de exposición generada por el aumento de la distancia de captación y por supuesto el efecto difuso de las reflexiones de la luz sobre los demás elementos constructivos de las naves.

Robert Mark intentó adicionalmente, relacionar la incidencia solar en cada punto de la catedral con esquemas de "sección", como vemos en la Figura 4.28,⁹⁵ asegurando que estos eran los esquemas planteados por los maestros góticos, y que basándose en las relaciones entre la altura, la incidencia solar y el aumento de superficie afectada, podrían controlar la cantidad de luz en parámetros conocidos por ellos, "*As will be shown regarding the development of the Gothic catedral, the medieval designers did indeed experiment with building sections in order to maintain adequate levels of interior Light*".⁹⁶

⁹⁵ MARK, Robert, "*Light Wind, and Structure: The mystery of the Master Builders*", New Liberal Arts Series, Cambridge, Mass, and London: MIT Press, 1990, ISBN: 026213246X . p. 101

⁹⁶ MARK, Robert, "*Light Wind, and Structure: The mystery of the Master Builders*", New Liberal Arts Series, Cambridge, Mass, and London: MIT Press, 1990, ISBN: 026213246X. p. 46

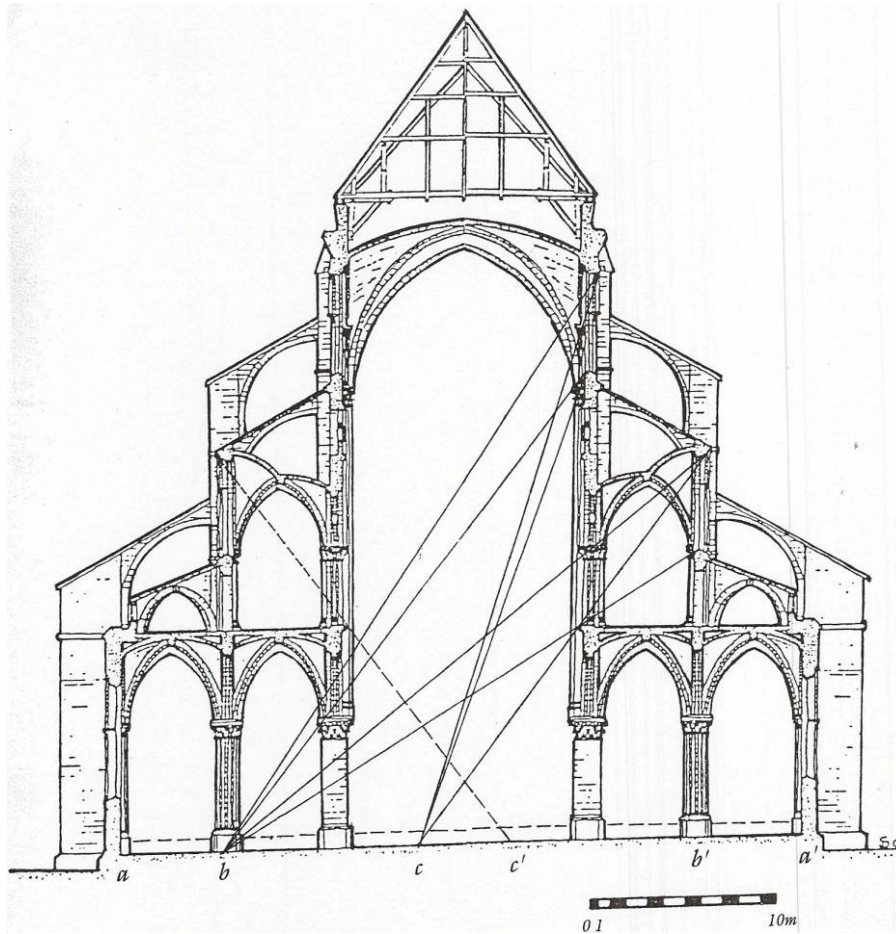


Fig. 4.28. Esquema que ilustra la incidencia de la luz el interior de una catedral según Robert Mark.

En todo caso, el autor pone sobre la mesa la incógnita de cómo la volumetría interior de los espacios iluminados y sus proporciones geométricas podrían influir en la recepción de la luminosidad a nivel espectador dentro de una catedral. Sus estudios no tienen en cuenta el efecto de reflexión sobre otros materiales ni el del filtro traslúcido de las vidrieras pero sienta el punto de partida del análisis de la incidencia solar en el espacio interior.

4.5 FUENTES PRINCIPALES EMPLEADAS PARA LA TESIS

Debido a la práctica inexistencia de fuentes escritas que nos lleve al entendimiento de la distribución de la luz en las catedrales góticas como hecho físico cuantificable, **la presente Tesis Doctoral usará como fuente principal las propias catedrales**. Ellas serán, en definitiva, las que muestren la luz que poseen, y las que nos definan los parámetros geométricos necesarios para construir nuestros modelos en tres dimensiones.

*"El legado lo constituyen las catedrales en si mismas, y como única prueba viva de la realidad construida son la base objeto de análisis de cualquier conocimiento específico sobre la forma de proyectar, entender y construir el espacio arquitectónico de los maestros medievales góticos"*⁹⁷.

⁹⁷ CASSINELLO, M.J.. *"Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica"* Tesis doctoral inédita. Madrid, 2003. p.4

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1 INTRODUCCIÓN A LA ILUMINACIÓN NATURAL. CONCEPTOS EMPLEADOS

5.1.1 LA NATURALEZA DE LA LUZ.

Sin tener el presente estudio la intención de teorizar o profundizar demasiado en los conceptos físicos de la composición y naturaleza de la luz y su transmisión, parece importante establecer algunos criterios básicos de entendimiento del concepto de iluminación natural y de la naturaleza de la luz para, de ese modo, poder establecer como válido el sistema de medida de las correspondientes muestras utilizadas.

La **naturaleza de la luz**, es uno de los efectos de la física más estudiados desde la antigüedad. El conocimiento de su composición y transmisión ha sido motivo de discusión de grandes físicos del pasado.

Lo primeros conceptos que encontramos en torno a esta cuestión son los que componen la teoría que de óptica de Euclides, donde se suponía que la luz nacía de los ojos y se proyectaba sobre los objetos vistos. Considerada como la primera teoría "corpuscular": *"Platón, filósofo griego, discípulo de Sócrates y maestro de Aristóteles, creía que la visión no se debía a la penetración de la luz, sino más bien a la salida de partículas procedentes de los ojos que se esparcían sobre los objetos del medio ambiente"*⁹⁸

Más adelante, y ya sumergidos en el siglo XVII aparecen las primeras teorías formadas sobre la naturaleza de la luz: la **teoría corpuscular** y la **teoría ondulatoria**. La primera de ellas, fue propuesta por Newton (Fig. 5.1) y supone que la luz está compuesta por corpúsculos que viajan en línea recta, atravesando cuerpos transparentes y siendo reflejada por cuerpos opacos. La segunda, la **teoría ondulatoria**, fue planteada por primera vez por Huygens, en 1678, y en ella se pretenden demostrar las leyes de reflexión y refracción de la luz. Planteaba que la luz viajaba de manera ondulatoria y en principio fue rechazada por los científicos de la época, alegando que si fuera así se podría *"ver detrás de las esquinas"*⁹⁹, ya que las ondas doblan los obstáculos.

⁹⁸ DE LAS CASAS, José María, GONZÁLEZ, Rafael, PUENTE, Raquel, *"Curso de Iluminación integrada en la arquitectura"*, Ediciones del Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1991. ISBN: 84-7740-044-X

⁹⁹ YAÑEZ, Guillermo, *"Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos"*. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 426



Fig. 5.1. Experimentos de Óptica de Newton (Cambridge Queen's College).

Hasta 1801, debido al prestigio de Newton, no se tuvo en cuenta la teoría ondulatoria, hasta que Young¹⁰⁰ y Fresnel¹⁰¹ realizan experiencias de interferencias luminosas y experimentos sobre la difracción que dan cuerpo a la teoría ondulatoria, ya descubierta por Huygens, estableciendo que las ondas luminosas son transversales, al contrario que el sonido, cuyas ondas son longitudinales.

Un tercer concepto fue desarrollado más adelante por Maxwell (1865) y de forma más precisa por Hertz (1887), y fue el de la **teoría electromagnética** de la luz, que si bien suponían un avance en la física del S XIX, no terminaba de redondear el concepto de la transmisión luminosa al no ser capaz de explicar los fenómenos de la radiación y emisión del cuerpo negro. Este concepto fue estudiado y desarrollado por Planck en 1900, con la **teoría de los cuantos**, que explica la radiación del cuerpo negro.

Estos avances de Planck¹⁰² dieron pie a que Einstein¹⁰³, cinco años después, propusiera que la luz está formada por corpúsculos de luz denominados fotones, y a partir de esta hipótesis, explicara el efecto fotoeléctrico mediante el cual se transmite la energía de un fotón a un electrón.

¹⁰⁰ YOUNG, Thomas, "*Memorias sobre la luz y sobre el calor*", Londres, 1800-1802

¹⁰¹ FRESNEL, Augustin, "*Memoria sobre la difracción*", París, 1818

¹⁰² PLANCK, Max, "*Hipótesis cuántica de Planck*", Berlín, 1900.

¹⁰³ EINSTEIN, Albert, "*Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de luz*", Zurich, 1905.

Experimentos posteriores de Milikan y los famosos **experimentos de Michelson y Morley** de 1881 (Fig. 5.2), constataron que la velocidad de la luz es una constante de la Naturaleza, siendo su valor aproximado, $c=3 \times 10^8$.

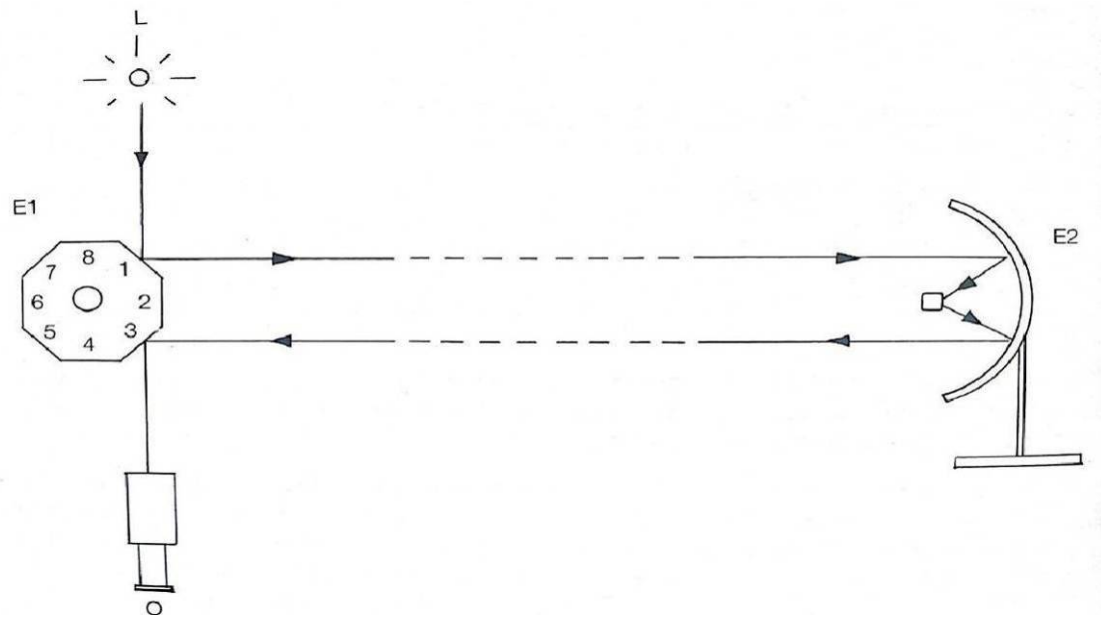


Fig. 5.2 Esquema gráfico del procedimiento utilizado por Michelson para determinar la velocidad de la luz.

Una vez determinadas las ondas de luz como **ondas electromagnéticas**, se sabe que su propagación se efectúa según ondas planas transversales en un espectro desde las de mayor frecuencia y energía (los rayos cósmicos) hacia las de menor frecuencia que se corresponden con el infrarrojo. En medio se encuentran las ondas del espectro solar visible, con una longitud de onda entre 380 nm. (luz violeta) y 780 nm. (luz roja) (Fig. 5.3).

Color	Longitud de onda (nm.)
Rojo	760-630
Naranja	630-590
Amarillo	590-560
Verde	560-490
Azul	490-440
Índigo	440-420
Violeta	420-380

Fig. 5.3. Tabla de longitudes de onda para diferentes colores dentro del espectro electromagnético visible.

Por lo tanto, y resumiendo las propiedades de la luz podríamos asegurar que estas se propagan de manera rectilínea, a una velocidad aproximada de $c=3 \times 10^8$ m/s, según una

línea recta cumpliéndose, además, la ley del camino mínimo de Fermat.¹⁰⁴ La luz que incide sobre una superficie se distribuye en tres componentes: **reflejada, absorbida o transmitida**, que corresponden a la **reflectancia, absorptancia y transmitancia**, cumpliéndose en todos los casos que la suma de estos tres valores es siempre igual a 1.

Al atravesar la radiación un material transparente, este “absorbe” parte de la radiación en forma de calor, esta propiedad del material se denomina *absortividad* y se mide en función del espesor.

Las superficies se pueden clasificar, según el tipo de reflexión, en **especulares, difusas y semidifusas** (Fig. 5.4), esto se produce porque el rayo solar, al incidir sobre una superficie se reflejará de diferente manera si la superficie es como la de un espejo (reflexión especular), opaca irregular, (reflexión difusa, es decir, en todas direcciones) o con superficies intermedias (reflexión mixta).

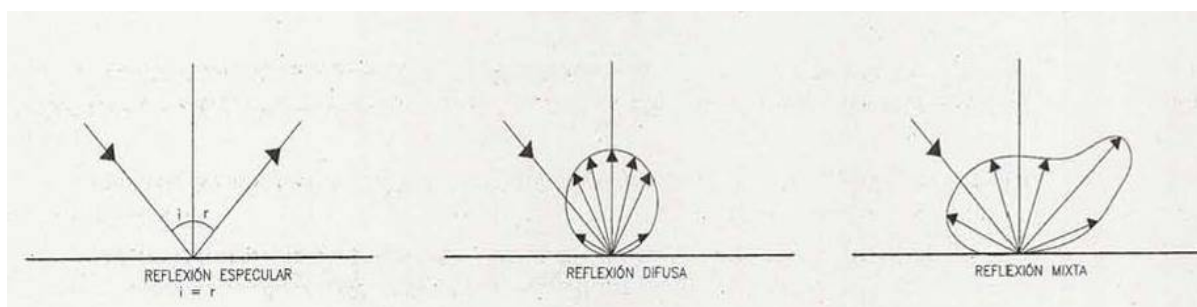


Fig. 5.4. Esquemas de reflexión especular, difusa y mixta. Guillermo Yañez Parareda. “*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*”

Este factor, y tal como veremos más adelante, es de extrema importancia al tratar vidrios medievales. Veremos como, las ondulaciones superficiales de las vidrieras debidas al modo de fabricación de las mismas mediante técnicas de soplado, unidas a las diferencias de composición de masas de los vidrios según su color y a la ausencia de paralelismo entre caras, van a reproducir superficies rugosas de reflexión difusa, que finalmente emiten radiaciones luminosas al interior del espacio sin una direccionalidad clara, ocupando todo el espacio de manera **difusa**.

Otro factor que reduciría la incidencia solar en el interior del espacio sería la **refracción**: esta se produce según unas reglas de incidencia sobre el plano iluminado según podemos observar en los esquemas de la Fig. 5.5:

¹⁰⁴ YAÑEZ, Guillermo, “*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*”. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 429

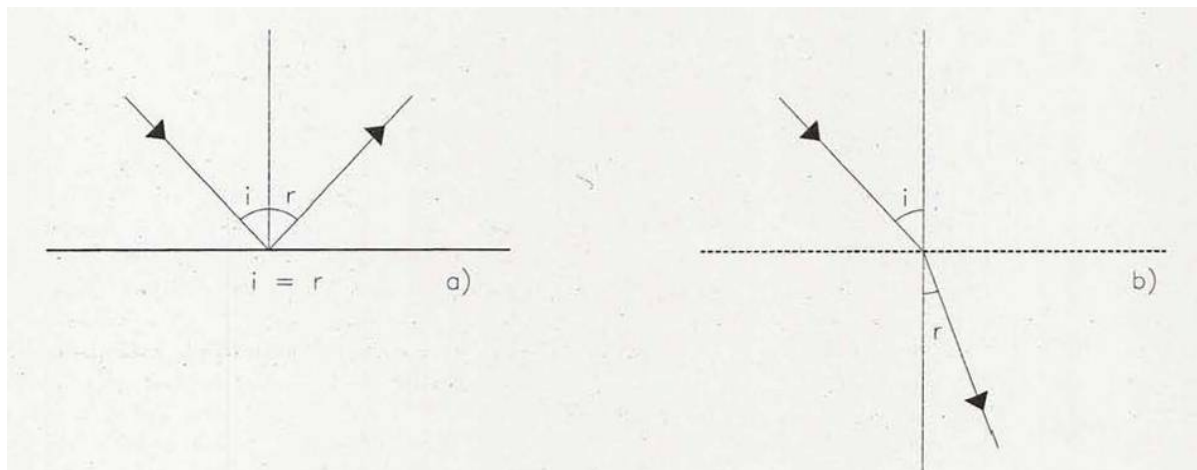


Fig. 5.5. Esquemas de refracción de la luz. Guillermo Yañez Parareda. "Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos"

Si bien los esquemas nos indican la direccionalidad del rayo luminoso, nada nos dice de la intensidad de luz que atraviesa el objeto, dependiendo esta del ángulo de incidencia sobre el objeto.

Otro efecto del impacto de la luz sobre un material transparente será el **grado de absortividad** que este tenga al paso de la luz, que será la cantidad de energía que se quede en ese medio. Este factor depende del espesor de la lámina que atraviesa y, en el caso de las vidrieras góticas, es muy elevado debido a sus grandes espesores de vidrio.

Por último y como factor añadido de "filtrado de la luz" al paso de las vidrieras, tendríamos la **difusión**, que aumenta cuanto más corta es la longitud de onda de la radiación. Mediante la difusión se reenvía en distintas direcciones la radiación recibida por las partículas de polvo o gotitas de aire flotando en el aire.

Con todo esto, nos aproximamos a los conceptos de la naturaleza de la luz y sobre todo a los efectos que se producen en esta al paso por los materiales traslúcidos como son las vidrieras góticas.

5.1.2 UNIDADES DE MEDIDA DE LA LUZ. MÉTODO DE MEDIDA EMPLEADO EN LA TESIS.

Para establecer las unidades de medida que hemos utilizado en el presente estudio es importante acercarse de manera somera a los conceptos básicos de Fotometría como parte de la Óptica, centrándonos en las “**radiaciones visibles**”.

La luminosidad recibida por un espacio depende del número de *focos de luz* que inciden sobre el mismo y del *nivel de iluminación* que producen en las superficies de los materiales en los que impactan.

En realidad, la luz percibida por el ojo humano es la que resulta del reflejo de la luz que se produce cuando un foco de luz impacta sobre una superficie. De ahí que sea fundamental reflejar, a la hora de matizar potencias luminosas, tanto el foco de luz como el material sobre el que este impacta (en nuestro caso **la vidriera y la piedra**).

Todo foco puntual radiante emite un **flujo energético**, que es la “*cantidad de energía que pasa en la unidad de tiempo a través de la superficie cerrada que la contiene*”¹⁰⁵. De esta potencia (en Vatios), nos interesa la que corresponde al “**flujo visible o flujo luminoso**”, que es la que se encuentra comprendida entre 380 y 780 nm. Dentro del espectro electromagnético. (Fig. 5.6).

Color	Longitud de onda (nm.)
Rojo	760-630
Naranja	630-590
Amarillo	590-560
Verde	560-490
Azul	490-440
Índigo	440-420
Violeta	420-380

Fig. 5.6. Tabla de longitudes de onda para diferentes colores dentro del espectro electromagnético visible.

La unidad de medida de este flujo luminoso a la que referiremos todas las mediciones, tanto in situ como provocadas por la aplicación del programa de soleamiento, será el

¹⁰⁵ YAÑEZ, Guillermo, “*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*”. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 433

lumen, que es, en términos matemáticos, *“el flujo asociado a la radiación electromagnética de 555 nm. Con una potencia radiante de 1/683 W.”*¹⁰⁶

La magnitud que utilizaremos en nuestros estudios es la **intensidad luminosa en una dirección dada**, ya que la intensidad de radiación desde un foco puntual disminuye con el cuadrado de la distancia y sin embargo, la intensidad luminosa, que es el flujo por unidad de ángulo sólido, no disminuye al aumentar la distancia.

La percepción visual, por otra parte, depende de muchos factores como son el nivel de iluminación, el contraste, el grado de deslumbramiento, la composición de la luz, el tipo de observación a realizar y el grado de difusión de la luz. El grado de percepción del ojo humano va desde los 100.000 lux hasta los 0.003 lux.

Tal como veremos más adelante, las variaciones de iluminación dentro de las catedrales no serán superiores a 500-600 luxes en el mejor de los casos (salvo por efectos de iluminación directa), luego el rango de percepción es muy reducido y los matices por tanto a tener en cuenta entre los diferentes espacios, muy importantes.

Para una interpretación correcta del fenómeno luminoso deberíamos atender a los distintos tipos de iluminación disponible. Se sabe que parte de la radiación solar es reflejada y parte absorbida al atravesar la atmósfera, alcanzando la superficie terrestre dos “tipos de iluminación”: **la luz directa** del sol y la **luz difusa** de la atmósfera.

Estas dos componentes conforman la irradiancia global que percibimos, y varía según múltiples factores (latitud, hora del día, época del año, grado de nubosidad...). Para latitudes medias y en condiciones normales, la intensidad de iluminación al aire libre, sólo de luz difusa, varía desde los 10.000 lux de diciembre hasta los 50.000 lux de junio, debido, fundamentalmente, al distinto espesor de atmósfera que el rayo solar tiene que atravesar, algo que también se ve reflejado en la disminución de iluminación entre las horas centrales del día y el amanecer y el atardecer.

La iluminación de referencia utilizada para los cálculos de radiación en el interior de los edificios, y que nosotros estableceremos para la comparativa entre las distintas catedrales, es la **componente difusa**, aportada por la **bóveda celeste** como fuente principal de luz natural, ya que la luz directa debe ser, tla como describe Jaime Navarro, *“una luz que da*

¹⁰⁶ YAÑEZ, Guillermo, *“Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos”*. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 433

*el carácter añadido a un ambiente general. Añadido que es interpretado como fulgor o resplandor circunstancial y que por ese motivo se suele considerar la luz solar directa como fuente o recurso escenográfico o dramático en la iluminación interior*¹⁰⁷. Esto será de suma importancia para la iluminación en las catedrales góticas y la lectura del impacto de las vidrieras sobre los espectadores de la catedral, tal como veremos más adelante.

Para fijar las condiciones comparativas necesarias en términos de luz difusa, es necesario fijar los "parámetros variables" que modifican el comportamiento luminoso de los espacios, para ellos establecemos un **cielo estándar** de luz difusa a partir de un modelo de bóveda celeste de **luminancia uniforme**, de acuerdo al cielo cubierto estándar uniforme propuesto, como punto de partida, antes de 1955 por la Comisión Internacional de Iluminación, CIE, de **5.000 lux**.

Esta iluminación media corresponde a un cielo nublado a las 9h 45min del mes de diciembre, en las latitudes medias de Europa, siendo dicho valor la mitad de un cielo cubierto, en dichas latitudes, en diciembre a mediodía. (Ver Fig. 5.7).

LATITUDES MEDIAS 40-45° A MEDIODÍA	Em en LUX
Luz solar (directa más difusa)	100.000
Luz solar con cielo cubierto (diciembre)	10.000
Luz solar con cielo cubierto (Junio)	50.000
Interior de una ventana	2.000-1.000

Fig. 5.7. Tabla de valores típicos de iluminación natural sobre un plano horizontal según Yáñez Parareda.¹⁰⁸

Esta radiación difusa media se matiza mediante la utilización de la **radiación de luz horizontal difusa** que es diferente dependiendo de cada latitud utilizada. Aunque existe un modo de referenciar la luz interior con la exterior a través del factor de iluminación natural (FIN), que expresa "*en términos relativos la iluminación interior respecto de la exterior y se expresa en tanto por ciento*¹⁰⁹", y sigue una curva de valores de iluminación en función de la latitud en la que se encuentre el objeto. Fig. (5.8). Nosotros estudiaremos con valores de iluminación difusa según CIE.

¹⁰⁷ NAVARRO, Jaime, "La arquitectura y... Introducción al Acondicionamiento y las instalaciones"^{1º} Ed. Ediciones Técnicas y Científicas, Madrid, 1999, ISBN: 84-95279-15-4, p.46

¹⁰⁸ YÁÑEZ, Guillermo, "Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos". ED: Munilla-Lerío, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 444.

¹⁰⁹ NAVARRO, Jaime, "La arquitectura y... Introducción al Acondicionamiento y las instalaciones"^{1º} Ed. Ediciones Técnicas y Científicas, Madrid, 1999, ISBN: 84-95279-15-4, p.47

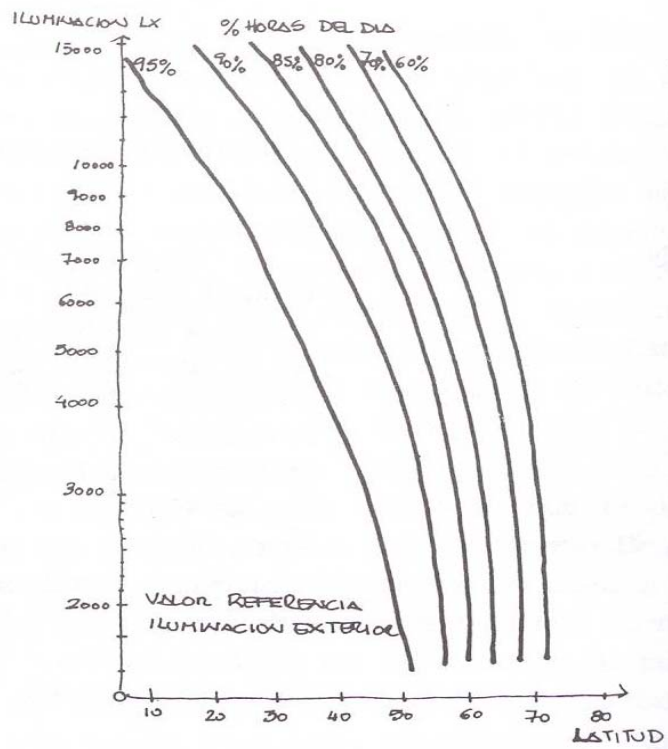


Fig. 5.8. Valores de iluminación exterior según latitud. Autor: Jaime Navarro Casas. 1999.¹¹⁰

Este parámetro varía en función de la distancia a la que se encuentra cada ciudad con respecto al ecuador. Según CIE se trata de 5000 lux pero atendiendo a la latitud exacta a la que se encuentran las catedrales usaremos la luz difusa particular de cada una de ellas. Para ello utilizamos la calculadora de diseño de cielos solares de la web: <http://naturalfrequency.com/> (Fig. 5.8.a.), que nos arroja los siguientes valores de radiación horizontal difusa:

RADIACIÓN HORIZONTAL DIFUSA	LATITUD	LONGITUD	Em en LUX
CATEDRAL DE SEVILLA (SEVILLA)	37.23-N	5.59-O	8.100
CATEDRAL DE TOLEDO (TOLEDO)	39.51-N	4.01-O	7.900
CATEDRAL DE LEÓN (LEÓN)	42.36-N	5.34-O	7.600
SANTA M^a DEL MAR (BARCELONA)	41.23-N	2.11-E	7.700
CATEDRAL DE GERONA (GERONA)	41.59-N	2.49-E	7.600
SAINTE CHAPELLE (PARÍS)	48.51-N	2.21-E	6.900

¹¹⁰ NAVARRO, Jaime, "La arquitectura y... Introducción al Acondicionamiento y las instalaciones"^{1º} Ed. Ediciones Técnicas y Científicas, Madrid, 1999, ISBN: 84-95279-15-4. p.48

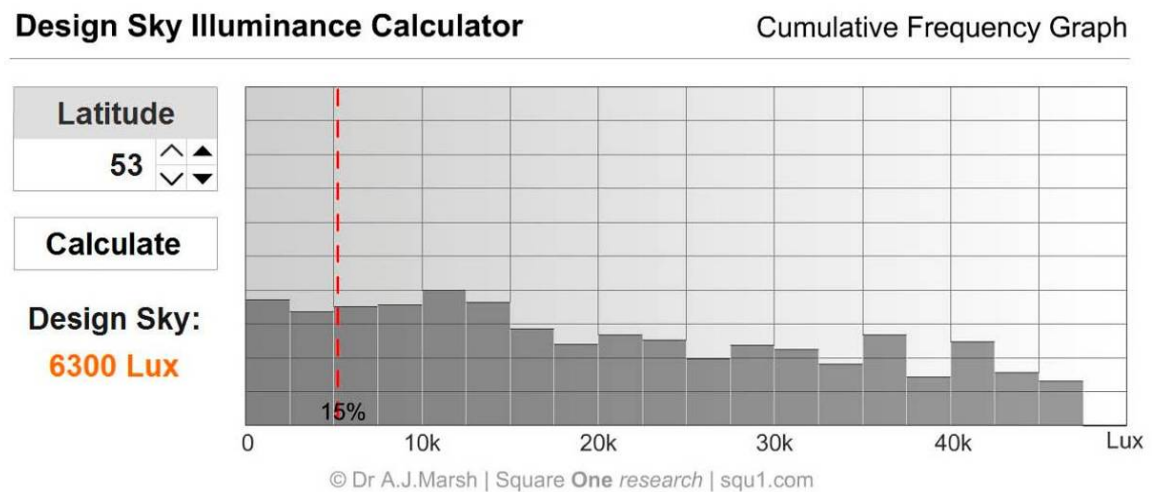


Fig. 5.8.a Calculadora solar para el diseño de luces difusas en función de la latitud del objeto de referencia. Fuente: <http://naturalfrequency.com/>

Sin embargo, para el estudio que haremos de las catedrales muestra no podemos ceñirnos a esta única referencia ya que obviaríamos la variabilidad provocada por los cambios de estación del año. Por ello y para abarcar un espectro más rico en valores comparativos, estudiaremos las muestras para los días “extremos” de cada estación del año: los **solsticios de verano e invierno** y los **equinoccios de primavera y otoño** (21 de marzo, 21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre, respectivamente).

Para estudiar la iluminación que tenemos en cualquier punto del espacio interior de una catedral tendríamos que tener en cuenta los siguientes factores:

- Modelo de cielo.
- Componente de luz difusa directa proveniente del cielo.
- Componente de luz difusa reflejada del exterior (edificios colindantes).
- Componente reflejada del interior (suelos y paredes).
- Reducción de la iluminancia incidente al atravesar el vidrio.

Estos parámetros, de manera conjunta y para el estudio que nos atañe, engloban una gran dificultad de aplicación de manera manual. Los métodos de estudio manuales, como el **método de Fruhling** del rendimiento del local, el **método del factor luz de día** desarrollado en Inglaterra por Hopkinson, que permitiría tratamientos gráficos como el diagrama de Waldram, el ábaco de Duffton y el diagrama de Pilkington, o el **método lumen**, desarrollado en los Estados Unidos, que se basa en la aplicación del factor de utilización del local son, en todos los casos, efectivos en locales “sencillos” o deliberadamente “simplificados” para la obtención de valores estimativos.

En la actualidad, y tal como refiere Yañez, existen procedimientos, que parten de un local dado, con una apertura conocida de ventanas para comprobar un proyecto, como son:

Procedimientos numéricos:

- Método del flujo total.
- Factor luz de día medio.
- Factor luz de día en un punto del local. Método BRE.
- Método simplificado (Millet y Bedrick).
- Método CIE.
- Método Lumen.

Procedimientos gráficos:

- Método del diagrama de Waldram.
- Método de Duffon.
- Diagrama de los granos de pimienta.
- Nomograma para el cálculo de la componente CRI.¹¹¹

Todos estos cálculos manuales son extensibles a espacios de planta rectangular, con techo plano y con una ventana también rectangular. Como es obvio, no son aplicables a espacios generados en el interior de una catedral, donde la casuística geométrica de la misma es sumamente compleja.

Otro método de estudio de las condiciones lumínicas de un espacio interior es aquel en el que se emplean los **modelos a escala**, esto es, maquetas del edificio a estudiar, realizadas a escala y capaces de asumir comportamientos caóticos difícilmente modelables a través de programas informáticos.

Hasta la fecha muchos han sido los aspectos físicos estudiados a través de estos modelos a escala, así se usan para el estudio de la estabilidad estructural frente a cargas de viento o para establecer geometrías adecuadas frente a los comportamientos caóticos del movimiento de agua en los canales de ensayo de la ingeniería naval, estudios que se remontan a la época de Leonardo Da Vinci y cuyo primer canal fue construido en 1868 (Fig. 5.9 y Fig. 5.10), o incluso para el entendimiento de la forma de transmisión de cargas

¹¹¹ YAÑEZ, Guillermo, "*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*". ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 459

de una bóveda de doble curvatura como los famosos “antifuniculares” de Gaudí (Fig. 5.11).

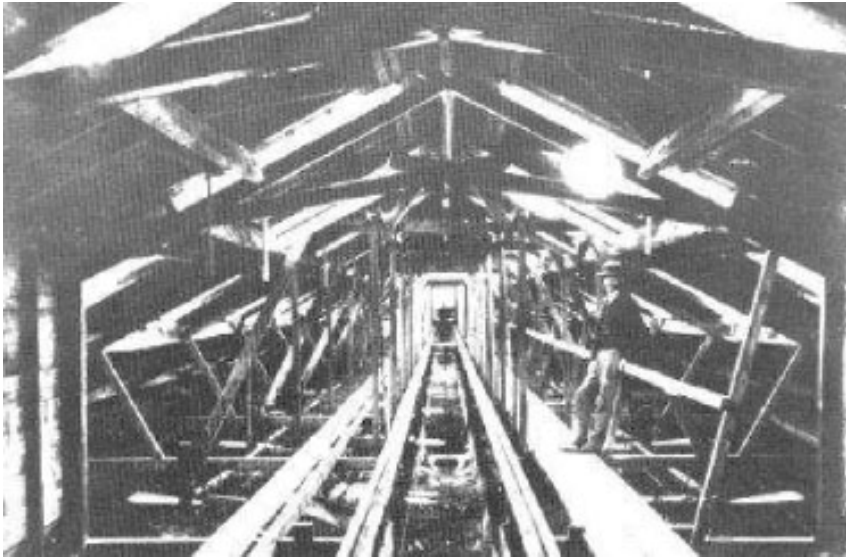


Fig. 5.9. Canal de pruebas construido por William Froude en Torquay (Inglaterra).¹¹²



Fig. 5.10. Ensayo de casco de barco en el Canal de Ensayo de la Escuela Técnica Superior de Navales de la UPM. Fuente: <http://canal.etsin.upm.es>

¹¹² FREIRA-PEREIRA, J. “*Estimación de Incertidumbre en Canales de Prueba Navales*”. Director: Pérez Rojas, L. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros Navales. Departamento de sistemas Oceánicos. P. 6



Fig. 5.11. Modelo estructural polifuncular de la iglesia de la Colonia Güell de Antoni Gaudí y Cornet.
Fuente: <http://commons.wikimedia.org>.¹¹³

Las maquetas que se han utilizado también para el estudio del comportamiento lumínico de interior de espacios a través de la reproducción de modelos a escala con un fin: medir simultáneamente con luxómetros la iluminancia al aire libre sobre un plano horizontal y la iluminancia en varios puntos del interior de la maqueta. Con estos datos se obtiene el Flujo de luz difusa del conjunto.

En el interior de la maqueta, se dispondrían sensores que generan una malla de resultados lumínicos que, una vez volcados sobre el correspondiente programa informático, obtendríamos las curvas Isolux.

Existen tres tipos de cielos artificiales semiesféricos: la "*bóveda esférica, traslúcida y difusora con lámparas eléctricas encima del material difusor*" (Fig. 5.12), y la "*bóveda opaca con una superficie reflectora difusa en su cara interna*" (Fig. 5.13), situando la instalación de la

¹¹³ GAUDÍ, Antoni, ref: AAVV, Gaudí 2002. Miscelania, Ed: Planeta, Barcelona, 2002

iluminación en la parte inferior y los “*techos difusores horizontales*” (Fig. 5.14), encima de los cuales se sitúan las lámparas.

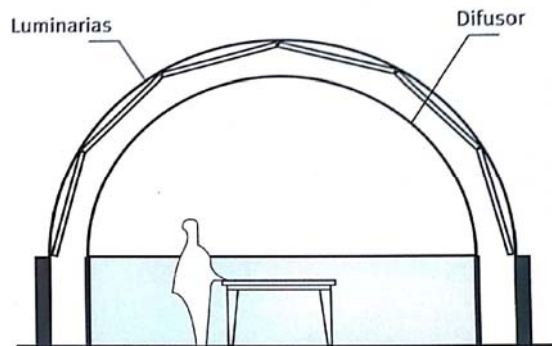


Fig. 5.12. Fuentes de luz a nivel elevado, detrás de la bóveda interior difusora.

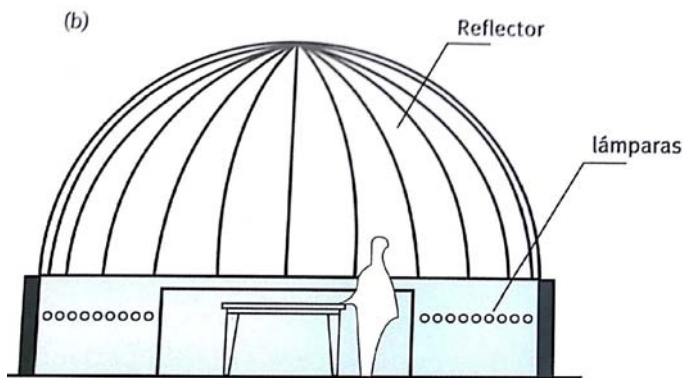


Fig. 5.13. Fuentes de luz a bajo nivel, dentro de la bóveda reflectora.¹¹⁴

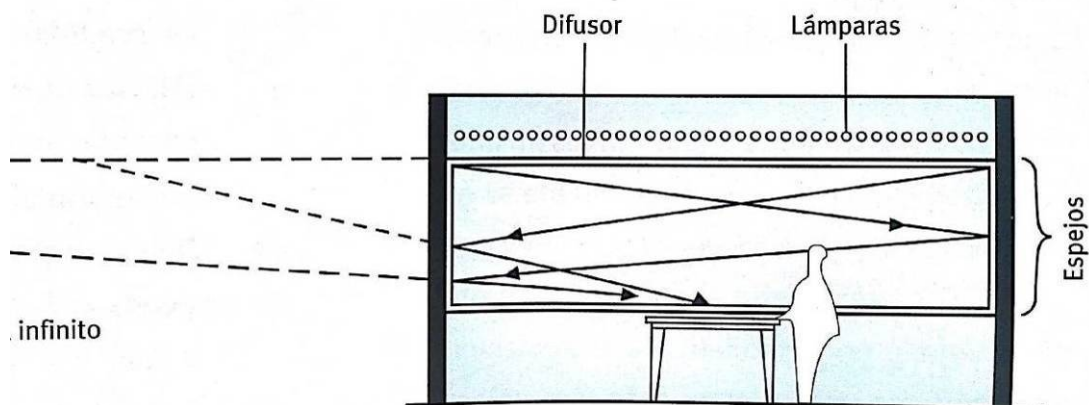


Fig. 5.14. Fuentes de luz sobre el techo difusor, con paredes recubiertas con espejos.¹¹⁵

¹¹⁴ IDAE, “*Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*”. Ediciones IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005. ISBN: 84-86850-92-4. p. 147

¹¹⁵ IDAE, “*Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*”. Ediciones IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005. ISBN: 84-86850-92-4. p. 147

En los tres casos se necesita un tablero elevado para la colocación de la maqueta y suficiente espacio alrededor para el paso de los investigadores y la toma de datos como en el caso del Cielo artificial de Croghan, de 1964. (Fig. 5.15)

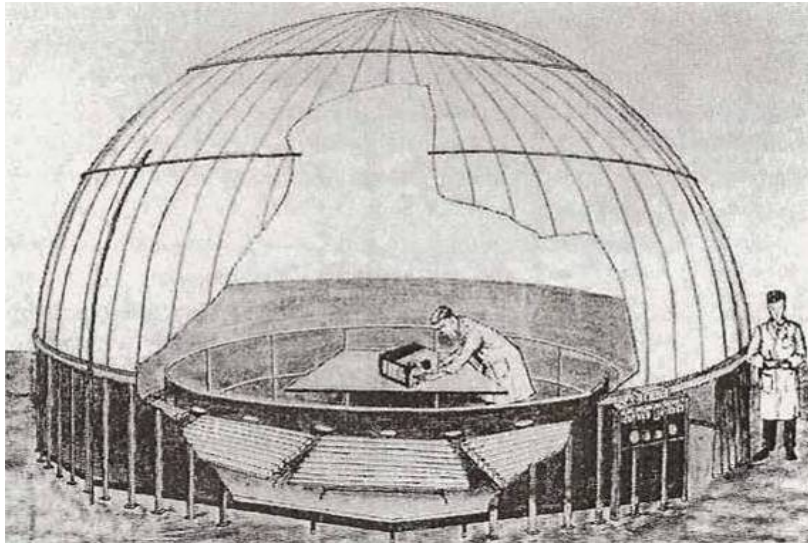


Fig. 5.15. Cielo artificial de laboratorio. (D.C. Croghan, 1964)

En existen laboratorios como el de Bartenbach (Fig. 5.16 y 5.17), que posee una cúpula semiesférica de 6 m. de diámetro con capacidad de estudio de los comportamientos lumínicos, de temperatura de color y replica de orientación solar en cualquier posición.



Fig. 5.16. Vista del "cielo artificial" del Laboratorio de Bartenbach. Fuente: <http://www.bartenbach.com>

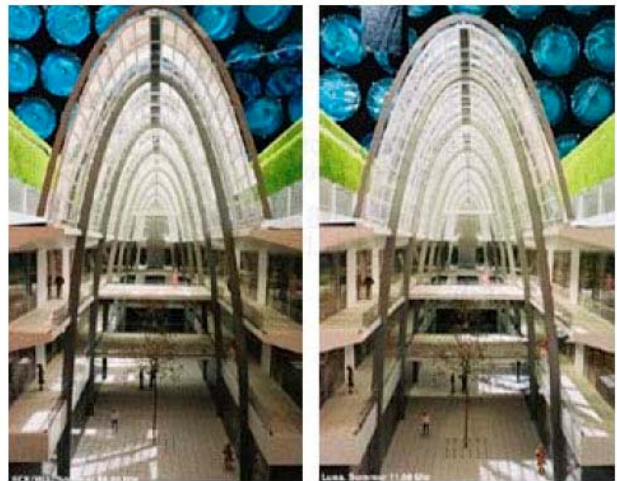


Fig. 5.17. Ensayo en el interior del cielo artificial de una bóveda de un centro comercial. Fuente: <http://www.bartenbach.com>

Este tipo de experimentación conlleva varios problemas de aplicación en el caso de las maquetas para catedrales que serían:

- Dificultad de reproducción del interior de las catedrales. Por su compleja geometría.
- Tamaño de las maquetas: Que como mínimo tendría que ser de una escala 1/20 para poder “acceder” a su interior para tomar datos, fotografías y referencias, lo que provocaría maquetas de más de 4 metros de largo por 2 metros de altura.
- La eliminación de la *componente reflejada interior* (CRI) que se conseguiría pintando todo el interior de las maquetas de negro para poder obtener la componente de cielo (CC) exclusivamente.
- La variabilidad de la luz cielo para la toma de datos entre distintas catedrales: La componente solar varía de manera casi instantánea, con lo que, aunque buscáramos siempre un “**cielo cubierto representativo**”, para referenciar unas catedrales con otras, no nos quedaría más remedio que emplear unas condiciones artificiales en laboratorio.

Todos los métodos de cálculo manual engloban, como decimos, grandes dificultades de utilización para espacios complejos como son los de las catedrales góticas. Además, los métodos descritos nos muestran situaciones de iluminación puntuales, referidas a un punto concreto del espacio interior, y no de tipo “global” como los que nos interesan a nosotros (iluminación total por naves, iluminación comparativa en cruceros, iluminación total dentro de la catedral, etc.).

En cuanto a los métodos experimentales con maquetas conllevan, si cabe, mayores dificultades de ejecución, tal como se ha puntualizado, siendo además imposible una “generalización” entre distintos edificios con formas diferentes, como es el caso que nos ocupa.

Es por esta razón por lo que se opta por utilizar, como **método de medida de la iluminación**, un **programa informático** que engloba todos estos factores y los tiene en cuenta a la hora de arrojar los valores tanto de iluminación directa como de iluminación indirecta total por cada punto del espacio interior.

Los métodos tradicionales de cálculo de luz natural utilizan el cielo cubierto estándar como punto de partida. Los cálculos por ordenador, como veremos más adelante, proporcionan muchos más datos debido a que permiten tener en cuenta las dimensiones y orientaciones exactas de las ventanas para cada día del año y momento del día propuestos, a través de la simulación de la posición exacta del sol (acimut y longitud).

Adicionalmente, el programa nos permite utilizar cielos claros y cielos promedio (Que será los que emplearemos en nuestras mediciones), lo cual incluye luz solar directa así como una distribución de luminancia de cielo promediada en todas las condiciones de tiempo diferentes.

Pero si hay algo que define la utilización del programa informático como el elemento de medición adecuado para el estudio llevado a cabo, es el cálculo de la luz reflejada interiormente. Las técnicas simples, tales como la fórmula del flujo dividido de BRE, suponen que es uniforme, pero de hecho varía. El programa informático propuesto predice las variaciones en la luz reflejada interiormente, mediante dos métodos, **la radiancia y el trazado de rayos** (Fig. 5.18 y Fig. 5.19).

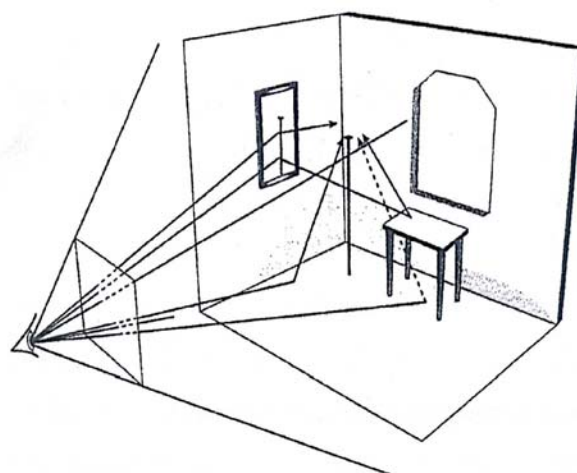
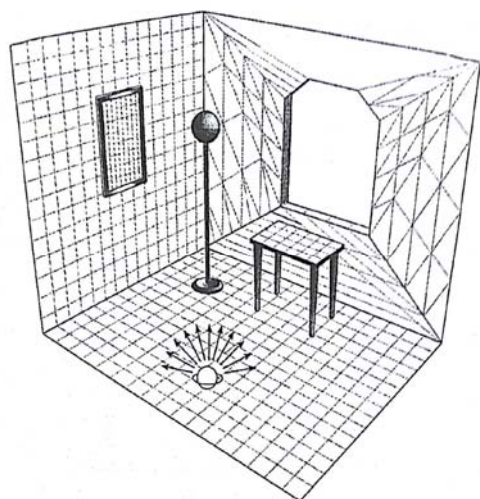


Fig. 5.18 . Método informático basado en la radiancia. Fig. 5.19. Método informático del trazado de rayos.¹¹⁶

El método de **trazado de rayos** puede ser de dos tipos: el primero sería con el *trazado de rayos hacia atrás*, en el que un rayo es trazado de nuevo desde la posición del ojo hasta que corta una superficie, y el comportamiento de ese rayo dependerá de las características de reflexión de las superficies. El segundo sería del de *trazado de rayos*

¹¹⁶ IDAE, "Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios". Ediciones IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005. ISBN: 84-86850-92-4. p. 147

hacia delante, en el que los rayos son trazados desde la fuente de luz hasta la posición del ojo. *"Este método es adecuado para pequeñas fuentes."*¹¹⁷

En **la radiancia**, el programa supone que todas las superficies son perfectamente difusoras. Este método podría resultar engañoso para superficies interiores muy variables, pero es especialmente adecuado para el caso que nos ocupa, las catedrales góticas, ya que el material de construcción de los espacios es básicamente "único": **la piedra**.

En este caso, y dentro del amplio espectro de programas informáticos especializados en el cálculo de iluminación interior para edificación, se utilizará el programa **3d Studio Max Design 2011** con su aplicación informática dedicada al cálculo de iluminación interior de los espacios mediante un estudio a través de **radiancia de los materiales**.

Para ello, como material de textura general, utilizaremos un material neutro de reflexión constante como es el **"stone granite gray speckled"**, con un nivel de reflexión difusa, y para el vidrio seleccionaremos un vidrio con factor de filtrado del 40% (transparencia del 60%) sin color, de ese modo, el programa identificará perfectamente el efecto de la iluminación directa sobre el suelo, aportando imágenes de color que esquematice el mapa de la radiación proyectada sobre los espectadores.

Para la definición del azimuth y longitud solar en cada día censado la recreación tomará un año de referencia tomado como "valor original de la iluminación". El año seleccionado para la toma de datos originales de iluminación es el 1600. La razón por la que empleamos ese año y no uno anterior y más cercano a la creación de la catedral es porque existe una limitación de recreación por parte del programa informático, que no nos permite viajar más atrás en el tiempo, siendo el año 1600 el año más primitivo al que podemos retrotraernos. Sin embargo es importante utilizar este año en la introducción de datos del programa puesto que la posición solar del 21 de junio de 1600 es ligeramente distinta que la del 21 de junio de 2012.

Para la recreación del cielo con la radiación horizontal difusa antes mencionada para cada catedral, seleccionaremos, en el programa informático 3d Studio, el cielo CIE frente al HAZE DRIVEN. Este modelo CIE es aproximadamente 10 veces más atenuado que el HAZE DRIVEN y el gradiente de color mostrado en las gráficas lumínicas es más sensible a los cambios y variaciones de iluminación.

¹¹⁷ IDAE, *"Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios"*. Ediciones IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005. ISBN: 84-86850-92-4. p. 146

Para poder relacionar la iluminación natural de los espacios góticos y referenciarlos a situaciones que en la actualidad podamos “entender” de manera intuitiva, es importante tener presente los grados de iluminación recomendados para ejercer distintas actividades dentro de los edificios en la actualidad (Fig. 5.20 Y Fig 5.21), de ese modo podremos determinar si la iluminación dentro de estos templos más o menos adecuada o si por el contrario estaba “manifiestamente” manipulada.

VALORES ORIENTATIVOS DE ILUMINACIÓN SEGÚN UNE-EN 12464	Em en LUX
MUY BAJAS: Vestíbulos, pasillos, corredores, garajes...	50 a 200
BAJAS: Gimnasios, archivos, aulas, bares, tiendas...	200 a 500
MEDIAS: Oficinas, zonas de lectura, laboratorios...	500 a 1000
ALTAS: quirófanos, banco dental, grabado, pintura...	1000 a 5000

Fig. 5.20. Tabla de valores orientativos de iluminación natural por zonas según UNE 12464

VALORES ORIENTATIVOS DE ILUMINACIÓN SEGÚN YÁÑEZ PARAREDA	Em en LUX
Paseo al aire libre	50
Pasillos	100
Oficinas	500
Escuelas	500
Salas de dibujo	1000
Inspección de reproducción gráfica	1500
Tarea visual muy precisa muy prolongada	5000

Fig. 5.21. Tabla de valores orientativos de iluminación natural por zonas según Yáñez Parareda.¹¹⁸

¹¹⁸ YÁÑEZ, Guillermo, “*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*”. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 442

5.2 RESUMEN DEL METODO DE ANÁLISIS UTILIZADO.

El presente estudio busca, tal como se exponía anteriormente, los siguientes objetivos:

- **COMPRENDER Y CUANTIFICAR LA DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ EN LAS CATEDRALES GÓTICAS.**
- **ESTABLECER LA CLASIFICACIÓN DE LAS CATEDRALES SEGÚN SUS “TIPOS DE CUALIDAD LUMÍNICA.**
- **ANALIZAR LAS DIFERENCIAS EXISTENTES ENTRE LA ILUMINACIÓN PRIMITIVA GÓTICA Y LA EXISTENTE ACTUALMENTE.**

Para ello, se empleará un método de estudio analítico progresivo que nos permita acercarnos a un conocimiento más exhaustivo de la iluminación gótica, en aras de conseguir los objetivos planteados.

El método, tal y como se irá desgranando en adelante, parte de una **“preclasificación”** de las catedrales góticas en función de **indicadores** que son determinantes para la distribución e intensidad de la luz en el interior como son:

- **FORMA Y VOLUMEN:** En referencia al número de naves (1, 3 ó 5), a la existencia de capillas, a la existencia o no de decalajes en altura de sus naves laterales y a la esbeltez de las naves (relación de su altura con su vano libre mediante el estudio de sus secciones).
- **RELACIÓN VANO/MURO:** Que nos medirá la relación de macizo frente a vidriera y de estas en relación con el vano libre entre contrafuertes o líneas estructurales.
- **INDICADOR SÍSMICO:** Con la particularidad de la posición de los contrafuertes; interiores o exteriores.

Aplicando esta preclasificación y tal como veremos, existen un total de **6 tipos diferentes** de catedrales. Seleccionaremos por tanto, una catedral de cada tipo, a la que llamaremos "**catedral muestra**" y procederemos a estudiarlas en profundidad.

Otro factor que sin duda es determinante a la hora de describir la **calidad lumínica** de una catedral es el **color**. Este aspecto se estudiará en profundidad en las muestras seleccionadas como una cualidad más, estableciendo cuales son las proporciones de color de los conjuntos de vidrieras góticas a las que tengamos acceso por su autenticidad, ya que muchas de ellas, tal como describiremos más adelante, lamentablemente no han llegado hasta nuestros días.

El **estudio de las muestras** llevará el siguiente proceso analítico:

5.2.1. INTRODUCCIÓN

Con un breve acercamiento a la historia constructiva de la catedral estudiada que nos permita ubicarnos dentro del espacio arquitectónico a estudiar.

5.2.2. MODELOS 2D y 3D DE LA CATEDRAL

Teniendo en cuenta el proyecto original gótico y tras una exhaustiva toma de datos "in situ", se recrea volumetría de cada una de las catedrales, tanto en sus dimensiones en planta (Fig. 5.22 y Fig. 5.23), como de su volumetría y sección, obteniendo un modelo 3d del conjunto. (Fig. 5.24 y Fig. 5.25).

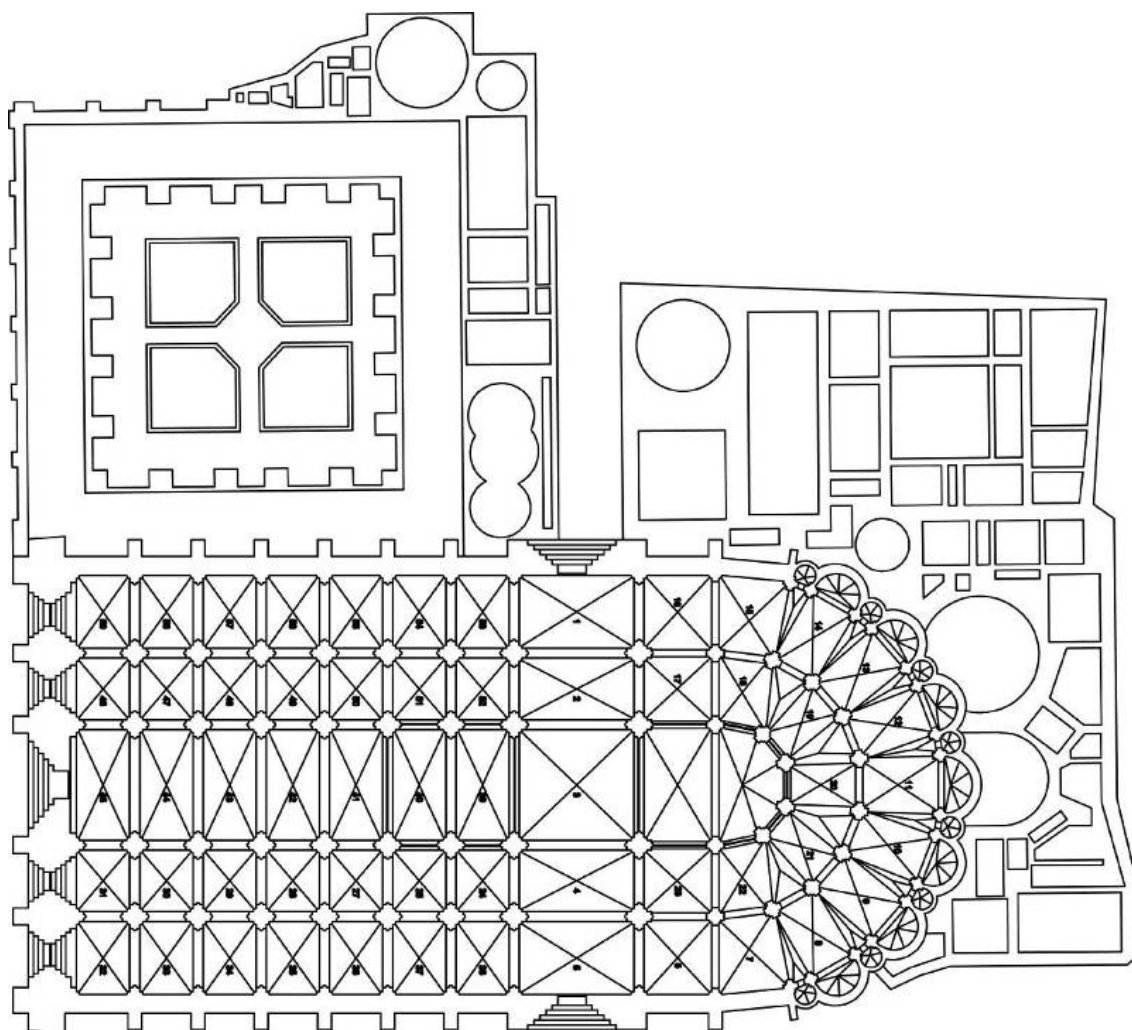


Fig. 5.22. Planta de la catedral de Toledo en la actualidad. Autor: Juan M. Medina

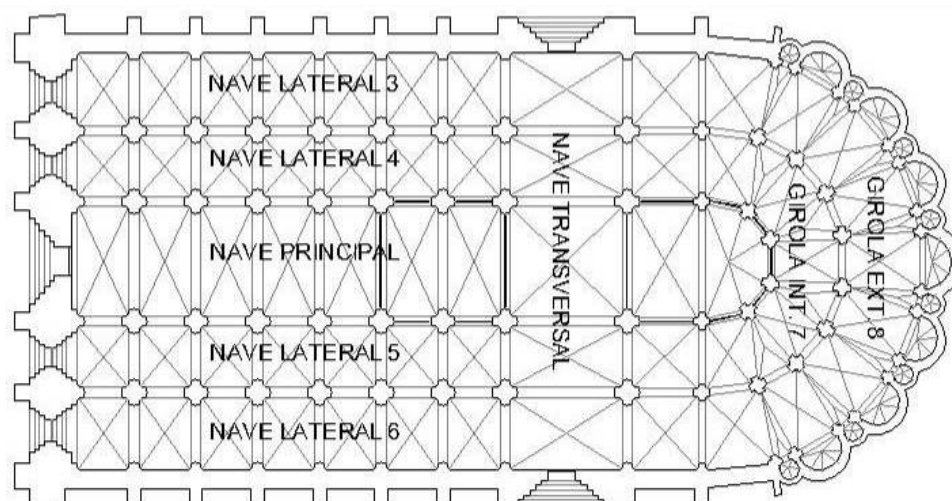


Fig. 5.23. Planta de la catedral de Toledo según el proyecto original. Autor: Juan M. Medina

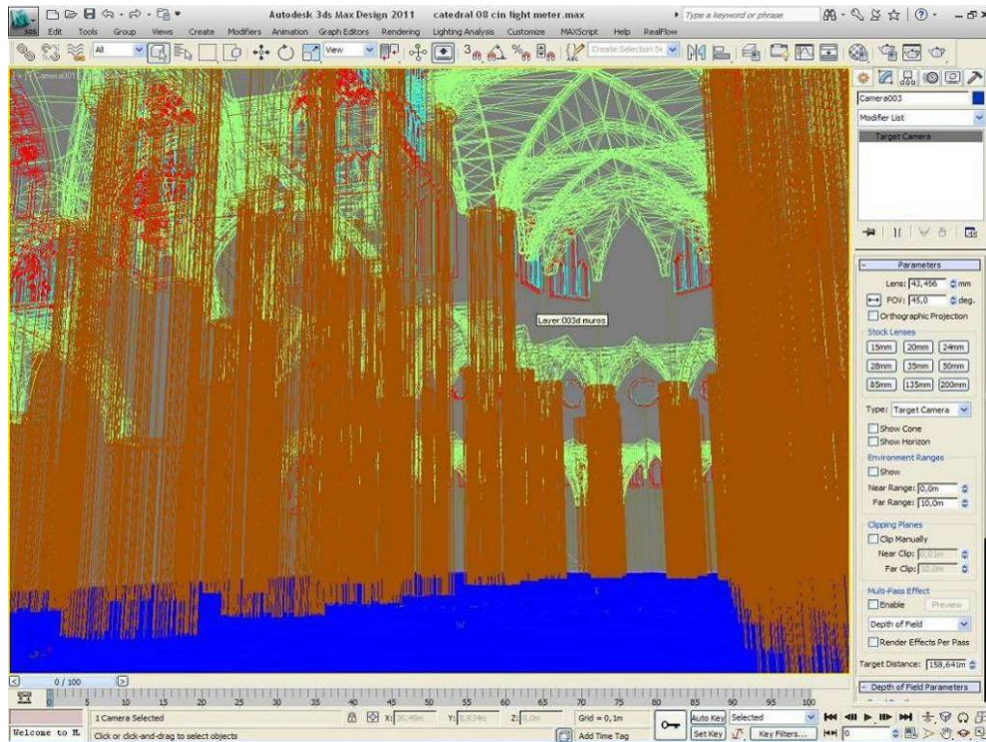


Fig. 5.24. Proceso de creación del modelo 3D. Autor: Juan M. Medina

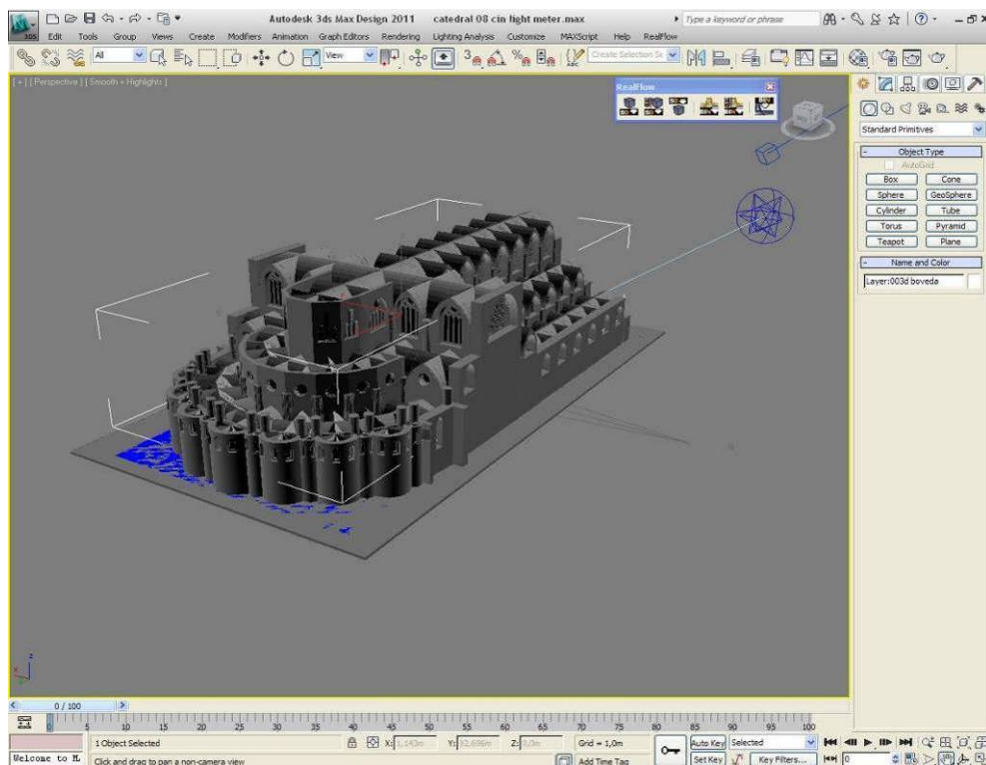


Fig. 5.25. Modelo 3D completo. Autor: Juan M. Medina

Del mismo modo se replantearán todos y cada uno de los huecos con sus dimensiones, formas y ubicación dentro de los muros. (Fig. 5.26 y Fig. 5.27)

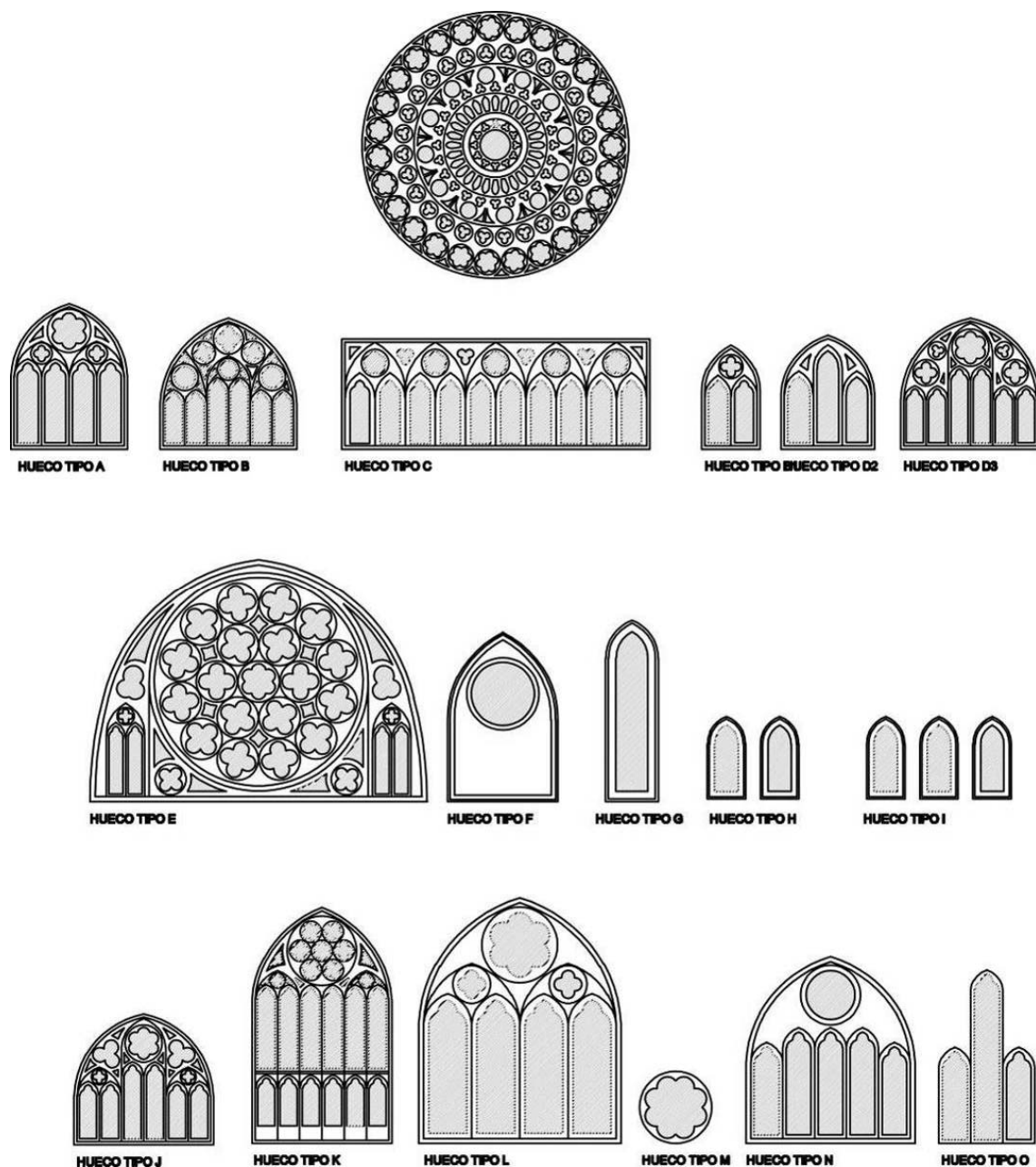


Fig. 5.26. Levantamiento en 2D de los distintos huecos de la catedral. Autor: Juan M. Medina

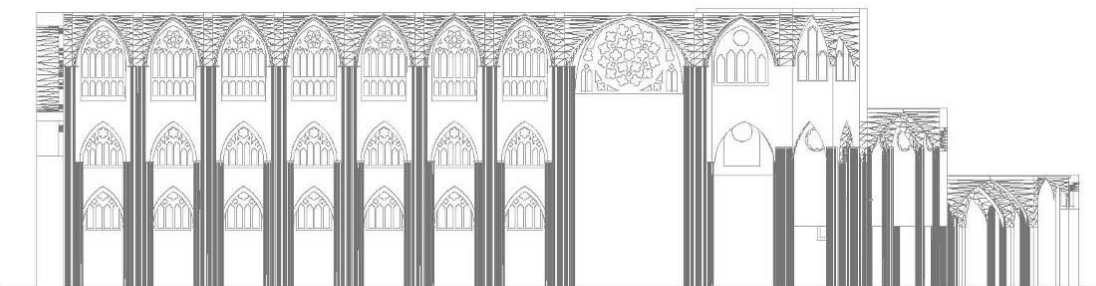


Fig. 5.27. Sección longitudinal de la catedral con replanteo de todos los huecos presentes en los muros. Autor: Juan M. Medina

5.2.3. OBTENCIÓN DE DATOS (LUXES POR PUNTO)

Al modelo 3D se le aplica un programa de soleamiento en los cuatro días del año seleccionados (solsticios de verano e invierno y equinoccios de otoño y primavera). Para ello se inserta una retícula de 500 puntos sobre los que obtener datos de iluminación concretos, a lo largo de toda la catedral y a una distancia de 1,50 metros del suelo (iluminación recibida por el espectador) (Fig. 5.28). Sobre estos datos, y una vez calculados los ángulos horizontales y azimut de cada día y hora exactos, se obtienen las gráficas de soleamiento y los valores buscados. (Fig. 5.29)

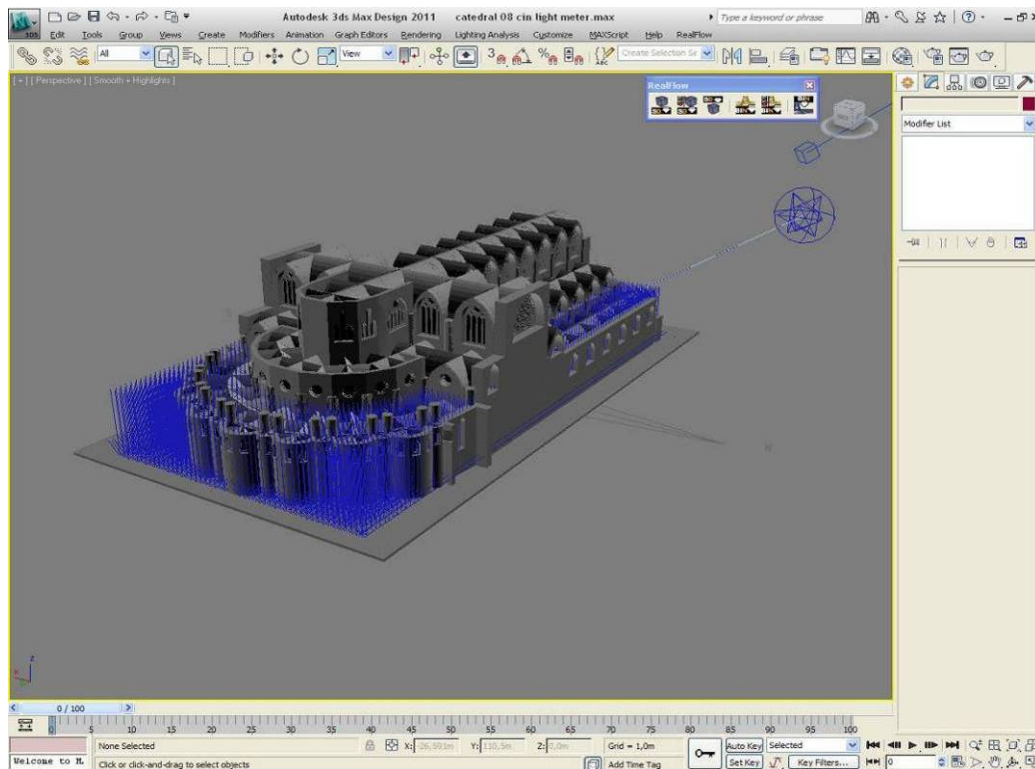


Fig. 5.28. Inserción de los 500 puntos de referencia para la medición.

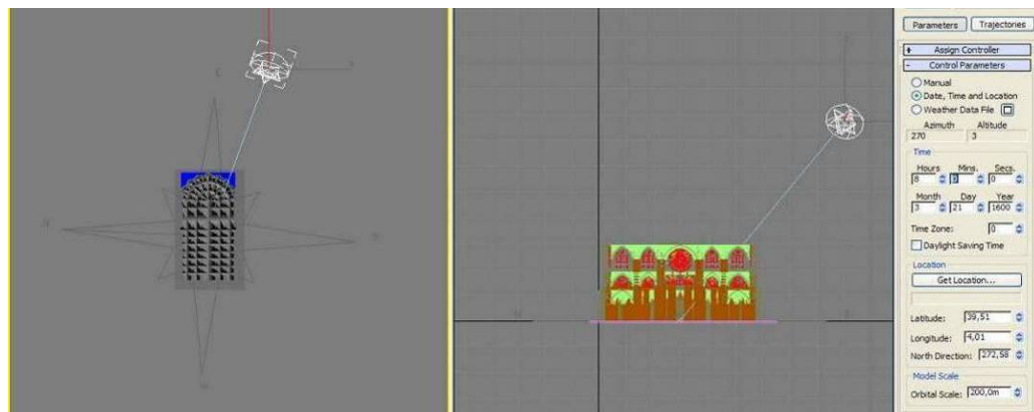
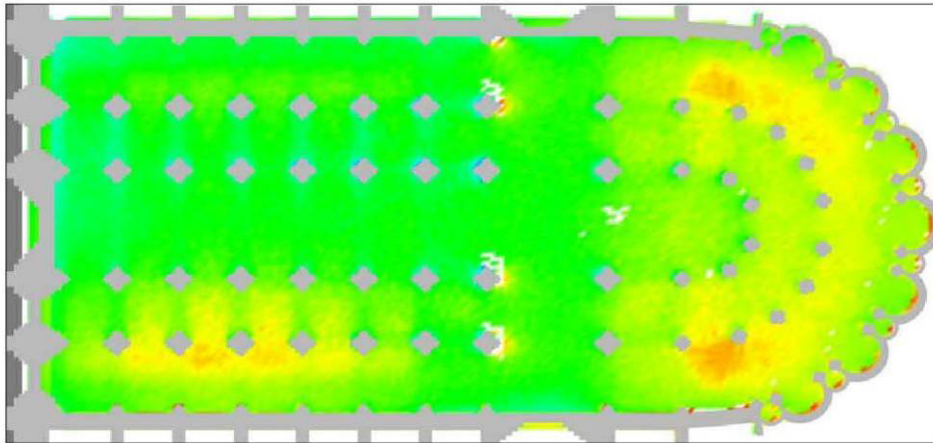


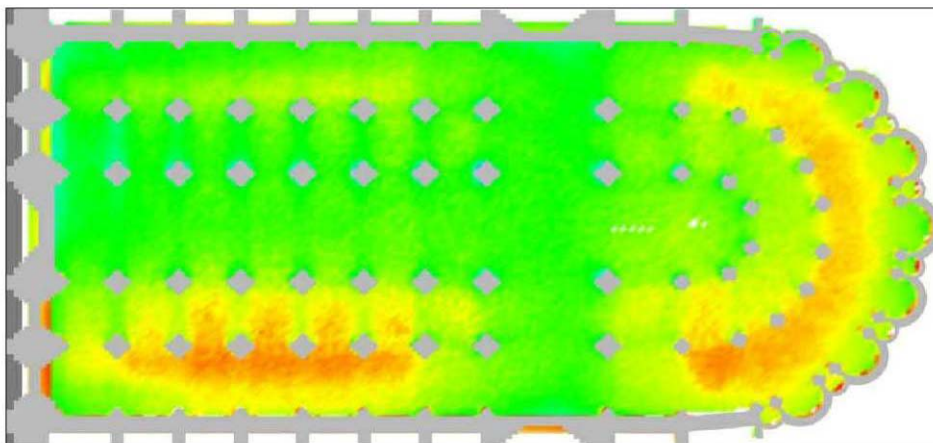
Fig. 5.29. Aplicación del soleamiento sobre el modelo (21 de marzo de 1600 a las 8.00h).

Los datos conseguidos con el programa, arrojan valores numéricos de iluminación (luxes por punto) en los 500 puntos censados y gráficas de colores del interior. (Fig. 5.30)

CATEDRAL DE TOLEDO
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



PLANTA 10:00



PLANTA 12:00



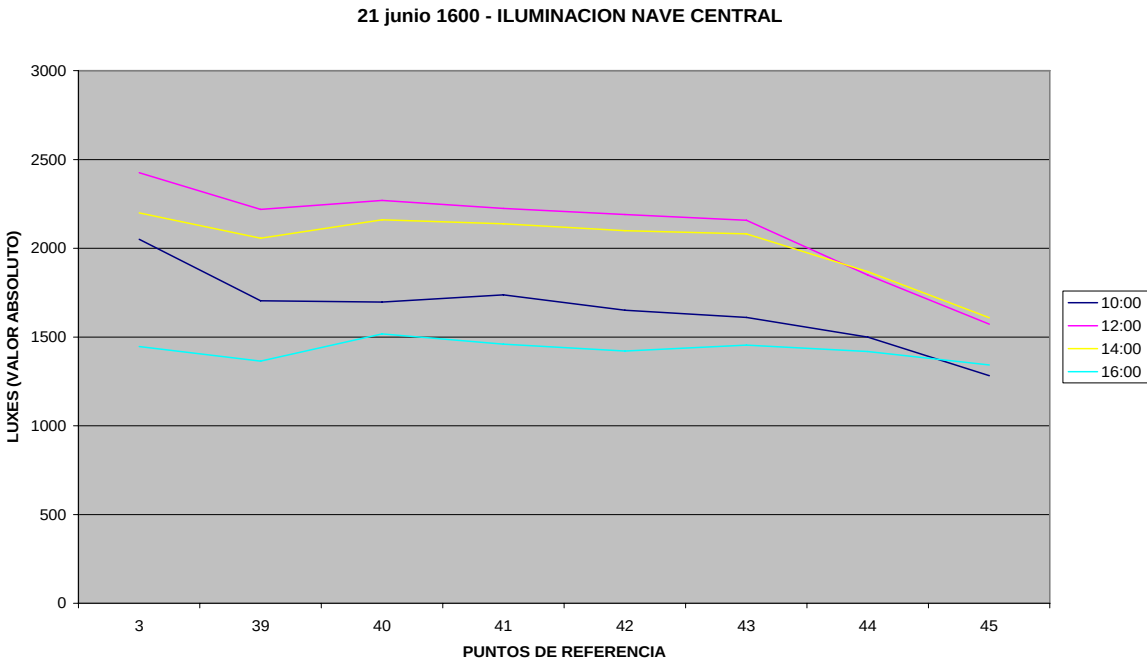
Fig. 5.30. Gráficas de iluminación del interior de la catedral de Toledo (21 de Junio de 1600 a las 10:00, y 12:00 horas). Autor: Juan M. Medina.

Estas gráficas, de alto valor representativo, sirven para analizar de manera pormenorizada, y tal como veremos más adelante, la evolución de la iluminación a lo largo del día y en los 4 días del año censados en las distintas naves de la catedral.

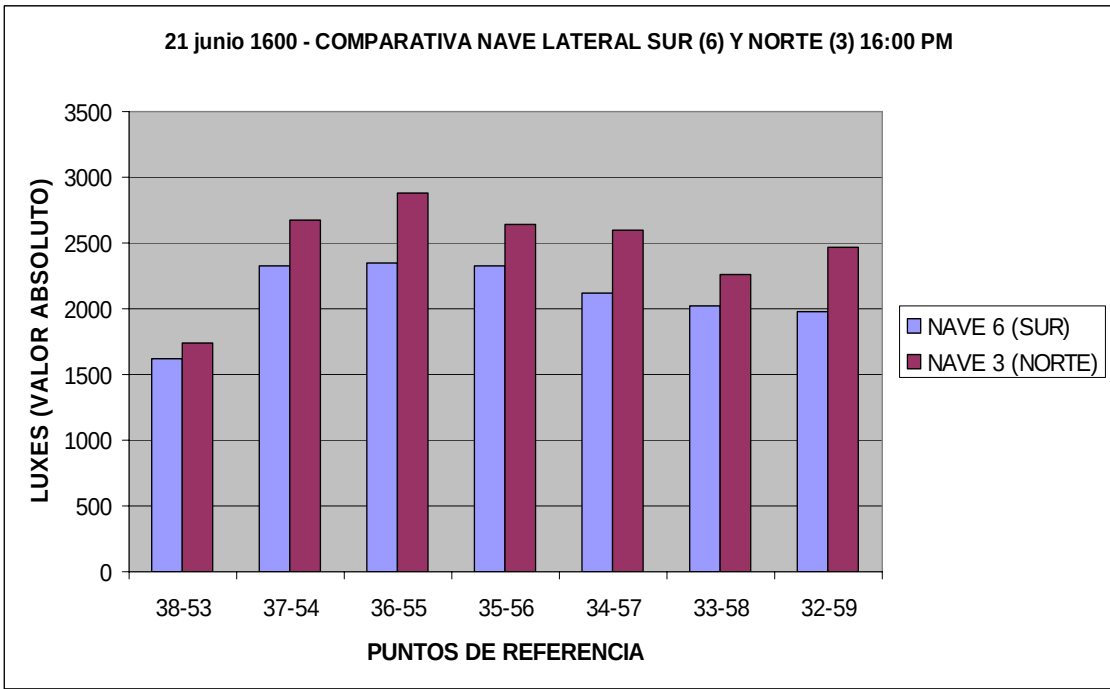
5.2.4. TRASLACIÓN DE DATOS A GRÁFICAS COMPARATIVAS

Con los datos numéricos obtenidos, extraemos las siguientes gráficas:

a) Gráficas por cada nave a lo largo del día

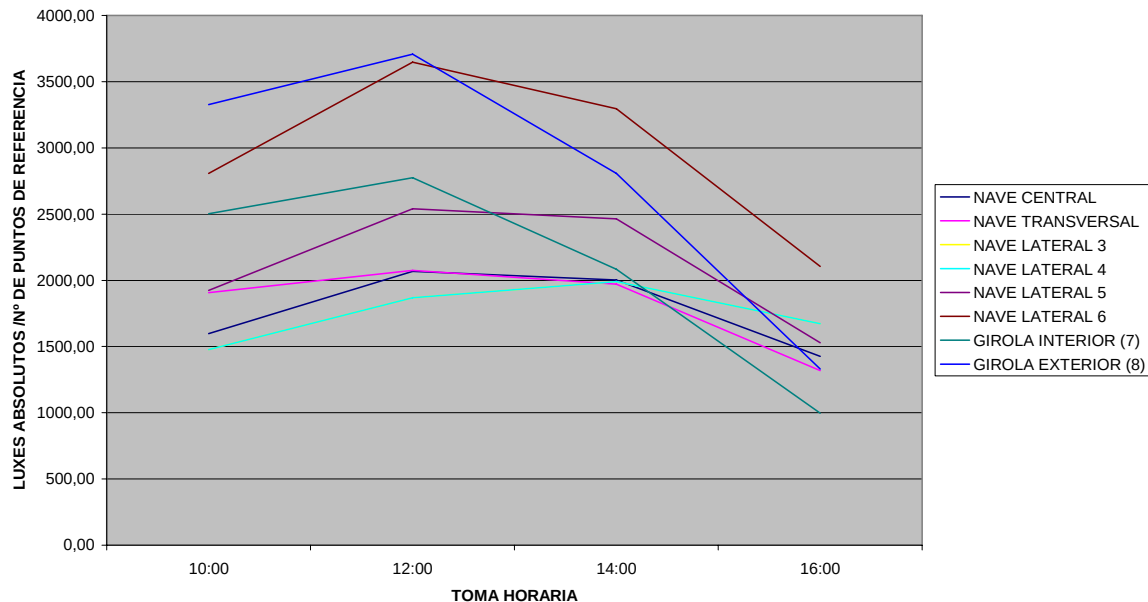


b) Gráficas comparativas entre naves en un momento concreto.



c) Gráficas de iluminación globales por nave en un día concreto.

21 junio 1600 - ILUMINACIÓN TOTAL POR ZONAS (SUMA DE LA LUZ TOTAL MEDIDA DIVIDIDA POR EL N° DE PUNTOS DE REFERENCIA EN CADA ZONA)



Todas estas gráficas se realizan para los 4 días del año seleccionados y las 4 horas prefijadas (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00), de tal modo, que las comparativas sirven para un profundo análisis de la situación, tanto para los distintos espacios de la catedral, como para las distintas horas del día y estaciones del año.

5.2.5. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ILUMINACIÓN EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS

Como complemento ineludible de la Tesis Doctoral, se estudia la **situación actual de la iluminación en las catedrales “muestra”**.

El estudio se realiza para cada una de las catedrales coincidente con uno de los días estudiados en la recreación 3D (solsticios de verano e invierno o equinoccios de primavera y otoño), poder comparar los resultados obtenidos.

Este estudio particular de cada catedral, consiste en la toma de datos de iluminación de todos los puntos de la catedral coincidentes con las claves de bóveda de cada tramo de la misma, en las cuatro horas en que hemos dividido el día (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00). (Fig. 5.31)

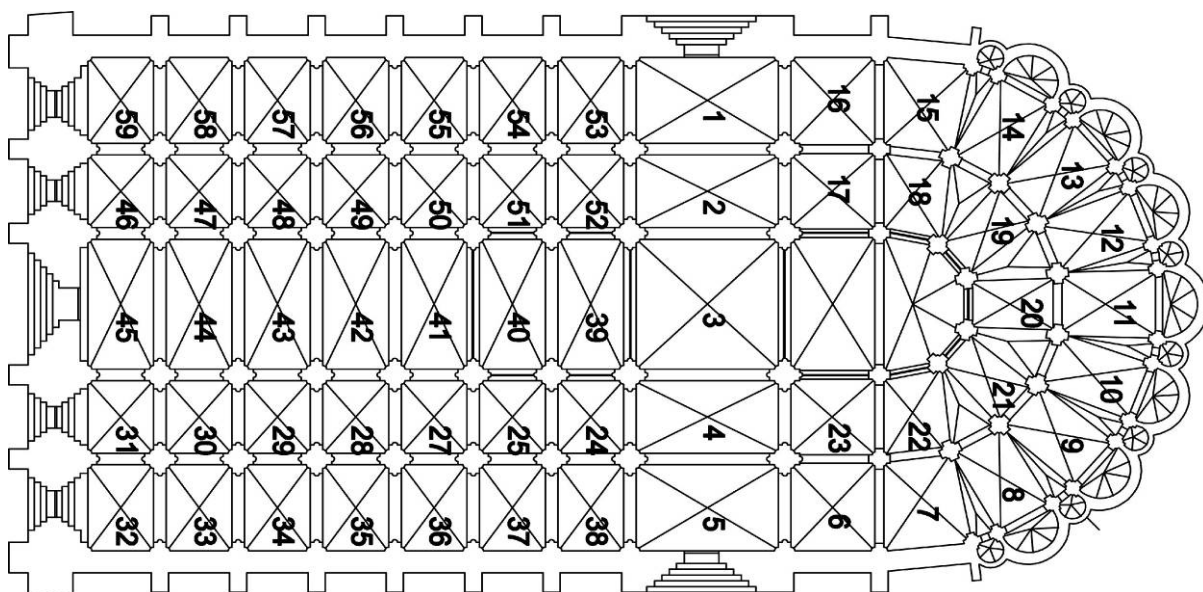


Fig. 5.31. Puntos de referencia tomados para el estudio de la iluminación actual de la catedral.

Con esta toma de datos se elaboran las correspondientes gráficas por naves y se comparan los resultados de iluminación en la actualidad con los obtenidos en el modelo 3D del proyecto original gótico, el mismo día y a las mismas horas. Tras realizar una conversión de equivalencia de valores para poder obviar el efecto de filtrado de la luz producido por las vidrieras, obtenemos finalmente, datos comparables que se reflejan en las correspondientes secciones por naves. (Fig. 5.32)

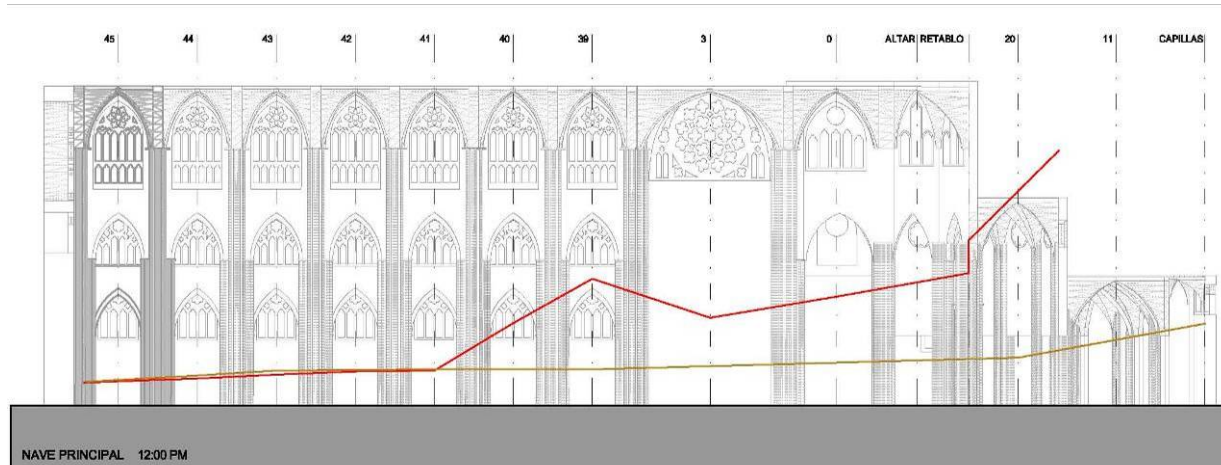


Fig. 5.32 Gráficas comparativas de iluminación entre el proyecto original gótico de la catedral de Toledo y la actualidad. Nave principal.

Este estudio y sus conclusiones se entienden como un complemento idóneo a la Tesis Doctoral, y se plantean en profundidad para las 6 catedrales "muestra", generando un

método preciso de entendimiento de las divergencias entre la iluminación gótica inicial y la actual, que podrá ser aplicado para el resto de catedrales del panorama español y europeo.

5.2.6. COMPARATIVA DE LAS DISTINTAS MUESTRAS

Los gráficos obtenidos con el modelo 3D, nos sirven no sólo para conocer la situación de la iluminación de una catedral concreta a lo largo de los distintos puntos de la misma, sino que una vez, comparando los datos entre las distintas muestras, el método de análisis nos arroja un espectro de conocimiento entre los distintos tipos de catedrales, lo que nos permite llegar al punto 7.

5.2.7. DEFINICIÓN DE LOS “TIPOS DE ILUMINACIÓN GÓTICA”

Generando nuestra propia **clasificación**, en base a los resultados obtenidos en las catedrales muestras e introduciendo en la clasificación el resto de catedrales españolas en función de sus indicadores morfológicos antes descritos.

5.3 INDICADORES UTILIZADOS PARA LA PRECLASIFICACIÓN

El estudio de la iluminación de las catedrales góticas se hace como se haría el de cualquier otro edificio disponible, midiendo tanto sus aspectos cualitativos (intensidad luminosa) como los cualitativos (variabilidad y color), con dos salvedades importantes:

En primer lugar, el edificio de estudio no posee en ningún caso las condiciones iniciales de construcción y en algunos casos ha sido gravemente modificado con el paso del tiempo, lo que nos impide aproximarnos a la naturaleza de su luz a través del estudio "in situ" de su iluminación natural.

En segundo lugar, la particularidad del color aportado por las vidrieras de los vanos que filtran definitivamente la cantidad de luz que penetra al interior y que la distorsionan radicalmente, hace que tampoco una medición con luxómetro "al uso" pudiera servir de referencia como para plantear una comparación entre catedrales con "colores" diferentes.

En el presente apartado, trataremos de describir cuáles son los aspectos fundamentales a tener en cuenta en lo referente a la medición de los distintos espacios góticos, desgranando los distintos **indicadores** definitorios de los mismos en aras de conseguir establecer una "**pre-clasificación**" de tipos de catedrales según su iluminación natural.

5.3.1 INDICADOR DE FORMA Y VOLUMEN: NÚMERO DE NAVES, ANCHO DE NAVES, ALTURA Y DECALAJES

La arquitectura gótica es uno de los primeros estilos arquitectónicos que utiliza la **sección escalonada** para la inserción de iluminación en el espacio interior central elevando la nave central con respecto a las laterales. Esta inteligente decisión de proyecto permite, no sólo el paso de la luz al interior de la misma, sino que adicionalmente favorece la función estructural, al contrarrestarse los empujes horizontales del cuerpo central mediante los laterales que funcionan como contrafuertes. (Fig. 5.33 y Fig. 5.34)

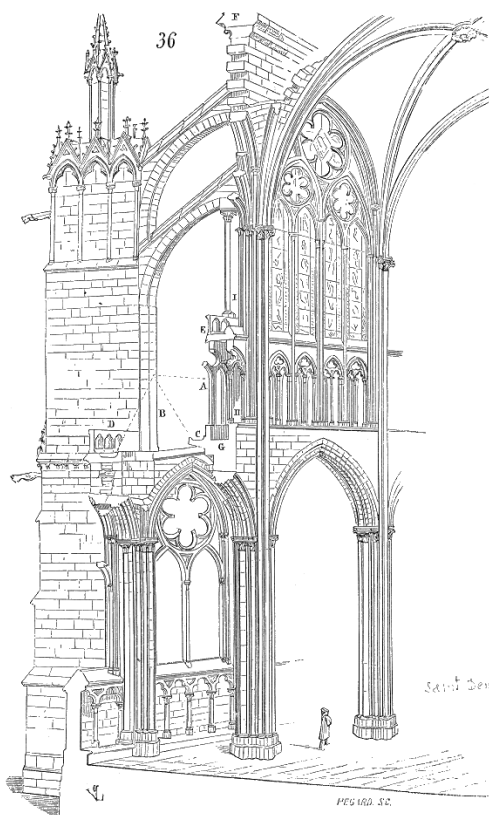


Fig. 5.33. Sección escalonada de la catedral de Saint Denis. Viollet-le-Duc.¹¹⁹

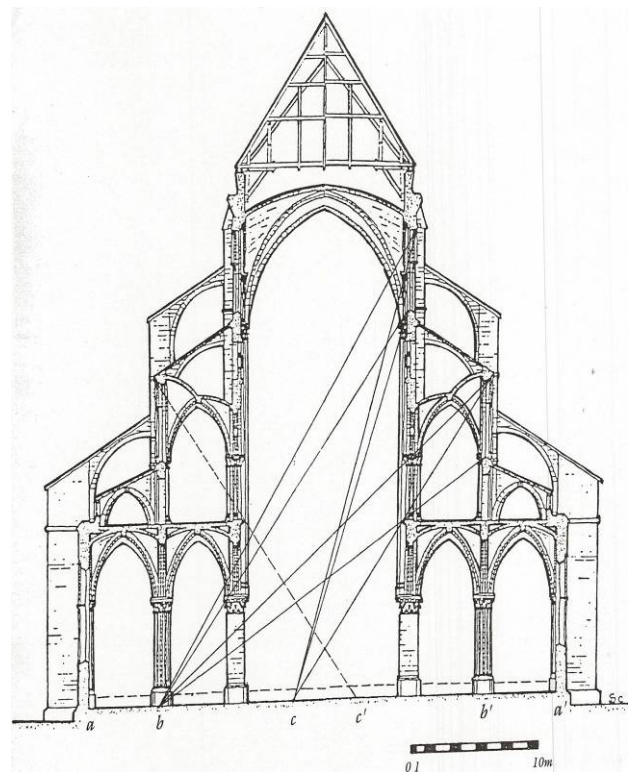


Fig. 5.34. Esquema de sección escalonada que muestra la incidencia de la luz el interior de una catedral según Robert Mark¹²⁰

La catedral busca, como describía Simson, ser iluminada en su totalidad. Si los deambulatorios “exteriores” (naves laterales) eran importantes, la nave central lo era mucho más, y por tanto *“ningún segmento del espacio interior de la catedral podía permanecer en la oscuridad, sin ser definido por la luz; las naves laterales, las tribunas de*

¹¹⁹ VIOLLET LE DUC, Eugène “*Dictionnaire raisonné de l'architecture française*”, Capítulo “Architecture Religieuse”

¹²⁰ MARK, Robert, “Light, Wind, and Structure: The mystery of the Master Builders”.

*encima de ellas, el deambulatorio y las capillas de la cabecera se hicieron más estrechas y menos profundas mientras que sus muros exteriores se veían traspasados por largas hileras de ventanas*¹²¹.

Este escalonamiento consigue aunar los criterios funcionales de introducción de luz al interior con el de las proporciones arquitectónicas para que estas: *"sean perfectas, y cuya belleza, que podemos admirar en las composiciones musicales y arquitectónicas, adquieran también en este enfoque una clara función técnica: la de encadenar y unir los diferentes elementos de que se compone el cosmos."*¹²²

Hay que tener en cuenta que los vanos arquitectónicos proporcionan un nivel de iluminación que disminuye exponencialmente con la profundidad del local. Así, la zona de *iluminancia útil*, I_u del vano, con luz difusa celeste, como regla general, se sitúa a una distancia $I_d = 1.5-2 H_v$, siendo H_v la altura de la ventana sobre el plano de observación.¹²³ Por tanto, en el caso de un vano de 2 metros de altura, podría valorarse su influencia en los 3.5, 4 metros de profundidad.

Trasladado a los valores de las catedrales góticas y tal como vemos en la Fig. 5.35 de la catedral de Toledo, el escalonamiento de la sección permite que los vanos cumplan su función de *iluminancia útil* en todas sus naves.

¹²¹ SIMSON, Otto Von, "La catedral gótica". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.26

¹²² SIMSON, Otto Von, "La catedral gótica". 1ª edición, Alianza Editorial, S.A, Madrid, 1993, ISBN: 8420670103 ISBN-13: 9788420670102. p.51

¹²³ YAÑEZ, Guillermo, "Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos". ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 423.

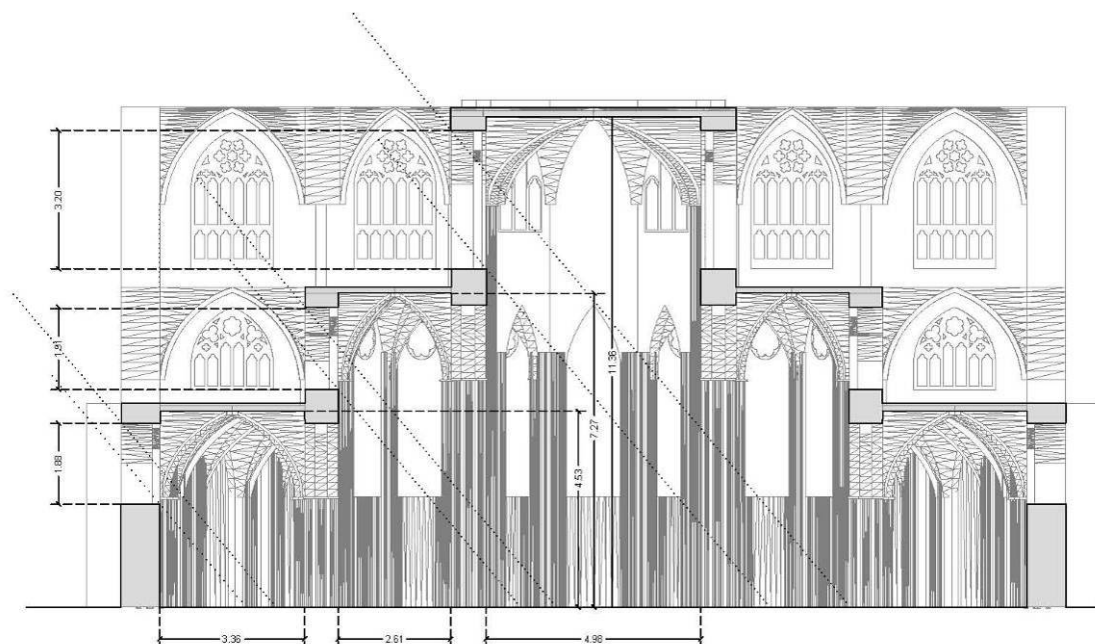


Fig. 5.35. Sección transversal de la Catedral de Toledo por los pies de la Iglesia. Autor: Juan M. Medina.

Así, en la nave lateral exterior tenemos 6.94 metros de altura de ventana (13.9 metros de l_u) para 13.21 metros de ancho de nave, en la nave lateral interior 6.66 metros de altura de ventana (13.2 metros de l_u) para 10.38 metros de ancho de nave, mientras que para la nave principal tendremos 10.82 metros de altura de ventana (21.6 metros de l_u) para la iluminación de la mitad de la nave (la otra mitad se ilumina por el vano enfrentado): 10.00 metros de ancho aproximadamente. Este factor de iluminancia útil es fácilmente comprobable si sistematizamos el estudio de las distintas secciones de las catedrales muestra.

Otro factor volumétrico fundamental para entender el comportamiento de la iluminación del espacio gótico en su generalidad es establecer el número de naves que componen cada catedral.

Tal como describía Jantzen de manera intuitiva, *"es distinto el efecto de una iglesia con tres naves de igual altura, en la que entra la luz por las paredes exteriores de las naves laterales de la de un ámbito de corte basilical, donde la luz se acumula en la nave central y luego vuelve a penetrar con fuerza por los altos ventanales del ábside"*.¹²⁴

¹²⁴ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

Se tendrá en cuenta, por tanto, la composición de naves de cada catedral muestra y el ancho de las mismas a la hora de estudiar su incidencia en la iluminación general de los espacios y en particular en la incidencia que tiene el número de naves en la iluminación final de la nave central. Si aislamos ese dato (todas las catedrales tienen nave central), podremos comparar la influencia que ofrece la disposición o no de naves laterales sobre la iluminación de la central.

Por último, dentro de los factores volumétricos a tener en cuenta, debemos establecer la influencia que la altura de vano tiene sobre la definición de la luz resultante a nivel del espectador.

Atendiendo a lo descrito en el capítulo de las corrientes actuales del gótico, usaremos los esquemas de Robert Mark y sus estudios sobre la iluminación en las catedrales (Fig. xxx). Sabemos que la luz se asocia a condiciones de matiz, brillo y saturación y, aunque los matices y la saturación se refieren a colores y los trataremos más adelante, el brillo se refiere a superficies de iluminación y puede ser medido por una fotocélula o luxómetro en luxes. La potencia luminosa medida en luxes se rige por la fórmula:

$$B=I/S^2 \text{ (Fig. 5.36)}$$

Donde,

B, es la superficie de iluminación (en luxes por cm.).

I, se refiere a la intensidad de la luz emisora, y

S, se refiere a la distancia desde la fuente de luz ("longitud del camino de la luz") hasta la superficie de iluminación (cm.).

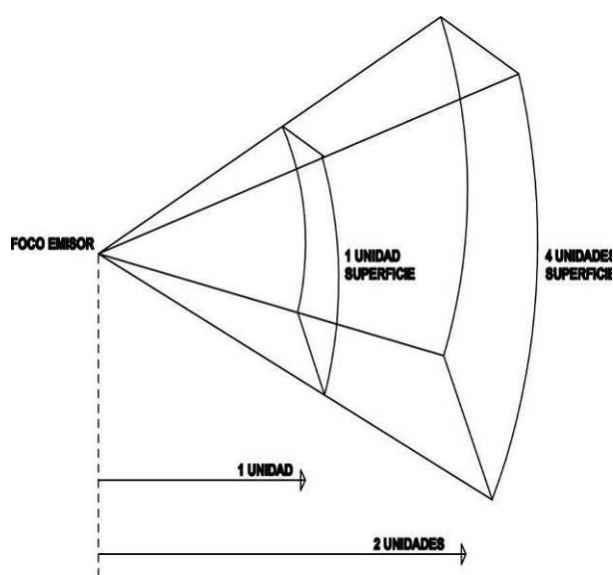


Fig. 5.36. Esquema que ilustra la variación de iluminación con la distancia. Interpretación de las teorías de Robert Mark. Autor Juan M. Medina

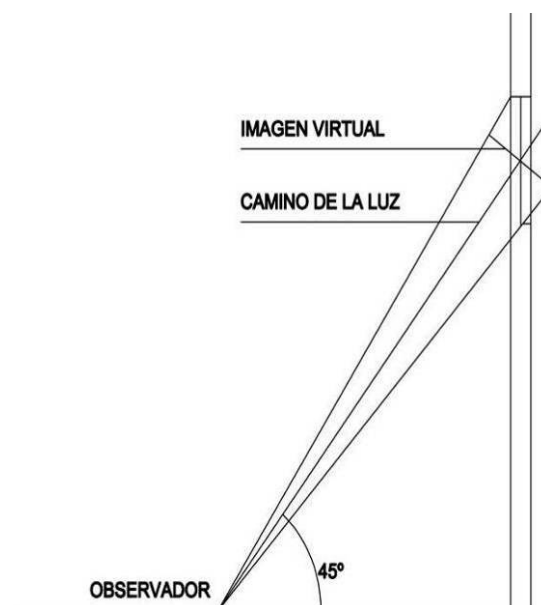


Fig. 5.37. Esquema que ilustra la incidencia de la luz en relación a su ángulo. Esquemas interpretados de las teorías de Robert Mark. Autor Juan M. Medina

Por otro lado, y siguiendo el esquema del “camino de la luz” aplicado sobre una superficie concreta (Fig. 5.37), si estudiamos el ejemplo de incidencia solar a 45° con respecto al eje x de la apertura en el muro, la ventana aparece al observador según una imagen virtual, de ahí que la fuente de iluminación disponible para iluminar la superficie del suelo estará en función de la altura de la ventana por el coseno de 45° (0.707), es decir, que esta se reduce en un 71 % del total de la fuente luminosa.

Con estos dos sencillos esquemas, el autor determina, como establecíamos con anterioridad que, mientras que al aumentar la altura de una ventana dentro de un muro, el coseno del ángulo es cada vez menor y por lo tanto así lo será también el valor de la incidencia luminosa sobre el observador, también al aumentar la distancia sobre el suelo, la superficie iluminada aumenta según su cuadrado. (Fig. 5.36).¹²⁵

La introducción de las catedrales estudiadas dentro del programa de solemiento informático, tal como veremos más adelante, hace que todos estos factores de distancia y proporción se tengan en cuenta en el resultado final, pero la fusión de todos los condicionantes a la vez nos impide saber la influencia que cada uno de los indicadores tiene en la distribución final de la luz.

¹²⁵ MARK, Robert, “Light, Wind, and Structure: The mystery of the Master Builders”. p. 44 y 45.

Por ello, y para comprobar la veracidad de estos valores teóricos descritos por Robert Mark, se realiza un “experimento volumétrico” que determina los cambios que produce en la iluminación final la altura de la catedral. El experimento realizado consiste en comparar la luminosidad de un **modelo en 3D de la catedral de Toledo** con sus dimensiones originales en contraposición con otro modelo exacto en todas sus medidas pero con **5 metros más de altura** en todas sus naves.

La lógica del esquema de la Figura 5.36 interpretada de los esquemas de Mark hace pensar que en la recreación más alta, al aumentar el ángulo de incidencia solar y mantener los mismos huecos, la resultante luminosa aplicada sobre el suelo debería ser inferior, aunque queda la incógnita por resolver de cómo afecta la mayor superficie de exposición generada por el aumento de la distancia y por supuesto el efecto de las reflexiones de los elementos constructivos.

Tras introducir los dos modelos en 3 dimensiones de las catedrales de Toledo (original) (Fig. 5.38 y Fig. 5.39) y de la catedral distorsionada (5 metros más alta), obtenemos los valores numéricos de iluminación a lo largo de la catedral (Fig. 5.40 y Fig. 5.41) y las gráficas de iluminación correspondientes (Fig. 5.42 y Fig. 5.43).

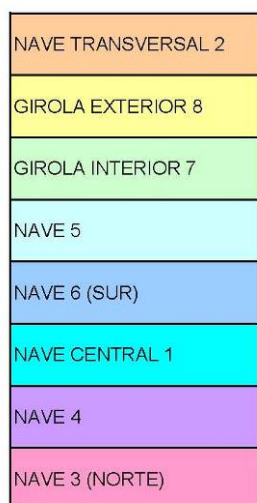


Fig. 5.38. Esquema de colores de las naves. Autor: J. Medina

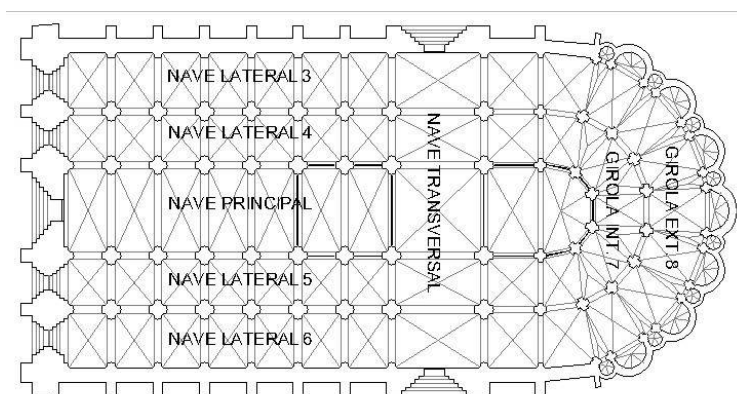


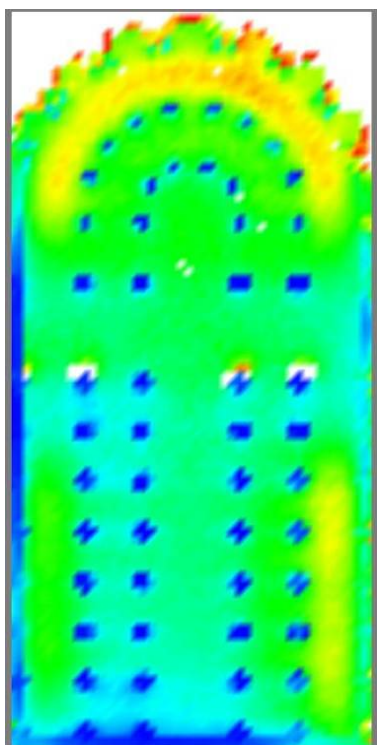
Fig. 5.39. Esquema por naves de la catedral de Toledo. Autor: J. Medina

		21 JUNIO 1600						Escalado 2008/1600	
		Escalado 10:00 2008/1600	12:00	Escalado 2008/1600	14:00	Escalado 2008/1600	16:00		
NAVE TRANSVERSAL 2	1	1908	4,49	1645	3,87	1742	4,10	1321	3,11
	2	1794	4,22	2074	4,88	1946	4,58	1319	3,10
	3	2050	4,82	2425	5,71	2199	5,17	1446	3,40
	4	1962	4,62	2266	5,33	2116	4,98	1292	3,04
	5	1821	4,28	1967	4,63	1854	4,36	1217	2,86
GIROLA EXTERIOR 8	6	2684	6,32	2802	6,59	2026	4,77	1053	2,48
	7	3630	8,54	3840	9,04	2972	6,99	1305	3,07
	8	3691	8,68	3893	9,16	3432	8,08	1501	3,53
	9	3654	8,60	4057	9,55	3527	8,30	1726	4,06
	10	3573	8,41	4018	9,45	3377	7,95	1224	2,88
	11	3473	8,17	4071	9,58	3220	7,58	904	2,13
	12	3508	8,25	4291	10,10	2906	6,84	1360	3,20
	13	3451	8,12	4121	9,70	2790	6,56	1584	3,73
	14	3383	7,96	3926	9,24	2651	6,24	1543	3,63
	15	3175	7,47	3298	7,76	2226	5,24	1239	2,92
GIROLA INTERIOR 7	16	2371	5,58	2475	5,82	1757	4,13	1198	2,82
	17	2134	5,02	2510	5,91	1947	4,58	1083	2,55
	18	2358	5,55	2623	6,17	1889	4,44	1051	2,47
	19	2406	5,66	2630	6,19	1913	4,50	923	2,17
	20	2644	6,22	2958	6,96	2224	5,23	816	1,92
	21	2593	6,10	2777	6,53	2148	5,05	858	2,02
	22	2810	6,61	3079	7,24	2313	5,44	1114	2,62
	23	2572	6,05	2845	6,69	2147	5,05	1132	2,66
NAVE 5	24	1591	3,74	2278	5,36	2245	5,28	1510	3,55
	25	1839	4,33	2552	6,00	2493	5,87	1613	3,80
	27	2190	5,15	2754	6,48	2678	6,30	1646	3,87
	28	2198	5,17	2925	6,88	2699	6,35	1567	3,69
	29	2028	4,77	2765	6,51	2543	5,98	1480	3,48
	30	2035	4,79	2466	5,80	2479	5,83	1455	3,42
	31	1593	3,75	2040	4,80	2112	4,97	1433	3,37
NAVE 6 (SUR)	32	2996	7,05	3616	8,51	3491	8,21	1974	4,64
	33	3516	8,27	4162	9,79	3608	8,49	2019	4,75
	34	3365	7,92	4325	10,18	3381	7,96	2125	5,00
	35	3216	7,57	4236	9,97	3565	8,39	2328	5,48
	36	2989	7,03	3804	8,95	3419	8,04	2346	5,52
	37	2093	4,92	3192	7,51	3251	7,65	2322	5,46
	38	1475	3,47	2198	5,17	2359	5,55	1619	3,81
NAVE CENTRAL 1	39	1705	4,01	2219	5,22	2057	4,84	1364	3,21
	40	1697	3,99	2269	5,34	2160	5,08	1517	3,57
	41	1737	4,09	2224	5,23	2138	5,03	1460	3,44
	42	1651	3,88	2190	5,15	2099	4,94	1421	3,34
	43	1610	3,79	2158	5,08	2081	4,90	1454	3,42
	44	1499	3,53	1850	4,35	1869	4,40	1418	3,34
	45	1282	3,02	1572	3,70	1609	3,79	1343	3,16
NAVE 4	46	1225	2,88	1415	3,33	1613	3,80	1726	4,06
	47	1603	3,77	1897	4,46	2038	4,80	1676	3,94
	48	1643	3,87	1992	4,69	2012	4,73	1677	3,95
	49	1621	3,81	2120	4,99	2213	5,21	1695	3,99
	50	1609	3,79	2014	4,74	2124	5,00	1728	4,07
	51	1288	3,03	1830	4,31	1996	4,70	1652	3,89
	52	1353	3,18	1815	4,27	1933	4,55	1549	3,64
NAVE 3 (NORTE)	53	1461	3,44	1802	4,24	2055	4,84	1738	4,09
	54	1996	4,70	2871	6,76	3018	7,10	2672	6,29
	55	2635	6,20	3254	7,66	3298	7,76	2879	6,77
	56	2564	6,03	3008	7,08	3164	7,44	2644	6,22
	57	2654	6,24	2914	6,86	3068	7,22	2599	6,12
	58	2524	5,94	2653	6,24	2848	6,70	2261	5,32
	59	1955	4,60	2230	5,25	2354	5,54	2463	5,80

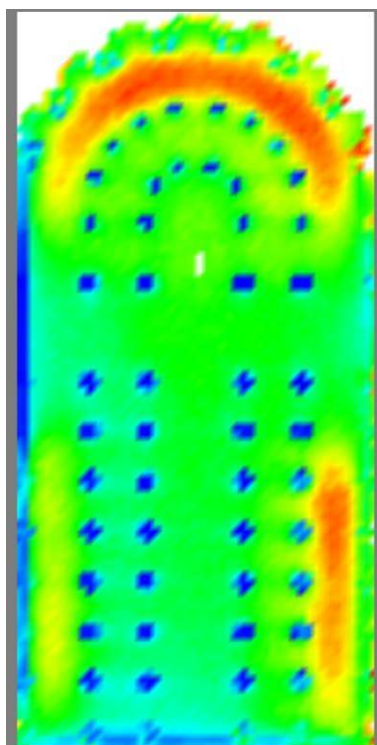
Fig. 5.40. Tabla de valores en luxes para el 21 de junio de 1600. Autor Juan M. Medina.

	21 JUNIO 1600 5 METROS MÁS ALTA								
	10:00	Escalado 2008/1600	12:00	Escalado 2008/1600	14:00	Escalado 2008/1600	16:00	Escalado 2008/1600	
NAVE TRANSVERSAL 2	1	897	2,11	1190	2,80	1166	2,74	1124	2,64
	2	1489	3,50	1677	3,95	1765	4,15	1444	3,40
	3	1159	2,73	1358	3,20	1459	3,43	1244	2,93
	4	989	2,33	1154	2,72	1279	3,01	1051	2,47
	5	1294	3,04	1635	3,85	1597	3,76	1182	2,78
GIROLA EXTERIOR 8	6	1838	4,32	2069	4,87	1942	4,57	1183	2,78
	7	1932	4,55	2082	4,90	1937	4,56	1162	2,73
	8	1482	3,49	1670	3,93	1628	3,83	1187	2,79
	9	2253	5,30	2301	5,41	2293	5,40	1546	3,64
	10	1270	2,99	1380	3,25	1517	3,57	1204	2,83
	11	1475	3,47	1810	4,26	1797	4,23	1085	2,55
	12	1512	3,56	1444	3,40	1700	4,00	1281	3,01
	13	1730	4,07	1760	4,14	1961	4,61	1484	3,49
	14	1564	3,68	1693	3,98	1761	4,14	1446	3,40
	15	1529	3,60	1675	3,94	1609	3,79	1193	2,81
GIROLA INTERIOR 7	16	1363	3,21	1570	3,69	1553	3,65	1097	2,58
	17	1500	3,53	1600	3,76	1700	4,00	1300	3,06
	18	1722	4,05	1763	4,15	1912	4,50	1471	3,46
	19	1765	4,15	1960	4,61	1966	4,63	1158	2,72
	20	1778	4,18	1958	4,61	1926	4,53	1233	2,90
	21	2107	4,96	2213	5,21	2224	5,23	1475	3,47
	22	1473	3,47	1583	3,72	1650	3,88	1206	2,84
	23	2188	5,15	2337	5,50	2191	5,16	1426	3,36
NAVE 5	24	2010	4,73	2308	5,43	2172	5,11	1418	3,34
	25	1869	4,40	2140	5,04	2058	4,84	1384	3,26
	27	1800	4,24	2100	4,94	2060	4,85	1400	3,29
	28	1743	4,10	2089	4,92	2082	4,90	1408	3,31
	29	1602	3,77	1939	4,56	1956	4,60	1371	3,23
	30	474	1,12	828	1,95	1088	2,56	915	2,15
	31	531	1,25	917	2,16	1896	4,46	1585	3,73
NAVE 6 (SUR)	32	1034	2,43	1757	4,13	2912	6,85	1855	4,36
	33	854	2,01	1215	2,86	1112	2,62	836	1,97
	34	1641	3,86	1990	4,68	2039	4,80	1584	3,73
	35	1665	3,92	1973	4,64	2076	4,88	1325	3,12
	36	1040	2,45	1274	3,00	1291	3,04	972	2,29
	37	1719	4,04	2045	4,81	1941	4,57	1186	2,79
	38	1723	4,05	2110	4,96	1836	4,32	1175	2,76
NAVE CENTRAL 1	39	1702	4,00	1952	4,59	1834	4,32	1242	2,92
	40	1320	3,11	1513	3,56	1420	3,34	978	2,30
	41	766	1,80	1003	2,36	1182	2,78	1044	2,46
	42	1299	3,06	1700	4,00	1660	3,91	1156	2,72
	43	1206	2,84	1731	4,07	1718	4,04	1130	2,66
	44	805	1,89	1076	2,53	1233	2,90	1020	2,40
	45	273	0,64	691	1,63	1565	3,68	1766	4,16
NAVE 4	46	134	0,32	1237	2,91	3122	7,35	2620	6,16
	47	849	2,00	1225	2,88	1386	3,26	1229	2,89
	48	1185	2,79	1501	3,53	1574	3,70	990	2,33
	49	1105	2,60	1394	3,28	1392	3,28	943	2,22
	50	1226	2,88	1543	3,63	1649	3,88	1454	3,42
	51	1300	3,06	1600	3,76	1700	4,00	1200	2,82
	52	1578	3,71	1798	4,23	1734	4,08	1127	2,65
NAVE 3 (NORTE)	53	1274	3,00	1507	3,55	1397	3,29	1050	2,47
	54	1128	2,65	1280	3,01	1362	3,20	990	2,33
	55	1008	2,37	1391	3,27	1500	3,53	1406	3,31
	56	1021	2,40	1333	3,14	1298	3,05	972	2,29
	57	812	1,91	1367	3,22	1740	4,09	1521	3,58
	58	656	1,54	1224	2,88	1664	3,92	1429	3,36
	59	76	0,18	426	1,00	1557	3,66	1842	4,33

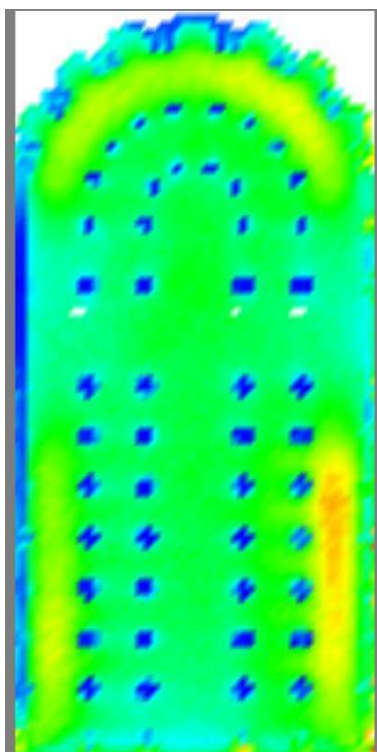
Fig. 5.41. Tabla de valores en luxes para el 21 de junio de 1600. Catedral 5 metros más alta. Autor Juan M. Medina.



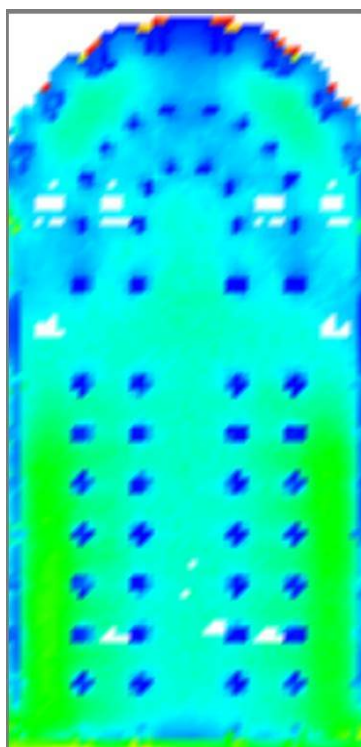
21 Junio. 10:00 horas



21 Junio. 12:00 horas

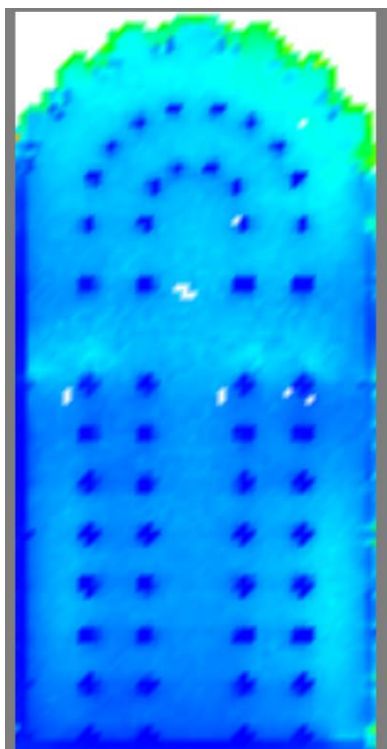


21 Junio. 14:00 horas

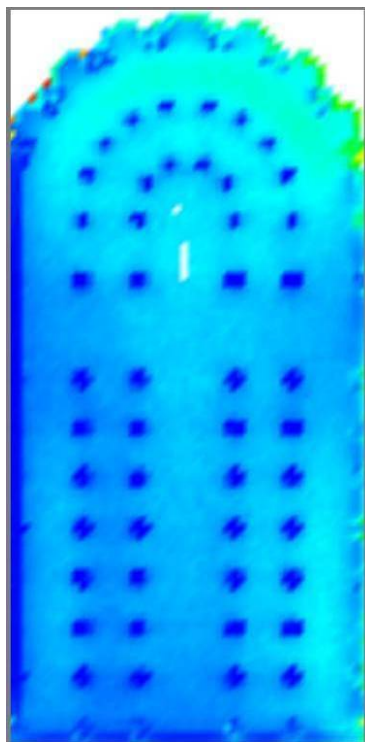


21 Junio. 16:00 horas

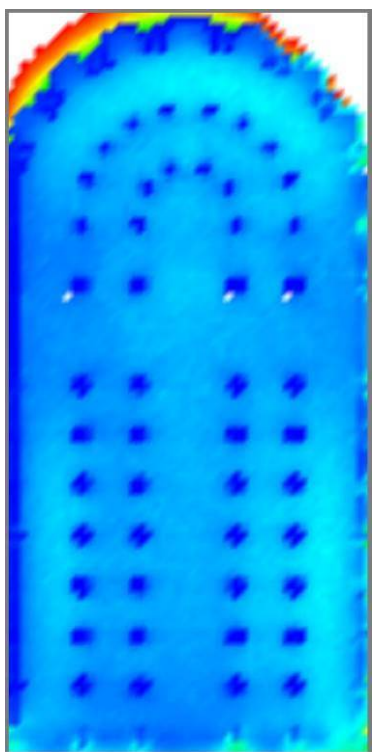
Fig. 5.42. Gráficas de iluminación de la catedral de Toledo el 21 de Junio de 1600. Dimensiones reales del proyecto gótico. Autor: Juan M. Medina



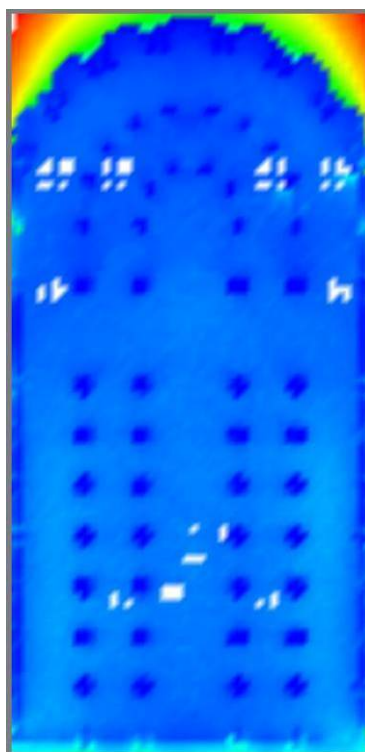
21 Junio. 10:00 horas



21 Junio. 12:00 horas



21 Junio. 14:00 horas



21 Junio. 16:00 horas

Fig. 5.43. Gráficas de iluminación de la catedral de Toledo el 21 de Junio de 1600. Altura de naves 5 metros más altas que la catedral original. Autor: Juan M. Medina

Como se ve de manera intuitiva al observar las gráficas de colores, la cantidad de iluminación en términos absolutos recibida desciende considerablemente de una catedral a otra, siendo el descenso proporcional en todas sus naves, comportándose las graficas de manera homogénea pero escaladas. Si nos atenemos a las cifras arrojadas por los modelos de luxes totales recibidos se obtienen los siguientes cuadros comparativos.

VALORES DE ILUMINACIÓN CATEDRAL ORIGINAL (LUXES) 21 DE JUNIO 1600				
	10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL POR PUNTO	1597,29	2068,86	2001,86	1425,29
NAVE CENTRAL TOTAL	11181,00	14482,00	14013,00	9977,00
NAVE TRANSVERSAL POR PUNTO	1907	2075,4	1971,4	1319
NAVE TRANSVERDAL TOTAL	9535,00	10377,00	9857,00	6595,00
NAVE LATERAL 3 POR PUNTO	2255,57	2676,00	2829,29	2465,14
NAVE LATERAL 3 TOTAL	15789,00	18732,00	19805,00	17256,00
NAVE LATERAL 4 POR PUNTO	1477,43	1869,00	1989,86	1671,86
NAVE LATERAL 4 TOTAL	10342,00	13083,00	13929,00	11703,00
NAVE LATERAL 5 POR PUNTO	1924,86	2540,00	2464,14	1529,14
NAVE LATERAL 5 TOTAL	13474,00	17780,00	17249,00	10704,00
NAVE LATERAL 6 POR PUNTO	2807,14	3647,57	3296,29	2104,71
NAVE LATERAL 6 TOTAL	19650,00	25533,00	23074,00	14733,00
GIROLA INTERIOR POR PUNTO	2502,42	2774,57	2083,00	996,71
GIROLA INTERIOR TOTAL	17517,00	19422,00	14581,00	6977,00
GIROLA EXTERIOR POR PUNTO	3326,64	3708,36	2807,64	1330,64
GIROLA EXTERIOR TOTAL	36593,00	40792,00	30884,00	14637,00
TOTAL LUXES INCIDENTES / HORA	134081,00	160201,00	143392,00	92582,00
TOTAL LUXES INCIDENTES	530256,00			

VALORES DE ILUMINACIÓN CATEDRAL 5 METROS MÁS ALTA (LUXES) 21 DE JUNIO 1600				
	10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL POR PUNTO	1053,00	1380,86	1516,00	1190,86
NAVE CENTRAL TOTAL	7371,00	9666,00	10612,00	8336,00
NAVE TRANSVERSAL POR PUNTO	1165,6	1402,8	1453,2	1209
NAVE TRANSVERSAL TOTAL	5828,00	7014,00	7266,00	6045,00
NAVE LATERAL 3 POR PUNTO	853,57	1218,29	1502,57	1315,71
NAVE LATERAL 3 TOTAL	5975,00	8528,00	10518,00	9210,00
NAVE LATERAL 4 POR PUNTO	1053,86	1471,14	1793,86	1366,14
NAVE LATERAL 4 TOTAL	7377,00	10298,00	12557,00	9563,00
NAVE LATERAL 5 POR PUNTO	1432,71	1760,14	1901,71	1354,43
NAVE LATERAL 5 TOTAL	10029,00	12321,00	13312,00	9481,00
NAVE LATERAL 6 POR PUNTO	1382,29	1766,29	1886,71	1276,14
NAVE LATERAL 6 TOTAL	9676,00	12364,00	13207,00	8933,00
GIROLA INTERIOR POR PUNTO	1790,4286	1916,2857	1938,4286	1324,1429
GIROLA INTERIOR TOTAL	12533,00	13414,00	13569,00	9269,00
GIROLA EXTERIOR POR PUNTO	1631,64	1768,55	1790,73	1260,73
GIROLA EXTERIOR TOTAL	17948,00	19454,00	19698,00	13868,00
TOTAL LUXES INCIDENTES / HORA	76737,00	93059,00	100739,00	74705,00
TOTAL LUXES INCIDENTES	345240,00			

Por lo tanto, lo que comprobábamos de manera intuitiva queda reflejado con una diferencia de iluminación de 530.256 luxes frente a los 345.240 de la catedral más alta, **un 53 % más iluminada la original que la manipulada**. Se puede comprobar igualmente que los descensos son constantes y equivalentes en todos los espacios de la catedral, por lo tanto son resultados coherentes, parece que el esquema del “aumento del coseno” de inclinación del camino de la luz virtual ha ganado al esquema del aumento de iluminación porcentual por alejamiento del objeto emisor.

Estos datos quedan perfectamente expresados a través de la representación a los pies de la iglesia de la influencia de la iluminación entre la catedral original y la que es 5 metros más alta (Fig. 5.44)

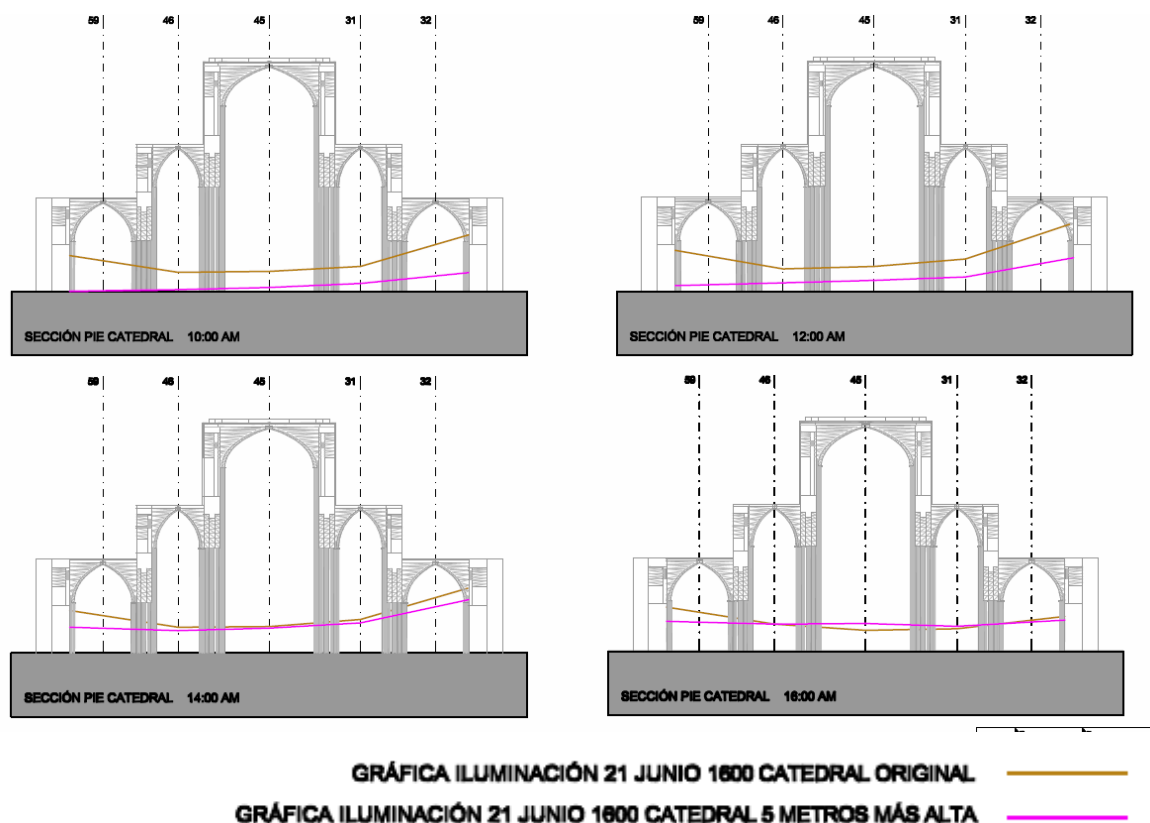


Fig. 5.44. Gráfica comparativa de la diferencia en iluminación entre la catedral de Toledo original y otra 5 metros más alta. Autor: Juan M. Medina.

Pero no sólo la iluminación general de la catedral se ve modificado por la relación volumétrica de la misma, también la iluminación directa se ve directamente modificada por las relaciones de esbeltez (altura/anchura) de las naves. Si el ángulo de entrada del sol es el mismo, la incidencia "directa" de los rayos solares sobre el espectador, esa luz coloreada tan arrebatadora que es proyectada sobre los fieles (Fig. 5.45) queda desplazada si el edificio es 5 metros más alto o más bajo.

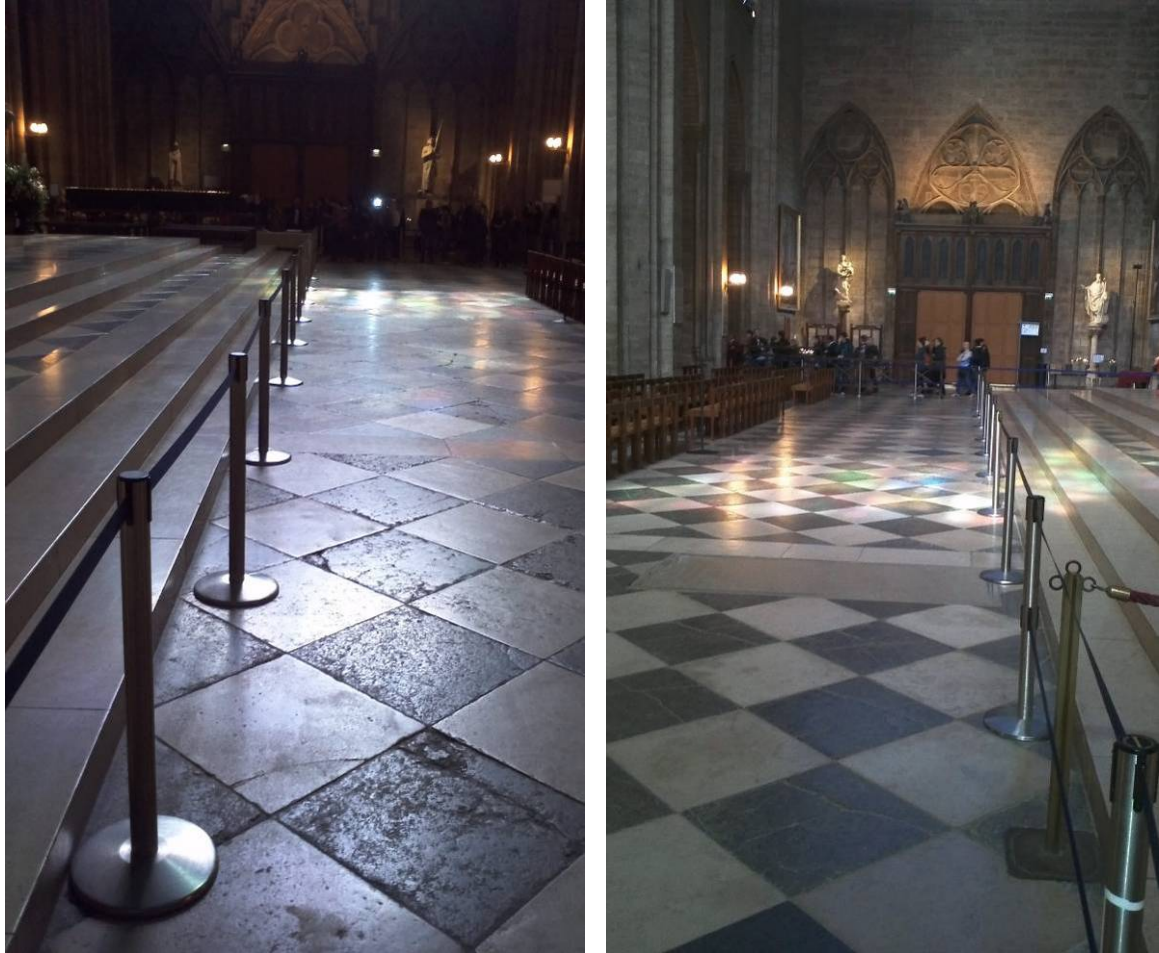


Fig. 5.45. Crucero de la catedral de Notre Dame de París invadido por la luz del rosetón este. 21 de junio de 2008, Fotografía: Juan M. Medina.

Por eso, y dentro del estudio general de la iluminación de la catedral muestra, estudiaremos tanto el efecto que tiene la luz difusa (cantidad de luxes por punto en cada nave) a través de las consabidas gráficas de iluminación indirecta (Fig. 5.46), como el de la iluminación directa sobre la nave principal, a través del estudio de las secciones de las distintas catedrales estudiadas, con el ángulo solar de cada día representado y estableciendo la proporción de suelo de la nave central "impactado" por rayos solares directos. (Fig. 5.47)

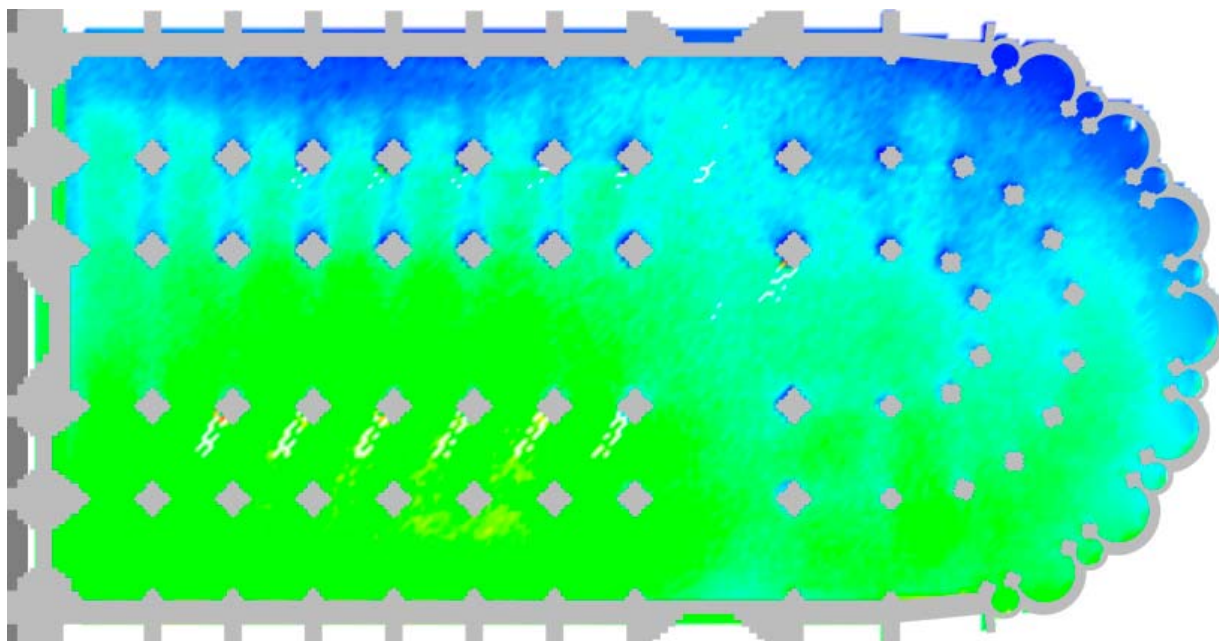


Fig. 5.46. Gráfica de iluminación total en la catedral de Toledo (directa e indirecta). 12 de diciembre de 1600. Fuente: Juan M. Medina.

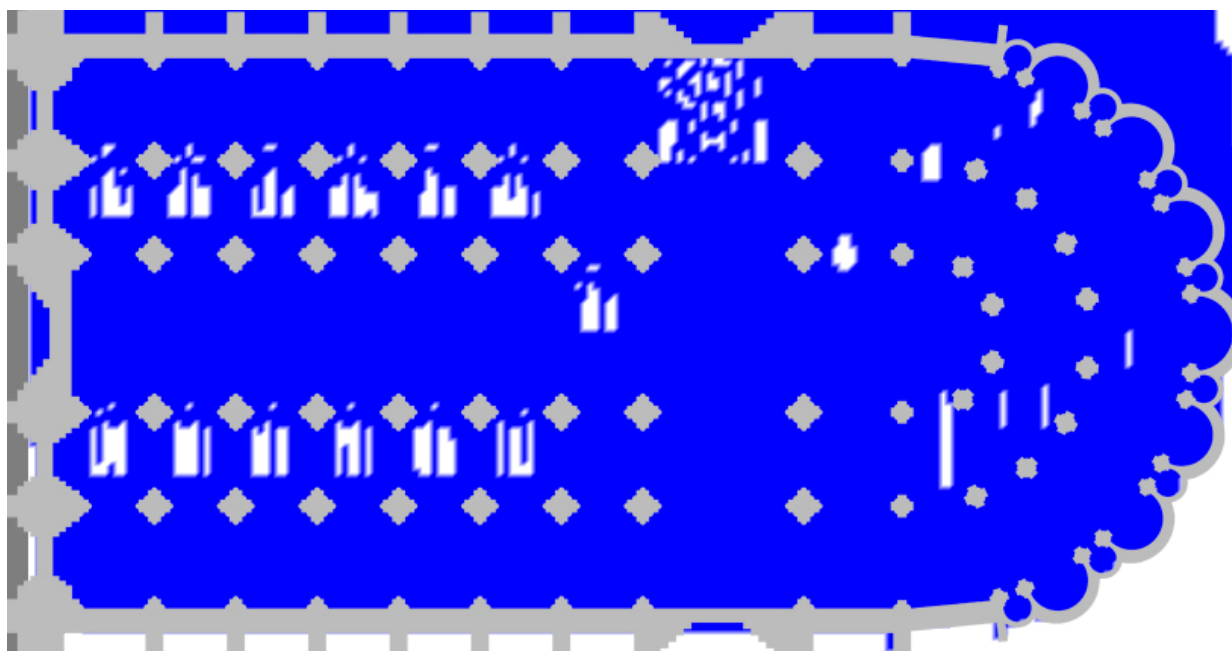


Fig. 5.47. Gráfica de iluminación directa en la catedral de Toledo. 12 de diciembre de 1600. Fuente: Juan M. Medina.

5.3.2 INDICADOR DE RELACIÓN VANO/MURO.

Otro factor a tener en cuenta para la preclasificación inicial de muestras de catedrales es la relación que cada una tiene entre el tamaño de sus muros y el de las vidrieras que este contiene.

Hemos determinado de manera cierta que el nuevo sistema estructural de "nervios" dirige las cargas linealmente y libera los muros para incluir en estos vidrieras que "permitan" el paso de luz al interior, pero no todas las catedrales aprovechan toda la cantidad de muro "libre de cargas" para abrir huecos en su interior. Si comparamos la configuración de muros escalonados de la catedral de León y la enfrentamos con la de la Santa María del Mar, podemos observar como la primera agota sus posibilidades de vano prácticamente al máximo, mientras que la segunda selecciona mucho más la cantidad de muro a perforar. (Fig. 5.48 y 5.49)

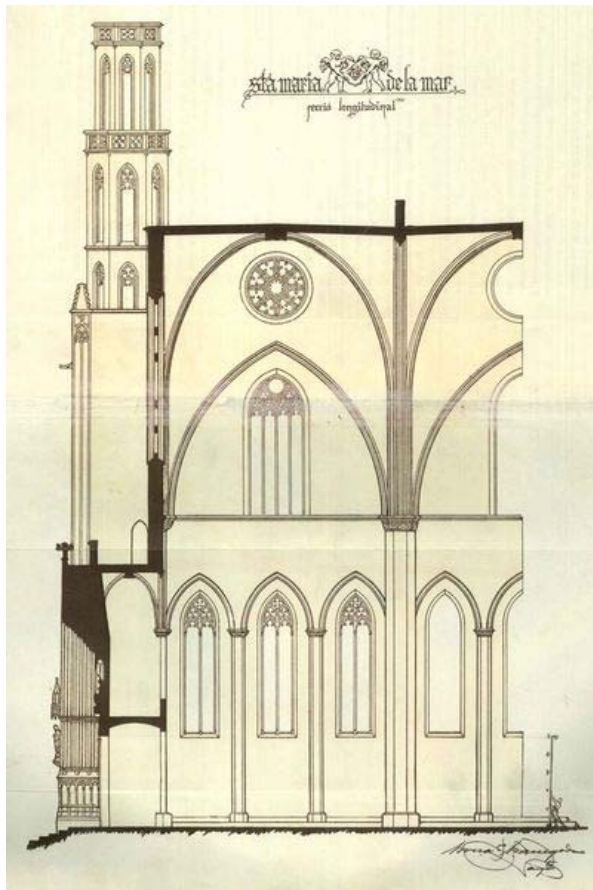


Fig. 5.48. Crujía tipo longitudinal de Santa María del Mar. Relación vano/macizo.

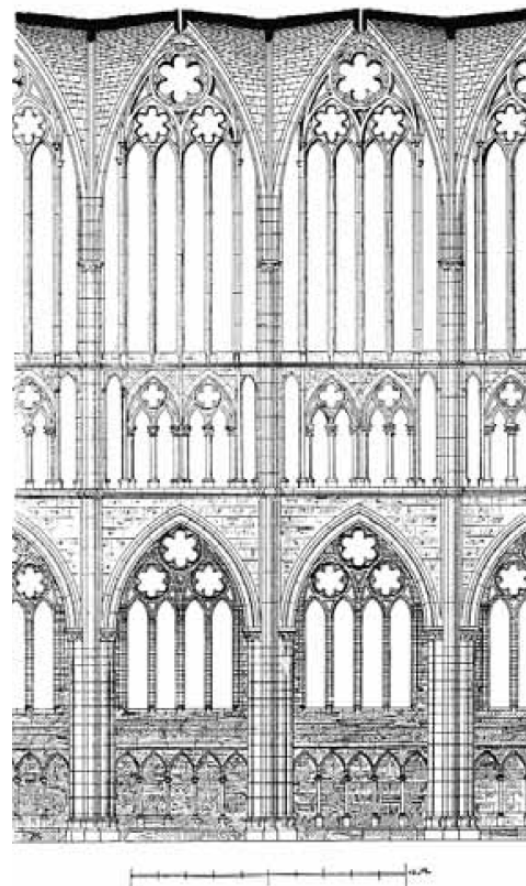


Fig. 5.49. Crujía tipo longitudinal de León. Relación vano/macizo. Autor Georg Dehio

Según las investigaciones de W. Kleffner (años 1920-30), el aumento del tamaño de las ventanas no supone un incremento proporcional del nivel de iluminación. Por ejemplo, al pasar de 1/6 a 1/3 del tamaño de la ventana, respecto a la superficie en planta de un espacio interior, la iluminancia no aumenta el doble sino el 59%.

No obstante, y aunque el incremento de iluminancia no sea proporcional al aumento del vano, la realidad es que al aumentar este, se produce una variación sustancial de la iluminación general de los espacios.

Para saber la cantidad de vidriera sobre macizo de cada catedral, estudiaremos la composición de una crujía tipo de escalonamiento de la catedral; en esta definiremos en alzado y sección los distintos saltos de la catedral, los muros formeros que contienen estos saltos y cuanta cantidad de vidriera posee cada salto. (Fig. 5.50)

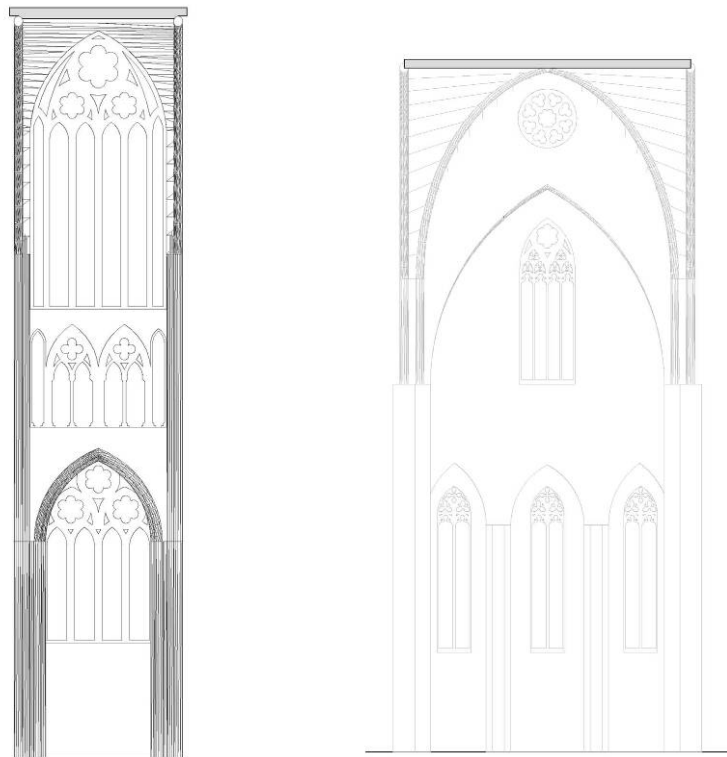


Fig. 5.50. Análisis de la relación de vano frente a muro entre la catedral de León y Santa María del mar. Autor: Juan M. Medina.

Con esto obtenemos un factor de escala de perforación de los muros, o **relación vano/muro**; indicador fundamental a la hora de referenciar la iluminación de las naves contenidas entre estos.

5.3.3 INDICADOR SÍSMICO. TRANSPARENCIA DE LOS MUROS.

Existe en la configuración volumétrica de las catedrales españolas, un condicionante exclusivo que hace que sean diferentes al resto de las catedrales del gótico europeo, que las hace únicas estructuralmente hablando y por tanto en su forma final, su **configuración sísmica**.

Como quedó demostrado por la profesora Cassinello en su tesis doctoral y en posteriores artículos difundidos, las catedrales españolas, si atendemos a su configuración estructural, podrían básicamente diferenciarse en dos tipos: las catedrales de tipo “**francés**” y las de tipo “**sísmico**”.

Los constructores medievales franceses generaron una racionalidad estructural inédita y sorprendente que cambió radicalmente el rumbo de la especialidad arquitectónica, reconduciendo las cargas de la cubierta a través de nervios direccionales hacia puntos concretos por los que descender hasta el suelo; los pilares. Con este gesto trascendental, y tal como hemos descrito con anterioridad, permitieron liberar al muro de su función estructural, facilitando de ese modo, la apertura de grandes ventanales que iluminaran su interior (Fig. 5.51).

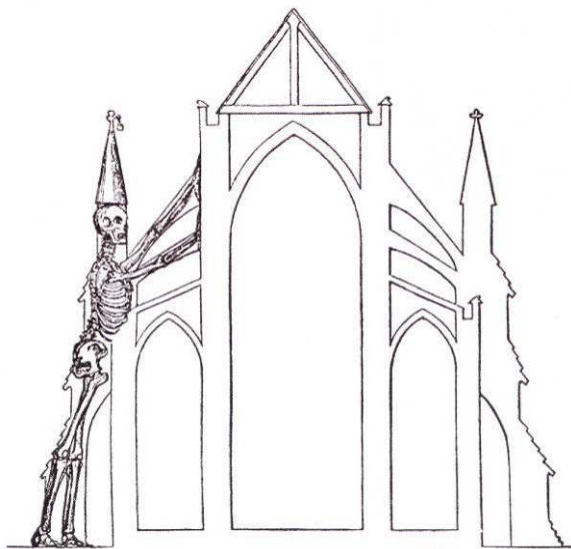


Fig. 5.51. J. E. Barthélemy, La catedral gótica y su inquietante estado de equilibrio, 1840

Sin embargo no debemos olvidar que no todas las configuraciones arquitectónicas góticas son iguales. En España, y de manera singular, se trabajó con otro esquema estructural en aquellos puntos en los que la racionalidad francesa no era suficiente para que los edificios se mantuvieran en pie. Los constructores medievales “*sólo podían conocer la geometría*

de Euclides y los estados de equilibrio definidos por Arquímedes; construyeron la catedral a base de prueba y error, de construir sobre lo destruido, de observar como las fuerzas más destructivas de la Naturaleza – el viento y el sismo – actuaban sobre los esqueletos de piedra de sus catedrales, desplomándolas cuando ni su geometría ni la distribución de pesos de sus elementos eran adecuadas para alcanzar el equilibrio.”¹²⁶. Por esta razón, y atendiendo a que las catedrales se mantuvieran en pie a lo largo del tiempo “no construyeron la catedral para un único estado de cargas: porque, de haber sido así, la catedral mutilada por un bombardeo o por una mala restauración hubiera desaparecido bajo sus propios escombros demostrando así su racionalidad estructural.”¹²⁷(Fig. 5.52)

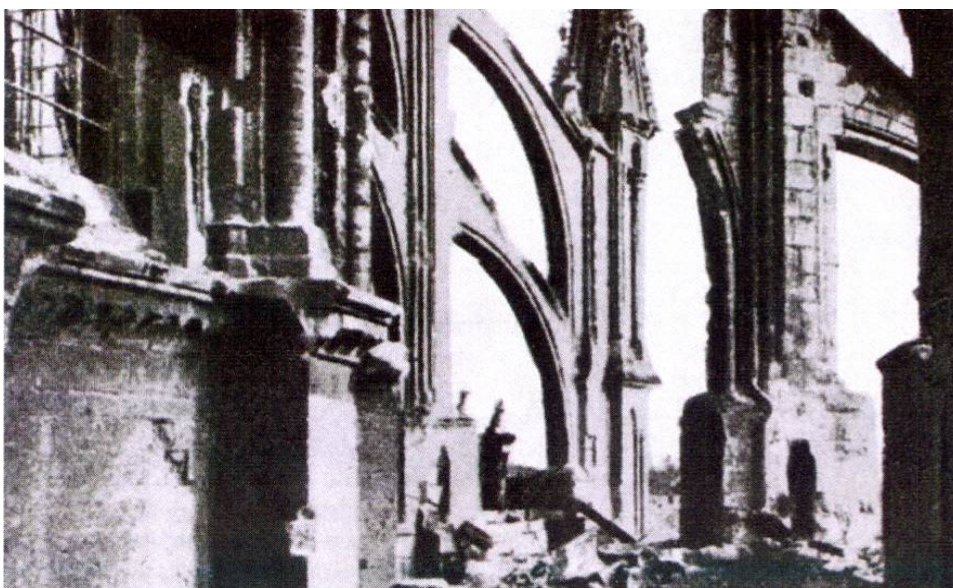


Fig. 5.52 Reims, catedral, Desplome de arbotante. Fotografía de mayo de 1945, autor desconocido

Este esquema sísmico difiere del francés en el sistema de sustentación principal. Las bóvedas derivan las cargas hacia el exterior, hacia los pilares, al igual que lo hacen las catedrales francesas pero en este caso los muros no quedan liberados totalmente de su función estructural; los muros de cerramiento se unen a las enjutas superpuestas sobre estos y las existentes encima de los arcos fajones para formar un compacto entramado murario

¹²⁶ CASINELLO, M.J., “Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas”, Annali di architettura, nº17, (2005). Edición del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio, Regione del Veneto, 2005. ISSN: 1124-7169, pp. 9-20

¹²⁷ CASINELLO, M.J., “Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas”, Annali di architettura, nº17, (2005). Edición del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio, Regione del Veneto, 2005. ISSN: 1124-7169, pp. 9-20

en dos direcciones, con forma de caja cerrada que sería capaz de absorber movimientos horizontales en caso de que estos se produjeran.¹²⁸

Esta función “arriostrante” del muro de cerramiento hace que estos no estén liberados para introducir vanos de cualquier tamaño. Nos encontramos con huecos mucho más medidos y que no desmaterializan el muro como puede llegar a ocurrir en el caso de las catedrales francesas más “puras”. (Fig. 5.53 y Fig. 5.54)

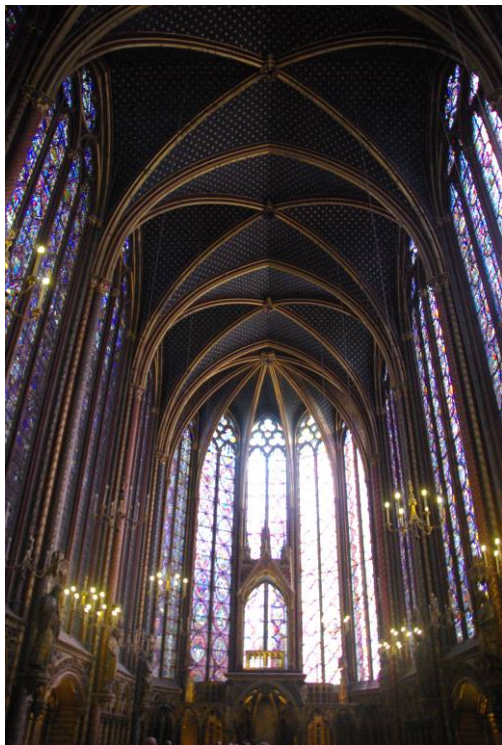


Fig. 5.53. Muros de la nave central de la Iglesia de la Sainte Chapelle de París. Autor: J. Medina.

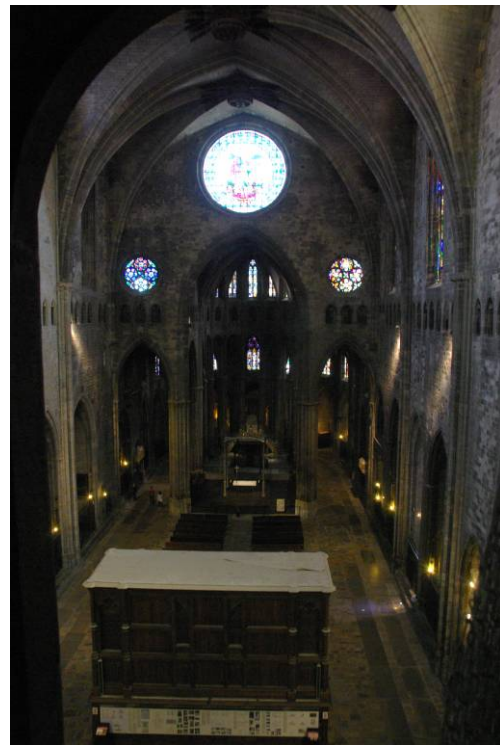


Fig. 5.54. Muros de la nave central de la catedral de Gerona. Autor: J. Medina.

También encontramos en este tipo de catedrales dos factores de forma adicionales; en primer lugar nos encontramos con cubiertas planas que favorecen el efecto “diafragma” en caso de movimientos horizontales, y por otro lado los contrafuertes se encuentran ubicados en el interior de la catedral, confinando las capillas laterales e influyendo definitivamente no sólo en su función estructural, sino también en la iluminación de las naves laterales exteriores.

¹²⁸ CASINELLO, M.J., “*Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas*”, Annali di architettura, nº17, (2005). Edición del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio, Regione del Veneto, 2005. ISSN: 1124-7169, pp. 9-20

Todo este conjunto permite que la estructura “exterior” francesa, (pináculos, arbotantes y contrafuertes) no entre en fase de vibración diferente de la caja central en caso de terremoto, lo que haría que todos estos elementos “superpuestos” cayeran sobre la propia catedral probando su colapso. El concepto de “caja cerrada” se articula con la inclusión de todos los elementos dentro de un mismo conjunto constructivo que funciona al unísono, arriostrado en todos los sentidos del espacio.

España presenta un territorio dividido en dos zonas fundamentales, la zona mediterránea, que sufre riesgo de sismo y el resto de la meseta central y noroeste del territorio que está exento de este tipo de movimientos periódicos. La profesora Cassinello, que como ya hemos descrito, descubrió la relación de este mapa sísmico con la configuración constructiva de caja cerrada para corregir los efectos horizontales, definió las catedrales de un tipo y de otro según el mapa de riesgo sísmico de la NSC-94 (Fig. xxx), caracterizando las mismas en función de su grado de enjutamiento (si tenían o no arriostramiento horizontal, formero o fajón), el número de naves que tenía la catedral y la relación de decalaje existente entre ellas y el sistema de arriostramiento que poseían: con arbotantes o contrafuertes y, en el caso de estos últimos, definiendo si eran interiores o exteriores. (Fig. 5.55. y Fig. 5.56)

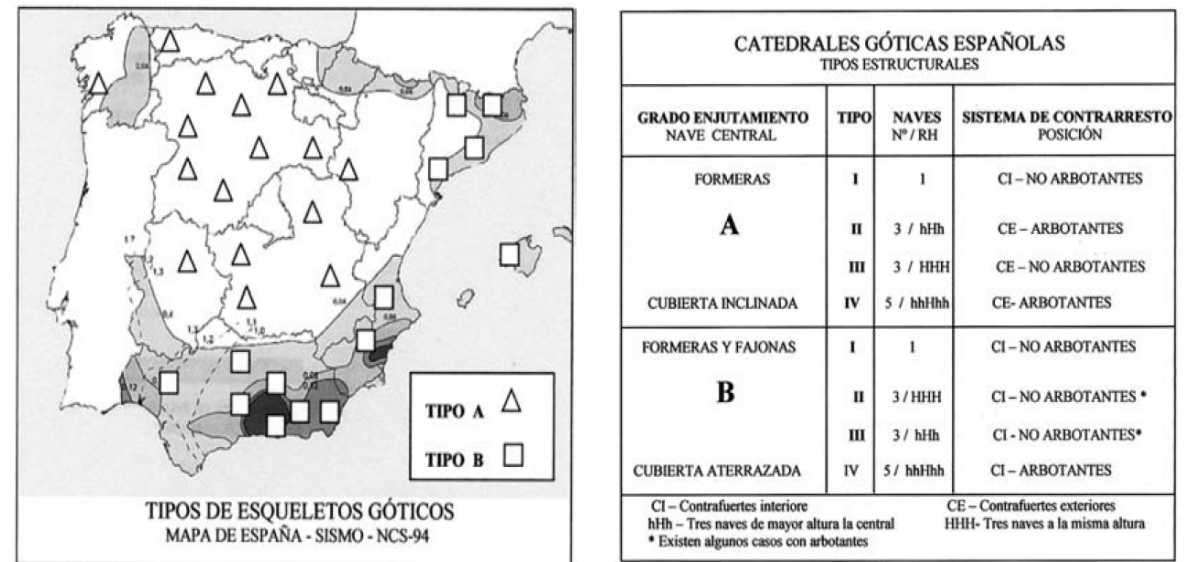


Fig. 5.55. Clasificación de las catedrales españolas según el tipo estructural y su riesgo de sismicidad. Pepa Cassinello. 2003

Fig. 5.56. Clasificación de las catedrales españolas según el tipo estructural y su riesgo de sismicidad. Pepa Cassinello. 2003¹²⁹

¹²⁹ CASSINELLO, M.J.. “Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica” Tesis doctoral inédita. Madrid, 2003.

Nosotros tendremos en cuenta este importante factor “formal” de las catedrales españolas a la hora de establecer los condicionantes que influyen en la iluminación de las mismas y poder afrontar la preclasificación de tipos de catedrales góticas con éxito. Para ello dividiremos las catedrales en dos grandes conjuntos: las “**sísmicas**” y las “francesas” y escogeremos como muestra varias de cada estilo.

5.3.4 EL COLOR

Para poder entender la importancia de este indicador dentro de la “cualificación” de la iluminación gótica debemos empezar por describir los conceptos básicos que definen la **teoría del color**.

El ojo humano posee su máxima sensibilidad dentro del espectro visible, tal como vimos cuando describíamos los conceptos de “naturaleza de la luz”. Dentro de este espectro, la longitud de onda de 550 nm correspondería al verde-amarillo. El color de la luz está determinado por la composición espectral de sus componentes monocromáticos y se distinguen, según la *International Commission on Illumination*, tres colores básicos a partir de los cuales se pueden conseguir los demás: el rojo, el verde y el azul (Fig. 5.57)

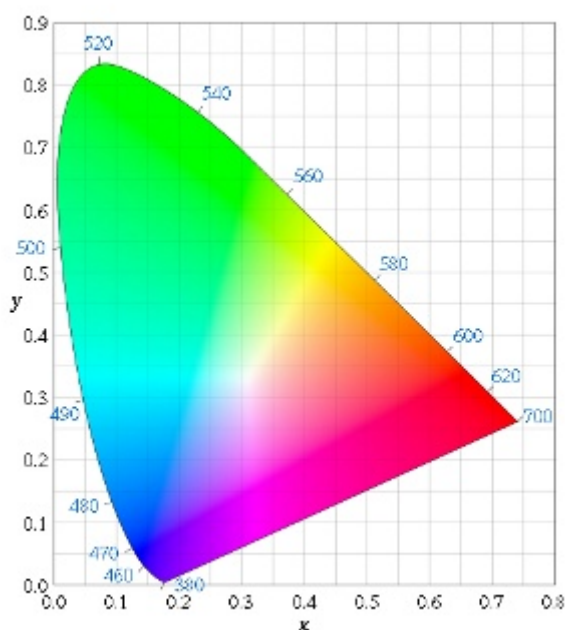


Fig. 5.57. Diagrama de color de la *Commission internationale d'Eclairage*. Fuente: <http://www.cie.co.at/>

La determinación de estos colores depende de la temperatura, por lo que a temperaturas menores de 1500 K la radiación es prácticamente invisible, y a partir de esta la radiación se hace visible a través del color rojo. Aumentando la temperatura hasta los 3000 K encontraríamos el amarillo-verde y a los 24000 K el azul. Podemos, tal como describe Yañez “*hacer corresponder a cada temperatura de un cuerpo negro un color, lo que se ha denominado la temperatura de color*”¹³⁰. (Fig. 5.58 y Fig. 5.59)

¹³⁰ YAÑEZ, Guillermo, “*Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*”. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 431

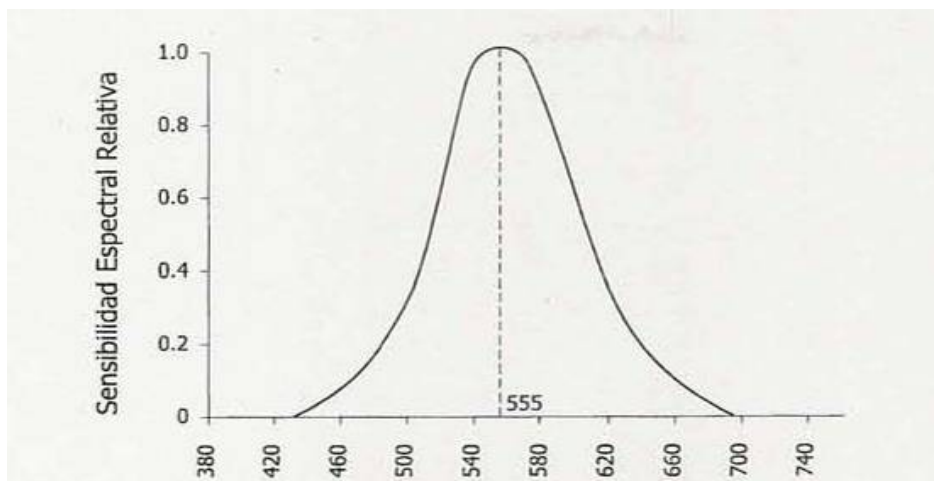


Fig. 5.58. Curva de sensibilidad espectral monocromática del ojo humano. Guillermo Yañez Parareda. *"Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos"*

Luz de día (difusa)	7000
Radiación solar directa	5000
Fluorescente blanco frío	4200
Fluorescente blanco caliente	3000
Incandescente	2800
Llama de vela	2000

Fig. 5.59. Temperatura correlativa de color en K, de distintas fuentes de luz. Guillermo Yañez Parareda. *"Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos"*

Para entender mejor la naturaleza del color debemos atender al concepto de **color de las superficies**, ya que la visualización de los mismos en las superficies se conforma de manera sustractiva, es decir, si una superficie aparece "azul" a la vista será precisamente porque la superficie absorbe el resto de colores del espectro y tan sólo refleja el azul.

Por eso, y atendiendo a la transmisión del color a través de un vidrio coloreado como el de las vidrieras, la transmisión de la luz se hará mediante un proceso igualmente selectivo, similar al de la reflexión: *"Una luz blanca vista a través de un vidrio rojo parecerá roja porque se transmite la mayor parte de luz roja, mientras que la luz de otros colores es absorbida"*¹³¹.

Según la clasificación de Munsell¹³², los colores se clasifican según las siguientes propiedades:

¹³¹ LECHNER, Norbert, *"Iluminación. Conceptos generales"*, artículo de la revista *"Tectónica. Iluminación Artificial (I)"*, Ediciones ATC, Madrid, 1995. ISSN: 1136-0062. p. 9

¹³² MUNSELL, Albert *"Atlas of the Munsell color system"* Ed: Wadsworth, Howland & co., inc., printers. Massachutes, EEUU, 1907.

- **MATIZ:** que marcaría la diferencia de tonalidad de un color y que lo distingue del resto de los colores; rojo, verde o azul.
- **SATURACIÓN:** Cualidad que describe el grado de aproximación de un color a uno del espectro que se considera puro. Esta cualidad, unida al matiz marca la “sensación de cromacidad”¹³³.
- **BRILLO:** O propiedad del color que lo compara con la escala de grises neutros, desde el blanco hasta el negro.

Utilizaremos estas tres propiedades para describir el color de las vidrieras y sus distintos matices.

El color, entendido en la edad media, era sustancialmente básico en su variedad compositiva. La dificultad técnica de obtención de gamas complejas de color reducían los matices disponibles y su utilización se basaba en composiciones sencillas según la temática de la vidriera.

En cuanto a la técnica de construcción sabemos que utilizaban vidrio soplado. La falta de homogeneidad que este vidrio tiene permitía un mayor filtrado de la luz tal como describe María Elena Gómez al hablar de la restauración de vidrios de la catedral de León, cuando dice que *“El arquitecto don Juan B. Lázaro atendió a restaurarlas cuidadosamente montando para ello un taller en la propia catedral y estudiando a fondo la técnica antigua, ya que fallaron los ensayos hechos con vidrios modernos de caras paralelas y coloración homogénea. El suave tamizado de la luz que logran las vidrieras antiguas se debe fundamentalmente al empleo del vidrio soplado, cuyas caras desiguales desvían los rayos coloreados fundiéndolos en blanco, esta experiencia permitió lograr el mismo efecto utilizando vidrios de “botella” en vez de los industriales laminados”*¹³⁴

Si profundizamos en las fuentes de la época del gótico en lo referente al color, su utilización o el uso de las diferentes técnicas de composición del mismo, encontramos escasos documentos significativos. Los pocos “tratados” que encontramos sobre el arte de la vidriera carecen de planteamientos teóricos.

¹³³ YAÑEZ, Guillermo, *“Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos”*. ED: Munilla-Lería, Madrid, 2008. ISBN: 978-84-89150-81-2. p. 433

¹³⁴ GÓMEZ, María Elena, *“La catedral de León”*. Ed: Everest, León, 1974. ISBN: 84-241-4701-4. p.30

De nuevo tenemos entre nuestras manos documentos descriptivos, más o menos pormenorizados de los procesos de construcción, colocación y ejecución, que si bien se mantuvieron vigentes a lo largo de siglos, no aportan base a la intención teórica de su composición y distribución de colores. Tal como describe Nieto cuando describe los tratados de la época, *“los aspectos teóricos que podrían deducirse de una profundización en los valores simbólicos de la luz y el color son omitidos y hay que buscarlos en los escritos de los literatos, filósofos y teólogos”*.¹³⁵

Un claro ejemplo del carácter “práctico” de los tratados sobre vidrieras es el caso de la descripción de procedimientos del monje Teófilo, el cual, de manera acusada, se remite a procedimientos y soluciones prácticas propias del oficio artesano de vidriero, sin base teórica. Según él, su labor es la ejecución por encargo de los temas que le piden en una *“dirección superior”* que es la que determina los temas y la articulación significativa de los mismos¹³⁶, no teniendo, por tanto, el vidriero, potestad sobre la decisión de utilización de gamas de colores ni en los encuadres temáticos. (Fig. 5.60 y 5.61)

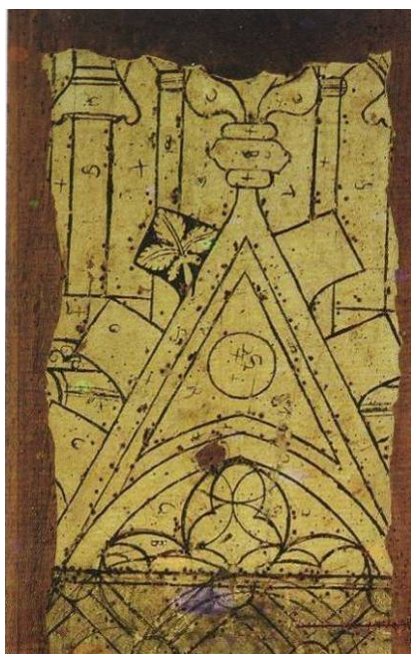


Fig. 5.60. Mesa de vidriero. Museu d'Art de Girona.¹³⁷

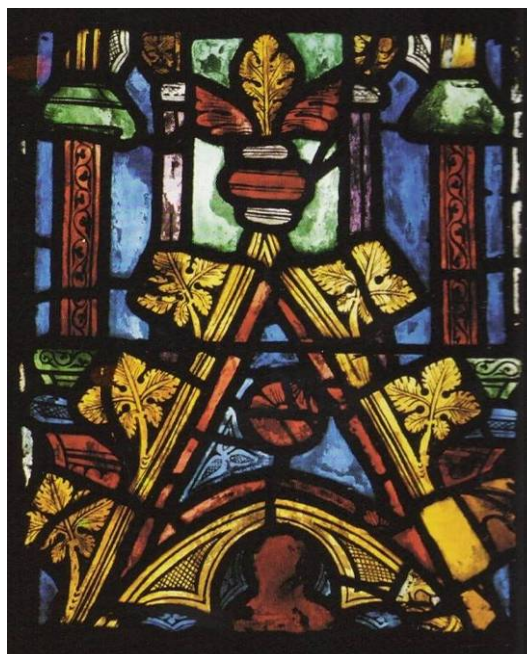


Fig. 5.61. Vidriera construida con la mesa del vidriero que se conserva intacta.

¹³⁵ NIETO, Víctor, *“La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento”*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 159

¹³⁶ THEOPHILUS, *“De Diversis artibus. The various Arts”*, ED: C.R. Dodwell, Edimburgo, 1961; *“On Divers Arts. The treatise of Theophilus”*, ED: J.G. Harthorne y C.S. Smith, Chicago, 1963. ISBN: 0-520-03566-6. P. 46-48

¹³⁷ ROCA, Ramón en *“Vidrieras medievales de Cataluña”*, Ed: Lunwerg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). p. 209-247.

Otro tratado en los que podemos estudiar la función del maestro vidriero es el Texto de Cennino Cennini¹³⁸, en el que acusa la dependencia del oficio del vidriero con respecto al arte del pintor, en clara diferenciación y subordinación.

Más avanzado en el tiempo, ya en el siglo XVII, y propio de una época de nostalgia del pasado, nos encontramos con el texto del "tratado" de Juan Danís y Francisco Herranz, maestros vidrieros que muestran la persistencia de un arte agotado para la nueva arquitectura renacentista pero valorada por los conservadores y enamorados del pasado. También este tratado, y aunque más avanzado en el tiempo, es esencialmente práctico, reproduciendo el mismo sistema de recetas y procedimientos del gótico.

Escrito en pleno renacimiento, el tratado se extinguió nada más nacer, debido a la fuerza con la que venían las nuevas ideas iconográficas y sobre todo de utilización de la luz natural, y no fue hasta el siglo XIX, momento en el que "renació" el estilo gótico de las manos de Viollet-Le-Duc, cuando el texto de Herranz y Danís retomó su valor técnico.

El arte de la vidriería y sus colores también fue descrito por Vasari, dentro del periodo renacentista, cuando habla del maestro gótico Guillermo Marcillat. Vasari hace mención expresa a la distribución de los colores, matizando sobre Marcillat que *"tenía buena disposición, ingenio y grandísima práctica en el manejo de los vidrios, especialmente en la distribución de los colores, de forma que aplicaba los claros en las figuras más próximas y los oscuros, gradualmente, en las que se hallaban más alejadas. Y en esto fue excelente, organizaba las figuras de forma que se alejaban poco a poco sin confundirse con las arquitecturas ni el paisaje"*¹³⁹

Por último, y también dentro del periodo renacentista es importante citar la descripción de la *"Técnica y estética de las vidrieras de la edad media según Viollet Le Duc"*¹⁴⁰, que aunque de manera postrera, supo transmitir el sentir del maestro vidriero gótico a través de la descripción de los medios técnicos que había que emplear para reproducir las vidrieras góticas en "su actualidad" renacentista.

En primer lugar, delimitó y describió el uso de los distintos colores y sus matices que se clasificaban según gamas del siguiente modo (Fig. 5.62 y 5.63):

Bleus

¹³⁸ CENNINI, Cennino, *"Il libro dell'Arte"*, Edición Franco Brunello, Vincenza, 1971.

¹³⁹ VASARI, Giorgio *"Le vite de' piu eccellenti pittori, scultori et architetti..."*, Florencia, 1968.

¹⁴⁰ VIOLLET-LE-DUC, Eugène, *"Dictionnaire raisonné de l'architecture française"*, p. 384-87, 404-405

- 1° Bleu limpide légèrement turquoise.
- 2° Bleu saphir, mais verdissant.
- 3° Bleu indigo, intense.
- 4° Bleu azuré, très-clair, gris de lin.
-

Jaunes

- 1° Jaune-paille, fumeux.
- 2° Jaune safran ou or bistré.

Rouges

- 1° Rouge non doublé, orangé très-doux et égal de ton.
- 2° Rouge intense, jaspé.
- 3° Roux clair, fumeux.

Verts

- 1° Vert jaune, limpide.
- 2° Vert-émeraude. Ce ton, à la main, paraît se rapprocher plutôt du gris que du vert ; il prend son éclat à distance, et surtout par l'opposition des tons bleus et rouges.
- 3° Vert-bouteille. À la main, ce vert paraît froid ; il prend sa qualité comme le précédent.

Pourpres

- 1° Pourpre clair, chaud.
- 2° Pourpre limpide, azuré.
- 3° Pourpre sombre, vineux.
- 4° Pourpre très-clair, fumeux, pour les chairs.

Tons rares

- 1° Mordoré, couleur vin d'Espagne.
- 2° Vert sombre, chaud.

Blancs

- 1° Blanc jaunâtre, fumeux.
- 2° Blanc gris, glauque.
- 3° Blanc nacré.¹⁴¹

¹⁴¹ VIOLLET-LE-DUC, Eugène "*Dictionnaire raisonné de l'architecture française*", Capítulo « Le Vitrail ».

13

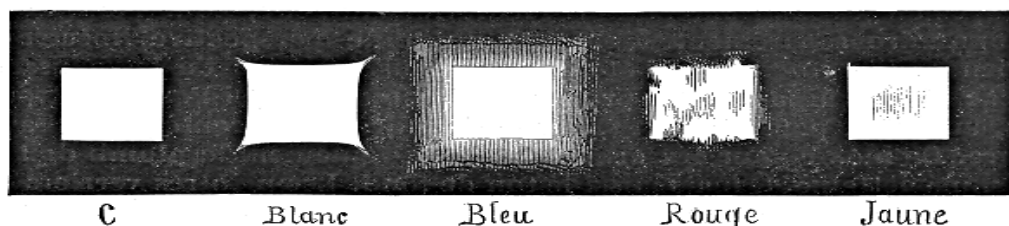


Fig. 5.62. Esquema de la reproducción de las gamas de colores de Viollet-Le-Duc. " *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XI^e siècle*". 1856

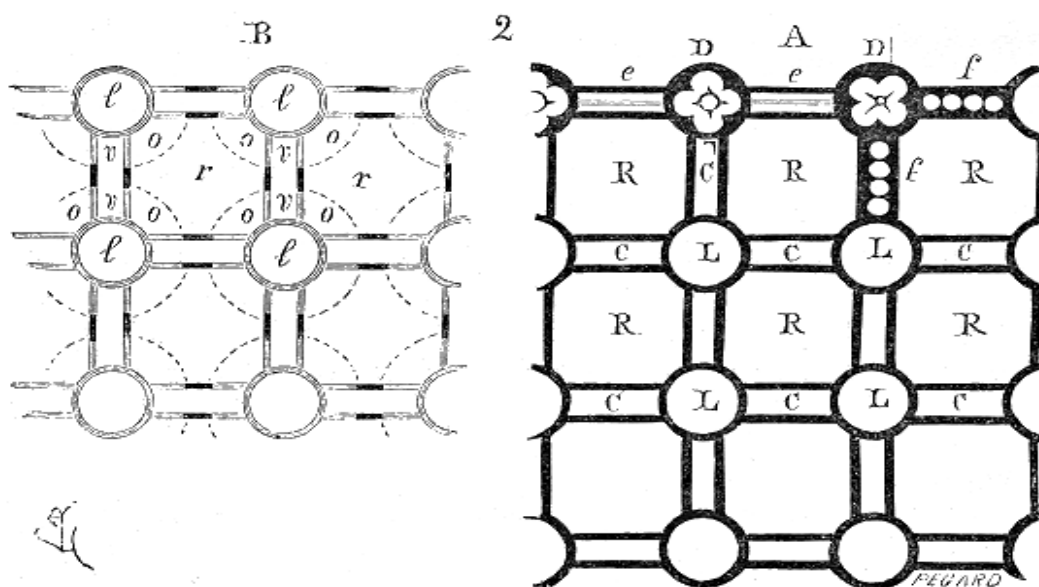


Fig. 5.63. Esquemas compositivos sobre cómo combinar las distintas gamas de colores de Viollet-Le-Duc. " *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XI^e siècle*". 1856

Igualmente, Viollet-Le-Duc describía como debían replantearse los emplomados y las composiciones temáticas y en estas mostraba de expresa la distribución de las diferentes gamas de color con leyendas en los propios dibujos de despiece (Fig. 5.64 y Fig. 5.65).



Fig. 5.64 y Fig. 5.65. Representaciones en vidrieras. Viollet-Le-Duc. “*Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*”. 1856

Viollet-Le-Duc “rescató” un estilo, y sus composiciones diseccionan el estilo de una época precedente con exquisitez pero sin duda es una lástima que no tengamos referencias sobre estas composiciones dentro del período en el que fueron diseñadas y construidas, los siglos XII, y XIII fundamentalmente.

Las vidrieras descritas por Viollet-Le-Duc y que hoy podemos disfrutar colman el espacio gótico de colores oscuros, entre el rojizo y el violáceo, siempre difícil de describir en esencia a causa de que, además, no surge de una sola fuente y varía en su grado de claridad de acuerdo con las variaciones de la atmósfera exterior¹⁴².

Además, cabe destacar que, en la entrada de luz gótica se produce el efecto de fuente múltiple de admisión de luz y que esta varía en su grado de claridad de acuerdo con las variaciones de la atmósfera exterior: los colores ascienden, decrecen y, en la hora de la puesta de sol, se encienden en rojos llameantes. La ventana no sólo transmite la luz sino que se capta como una propia fuente de luz, tal como describían Jantzen y también Schöene.

¹⁴² JANTZEN, Hans, “*La arquitectura gótica*”, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 77

Por eso cuando encontramos arquitectura gótica **despojada de su color**, cuando se observan imágenes de una catedral gótica sin sus vitrales de colores, invadida de luz “natural” (Fig. 5.66 a Fig. 5.67) la arquitectura queda profundamente descompuesta, el espacio queda modificado y definitivamente relegado a la categoría de “volumetría elegante y monumental”, pero sin alma.

El gótico pierde, sin sus vidrieras, tanto la capacidad de multiplicar los colores como su potente factor de filtrado. Sin estas, los espacios góticos quedan sencillamente “iluminados”, tal como podemos observar en la reconstrucción de vidrieras de la catedral de Colonia realizada después de su total destrucción en la II guerra mundial con vidrios transparentes o con colores claros. (Fig. 5.68 y Fig. 5.69).



Fig. 5.66. Catedral de Colonia tras el bombardeo aliado de la II Guerra Mundial. Revista LIFE.



Fig. 5.67. Catedral de Colonia tras el bombardeo aliado de la Segunda Guerra Mundial. Revista LIFE



Fig. 5.68. Nave principal de la catedral de Colonia en la actualidad. Vista del ábside iluminado con luz "natural".



Fig. 5.69. Claristorio de la nave principal de la catedral de Colonia en la actualidad. Vitrales con vidrios transparentes.

Si sumamos el efecto de la múltiple captación de luz a través de las diferentes vidrieras y del cromatismo multiplicado de las mismas, con el de los distintos grosores de los vidrios medievales, obtenemos una luz que sale reflejada en múltiples direcciones, iluminando y coloreando el espacio completo, evitando situaciones de iluminación variable dirigida que potenciaría un excesivo dramatismo.

El color es, en definitiva, fuente fundamental de la corporeidad gótica; atenúa la plasticidad de la estructura arquitectónica, haciendo al espectador buscar, entre sus filamentos, su lógica sustentante, liberando al muro de su función y convirtiéndolo en muro con luz propia y como dice Jantzen *"con la luz coloreada del siglo XIII, como parte integrante de los límites espaciales, se completa el hechizo de la arquitectura, con su poder para arrancarnos por completo del mundo cotidiano y para elevarnos muy por encima de él, en medio de las sensaciones provocadas por semejante estructura"*.

Pero el color, no solo consigue transformar el espacio interior de manera puntual sino que gana en matices con la variación de intensidad lumínica exterior. La catedral gótica posee un efecto arrebatador de variación colorista según los matices exteriores de iluminación y,

sensibles al paso de las horas y de la intensidad de la radiación luminosa tenemos que *"el milagro de las vidrieras góticas es que intensifican o apagan sus matices y su vida en el curso del día, y se encienden una vez más a la hora del crepúsculo, momento en que los colores parecerían desprenderse de la arquitectura de la catedral para flotar libremente en el espacio."*¹⁴³

Resulta interesante por otro lado, observar la relación existente entre las vidrieras del gótico clásico, las del siglo XII, con respecto las posteriores del siglo XIII; en las primeras, más cercanas al estilo anterior románico, se permitía un mayor paso de la luz, teniendo sus vidrios menor densidad de color y siendo sensiblemente más "luminosas"¹⁴⁴, que las que se aplican a los grandes conjuntos góticos del siglo XIII.¹⁴⁵

Esto abunda en la idea de que el paso del románico al gótico fue una transición de la iluminación hacia el simbolismo y en cierto modo hacia la "oscuridad" de los espacios a través de la luz coloreada cada vez más filtrante de la luz natural.

Así, cabe destacar algunos usos del azul que son muy interesantes, como el de las tres grandes ventanas del lado oeste de la catedral de Chartres, las del siglo XII. Estas tienen un fondo azul claro, que tal como describiría Jantzen, es sumamente delicado e inmaterial¹⁴⁶.

Viollet-Le-Duc también describiría estos vitrales concretos en su Diccionario de Arquitectura, mostrándolos como de un *"azul de un ciclo otoñal"*, con lo que alude al efecto inmaterial de este color que destaca por su claridad dentro del Siglo XII. Sin embargo, y dentro de la misma catedral, podemos observar un cambio radical de color según nos giramos y observamos el azul y el rojo presentes en las vidrieras del siglo XIII: en ellas, el azul y el rojo impresionan por su rotundidad y grado de saturación, *"el azul de los fondos se hace más oscuro, más denso, más firme, mientras que las oposiciones de colores se destacan con más vigor, con mayor opulencia de contrastes"*¹⁴⁷.

¹⁴³ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 170

¹⁴⁴ NIETO, Víctor, *"La luz, símbolo y sistema visual. El espacio y la luz en el arte gótico y del renacimiento"*, 1ª edición, ediciones Cátedra (Grupo Anaya), Madrid, 1978, ISBN: 978-84-376-0125-0. p. 26

¹⁴⁵ GRODEKI, L., *"Le Vitrail et l'architecture au XII et XIII siècle"*, Gazette des Beaux Arts, Paris, 1949, p. 8 y 9.

¹⁴⁶ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 169

¹⁴⁷ JANTZEN, Hans, *"La arquitectura gótica"*, 1ª Edición, ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1979, ISBN: 950-602-110-4. p. 169

Estos efectos detectados por Viollet-Le-Duc, y de manera más cercana en el tiempo por Jantzen, Grodeki y Brisac (1985), Nieto y Lillich (1994), han sido hoy en día corroborados por los estudios que sobre **transmisión de vidrios medievales**, se han hecho en las iglesias y catedrales europeas con el método de **medición de alto rango dinámico** (High dynamic range-HDR).

Estos estudios realizados principalmente por el "*Earth System Modelling Group*", de la Universidad McGill de Montreal (Fig. 5.70), concluyen que el uso de colores brillantes durante el siglo XII admitió más luz en comparación con el siglo XIII. A medida que nos alejamos del románico, los colores se oscurecen y así aumenta el factor de filtrado de la luz natural. Sin embargo, los cristales traslúcidos de los Siglos XV y XVI, aumentan significativamente la transparencia, permitiendo la entrada de la luz con mayor libertad alterando de manera significativa la percepción humana visual del interior.¹⁴⁸

¹⁴⁸ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*", Artículo de la revista "*Architectural Science Review* N°53, Londres, 2010. ISSN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.251

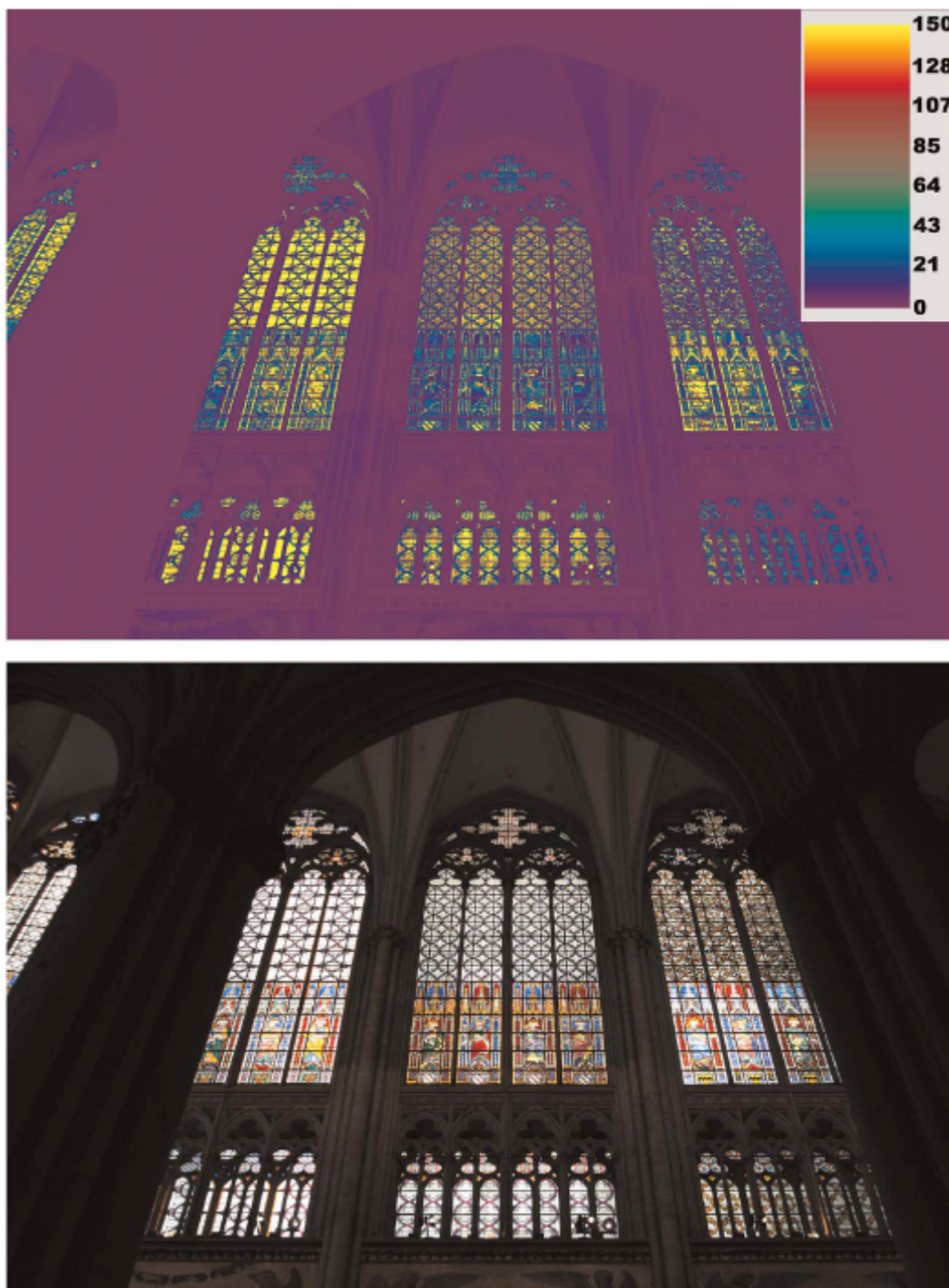


Fig. 5.70. Estudios del grupo de Investigación “*Earth System Modelling Group*”, de la Universidad McGill de Montreal sobre vidrios de la Catedral de Colonia con el sistema HDR (14 Enero de 2008).¹⁴⁹

El uso de los colores se desarrolla por tanto, desde los azules y rojos profundos (Fig. xxx), relacionados con una iluminación interior muy baja, propia del siglo XIII, tales como Notre-Dame-de-Chartres, hacia un uso creciente de la “grisalla” o color blanquecino, que

¹⁴⁹ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, “*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*”, Artículo de la revista “*Architectural Science Review*” N°53, Londres 2010. ISSN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.264

dominan las ventanas del final del S XIII y comienzos del XIV, conocido como "la revolución grisalla" en el norte de Francia (Fig. 5.71 y 5.72).

En general, la adopción de ventanas "blancas" comenzó con el desarrollo de la alternancia grisalla-color, formato comenzado a finales del siglo XIII y totalmente impuesto como ventana estándar hacia 1325 (Lillich 1970).¹⁵⁰

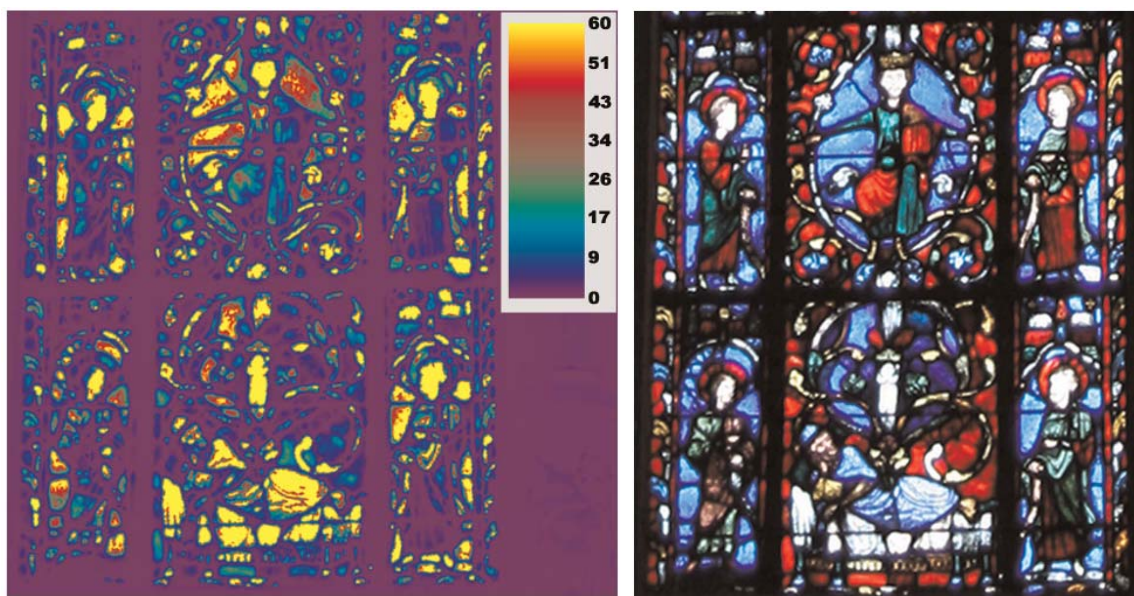


Fig. 5.71. Estudios del grupo de Investigación "Earth System Modelling Group", de la Universidad McGill de Montreal sobre vidrios de la Catedral de Rouen con el sistema HDR (26 Enero de 2008 bajo cielo claro) con predominio de azules oscuros y¹⁵¹

¹⁵⁰ LILLICH, Meredith, " Les vitraux de la nef de Saint-Père de Chartres: analyse stylistique", En " « Mémoires de la Société Archéologique d'Eure-et-Loir " Vol. 25, Paris, 1970. p.287-302

¹⁵¹ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches", Artículo de la revista "Architectural Science Review", N°53, Londres, 2010, ISSN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.272



Fig. 5.72. Estudios del grupo de Investigación “*Earth System Modelling Group*”, de la Universidad McGill de Montreal sobre vidrios de la Catedral de Rouen con el sistema HDR (26 Enero de 2008 bajo cielo claro) con predominio de azules oscuros y rojos en la parte superior y grisallas en la inferior.¹⁵²

El cambio de tonalidad de vidrios ha sido discutido y argumentado por los distintos autores de manera extensa. Algunos explican el cambio en la estética arquitectónica como expresión de los cambios teológicos y económicos de finales del S. XIII (Lillich, 2001) mientras que otros utilizan el argumento conocido como “*argumento formalista*”, atribuyendo el aumento del uso de grisallas a la mayor complejidad de la forma y diseño de tracería en el “*gótico final radiante*” y años posteriores. Este requeriría, según estos autores, mayor iluminación para ser apreciado estéticamente (Morgan, 1983; Grodecki y Brisac, 1985; Lillich, 1994).

Otra teoría proporcionada por Sherrill (1924, 1927) y Wachs (1964) afirma que el uso de ventanas más grandes y claras en el norte de Europa y en comparación con las del Mediterráneo, fue debido a las condiciones de nubosidad considerablemente mayores del norte de Europa.

¹⁵² SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, “*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*”, Artículo de la revista “*Architectural Science Review* N°53, Londres, 2010. ISSN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.264

Tomando este argumento, y yendo un paso más allá, Simmons (2008) también justifica el cambio de claridad del gótico tardío como respuesta a un probable aumento de la nubosidad en el norte de la Europa continental entre finales del siglo 13 y siglo 14 asociado con un clima transición desde el Período Cálido Medieval a la Pequeña Edad de Hielo. Esto podría haber alentado una tendencia permanente a cambiar los vidrios por otros de mayor transmisividad a través de los años hacia el renacimiento.¹⁵³

Sea como fuere, parece demostrado por el grupo de investigación Canadiense¹⁵⁴ dos cuestiones fundamentales: en primer lugar, que los vidrios rojos poseen menor transmisividad que los azules, y por supuesto, que los blancos (Grisallas).

En segundo lugar se observa que, a principios del siglo S.XII, se buscaba una paleta que favorecía una mayor transmisión del acristalamiento, sobre todo en relación con los vidrios del siglo XIII. La luz románica azul, amarilla y grisalla era varias veces más brillante que la provocada por los colores azules y rojos oscuros de principios del S.XIII. Esto buscaba de manera inequívoca una iluminación general más "generosa" frente a la limitación provocada por la escasa dimensión de los vanos románicos.

En cuanto a los requisitos técnicos, queda también demostrado por este grupo de investigación¹⁵⁵ que la utilización de esta paleta de colores a principios del S XIII no se debió a una falta de conocimiento tecnológico, sino a un intento premeditado de filtrar y matizar la entrada de luz, bajo criterios de utilización cercanos a la filosofía espiritual de San Dionisio descrita en capítulos anteriores.

Por último cabe destacar como el grupo de investigación concluye, que las medidas tomadas por sus aparatos de medición revelan valores de transmisividad de hasta 5 veces más intensidad en los vidrios de finales del S XIII y del S. XIV que en los de principios del S. XIII, y que según se avanzaba hacia el Renacimiento se extendían los vidrios grisalla blancos traslúcidos, los amarillos y los verdes claros, que proporcionarían a la postre valores

¹⁵³ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*", Artículo de la revista "*Architectural Science Review*".Nº53, Londres, 2010.ISNN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online)

¹⁵⁴ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*", Artículo de la revista "*Architectural Science Review*" Nº53, Londres, 2010.ISNN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.271

¹⁵⁵ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "*Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches*", Artículo de la revista "*Architectural Science Review*" Nº53, Londres, 2010.ISNN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.272

hasta 10 veces mayores de iluminación general que los que se obtendrían del gótico clásico del S XIII.¹⁵⁶

Concluyendo el capítulo del estudio del color en el periodo gótico podemos asegurar que, obviamente, es **un indicador fundamental** para la cualificación de la luz gótica. No se puede entender la misma sin referenciar sus matices cromáticos, la intensidad de filtrado de sus distintos colores a lo largo de las distintas fases del gótico y su influencia definitiva en la transformación del espacio.

Ahora bien, para un censado correcto del color dentro de cada una de las catedrales necesitaríamos una muestra significativa de vidrieras originales dentro de cada espacio iluminado cosa que, lamentablemente, no ocurre en la actualidad. Hoy en día existen muy pocos conjuntos de vidrieras góticas originales, con la salvedad del conjunto de vidrieras de la catedral de León, único en el mundo junto con el conjunto de la catedral de Chartres. Tan sólo podemos encontrar vidrieras sueltas del periodo gótico diseminadas por distintos espacios de las distintas catedrales estudiadas.

Un factor que si que puede ser interesante sería el de **la fecha de construcción** de las vidrieras. Utilizando el estudio del grupo de investigación canadiense y cercando lo más posible el momento en el que se llevó a cabo la fabricación de los vidrios podremos establecer el factor de filtrado medio de los mismos y las tonalidades que supuestamente se utilizaron.

Adicionalmente, es interesante estudiar cual era el **despiece de emplomados** utilizado para la distribución de los vidrios dentro de cada vidriera. Este estudio nos facilita el dato correspondiente al "*factor de emplomado*" (parte ciega) que existe por cada metro cuadrado de vidrio coloreado. Para ello tomaremos una vidriera representativa de cada catedral muestra, recrearemos el despiece de vidrios de su interior y estableceremos los correspondientes porcentajes de parte ciega/vidrio. (Fig. 5.73)

¹⁵⁶ SIMMONS, Christopher, MYSAK, Lawrence, "Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches", Artículo de la revista "Architectural Science Review" Nº53, Londres, 2010. ISSN: 0003-8628 (Escrito), 1758-9622 (online). p.272

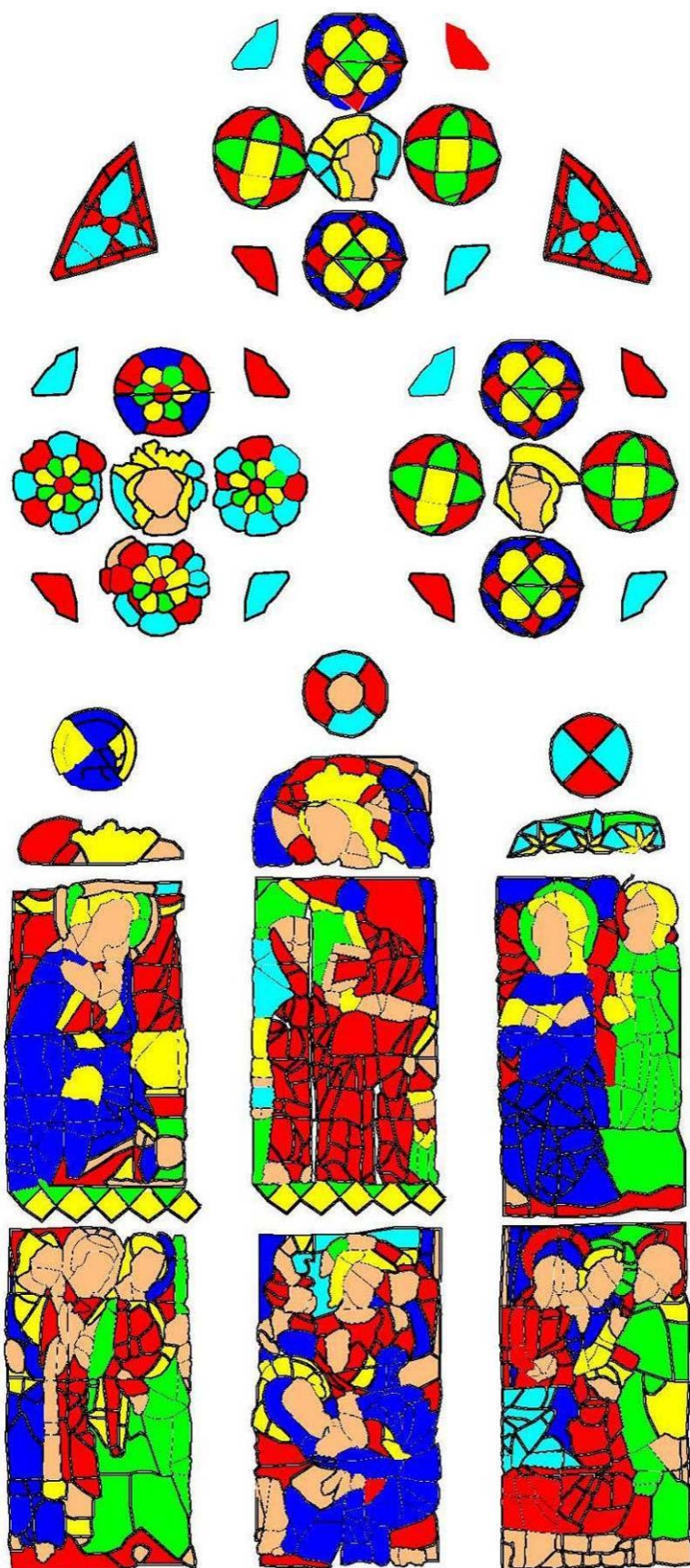


Fig. 5.73. Distribución del color de la vidriera del "tránsito de la Virgen". Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

5.4 SELECCIÓN DE MUESTRAS SEGÚN LOS INDICADORES.

Debido a la relación directa establecida entre las configuraciones estructurales de las catedrales y su distribución luminosa interior, he utilizado como clasificación previa, algunos de los aspectos analizados por la profesora Cassinello en su tesis doctoral (2003).¹⁵⁷

En la misma se registran las catedrales españolas y algunas de las iglesias más importantes de la península en busca de todas aquellas que cuentan con un armazón estructural gótico, aunque esté en parte "mutilado" por posteriores transformaciones que pudieran haber distorsionado la iluminación natural inicial.

El cuadro confeccionado que recoge las catedrales e iglesias (Fig. 5.74) resume los siguientes aspectos: la **fecha de inicio de la fábrica gótica**, la **existencia o no de arbotantes**, la **ubicación de los contrafuertes** y el **número de naves** que posee con sus correspondientes decalajes, determinadas del siguiente modo:

- 1H Una nave.
- 3 hHh Tres naves, con la nave central más alta.
- 3 HHH Tres naves, con la nave central de igual altura que las laterales.
- 5 hhHhh Cinco naves, con la nave central más alta que las laterales.

¹⁵⁷ CASSINELLO, M.J. "*Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica*" Tesis doctoral inédita. Madrid, 2003.

ANÁLISIS PREVIO DE LAS CATEDRALES GÓTICAS SELECCIONADAS				
CATEDRAL	FECHA	NAVES	ARBOTANTES	CONTRAFUERTES
Burgos	1221	3-hHh	Si	EXTERIORES
León	1253	3-hHh	Si	EXTERIORES
Palma de Mallorca	1253	3-hHh	Si	INTERIORES
Barcelona	1298	3-HHH	Si	INTERIORES
Santa María del Mar	1328	3-HHH	Si	INTERIORES
Tuy	1120	3-hHh	No	EXTERIORES
Gerona	1312	1	No	INTERIORES
Huesca	1496	3-hHh	Si	INTERIORES
Astorga	1471	3-hHh	Si	INTERIORES
Tudela	1216	3-hHh	No	EXTERIORES
Pamplona	1397	3-hHh	Si	INTERIORES
Santander	1318	3-HHH	No	INTERIORES
Palencia	1321	3-hHh	Si	INTERIORES
Sevilla	1403	5-hhHhh	Si	INTERIORES
Toledo	1227	5-hhHhh	Si	INTERIORES
Segovia	1523	3-hHh	Si	INTERIORES
Ávila	1190	3-hHh	No	EXTERIORES
Zamora	1176	3-hHh	No	EXTERIORES
Burgo de Osma	1232	3-hHh	Si	INTERIORES
Tortosa	1347	3-hHh	Si	INTERIORES
Sto Domingo de la Calzada	S. XV	3-hHh	Si	INTERIORES
Valencia	1262	3-hHh	Si	EXTERIORES
Ciudad Rodrigo	S.XIII	3-hHh	No	EXTERIORES
Vitoria	S.XIII	3-hHh	No	INTERIORES
Salamanca	1513	3-hHh	Si	INTERIORES
Alcalá de Henares	1497	3-hHh	No	EXTERIORES
Tarragona	S.XII	3-hHh	No	INTERIORES
Coria	1536	1	No	EXTERIORES
Barbastro	1500	3-hHh	No	INTERIORES
Badajoz	1232	3-hHh	No	INTERIORES
Oviedo	S.XIII	3-hHh	Si	INTERIORES

Fig. 5.74. Cuadro de catedrales góticas españolas realizado por Juan M. Medina a partir del realizado por La profesora Cassinello. 2003.

Con estos datos establecemos los condicionantes geométricos necesarios para establecer la **preclasificación de muestras** a tener en cuenta para el estudio de los “tipos de iluminación”. Esta preclasificación incluye los indicadores previos volumétricos como son los factores de la composición de la **sección escalonada** (Nº de naves), que nos permite diferenciar la forma de entrada de la luz directa. También muestra la existencia o no de arbotantes y la posición de los contrafuertes, que nos permite evaluar su **componente “sísmico”**, es decir, su configuración como estructura “de caja cerrada” o como estructura de tipo “francés”.

Según esta preclasificación, que coincide con la **clasificación de tipos estructurales según riesgo sísmico** elaborada por la profesora Cassinello (Fig. 5.75), existen un total de **6 tipos diferentes** de catedrales. La preclasificación nos servirá para extraer muestras a priori para, con el avance de la propia investigación, poder incluir aquellos nuevos indicadores fundamentales que vayamos encontrando en aras de concluir la clasificación final de catedrales góticas en función de su iluminación.

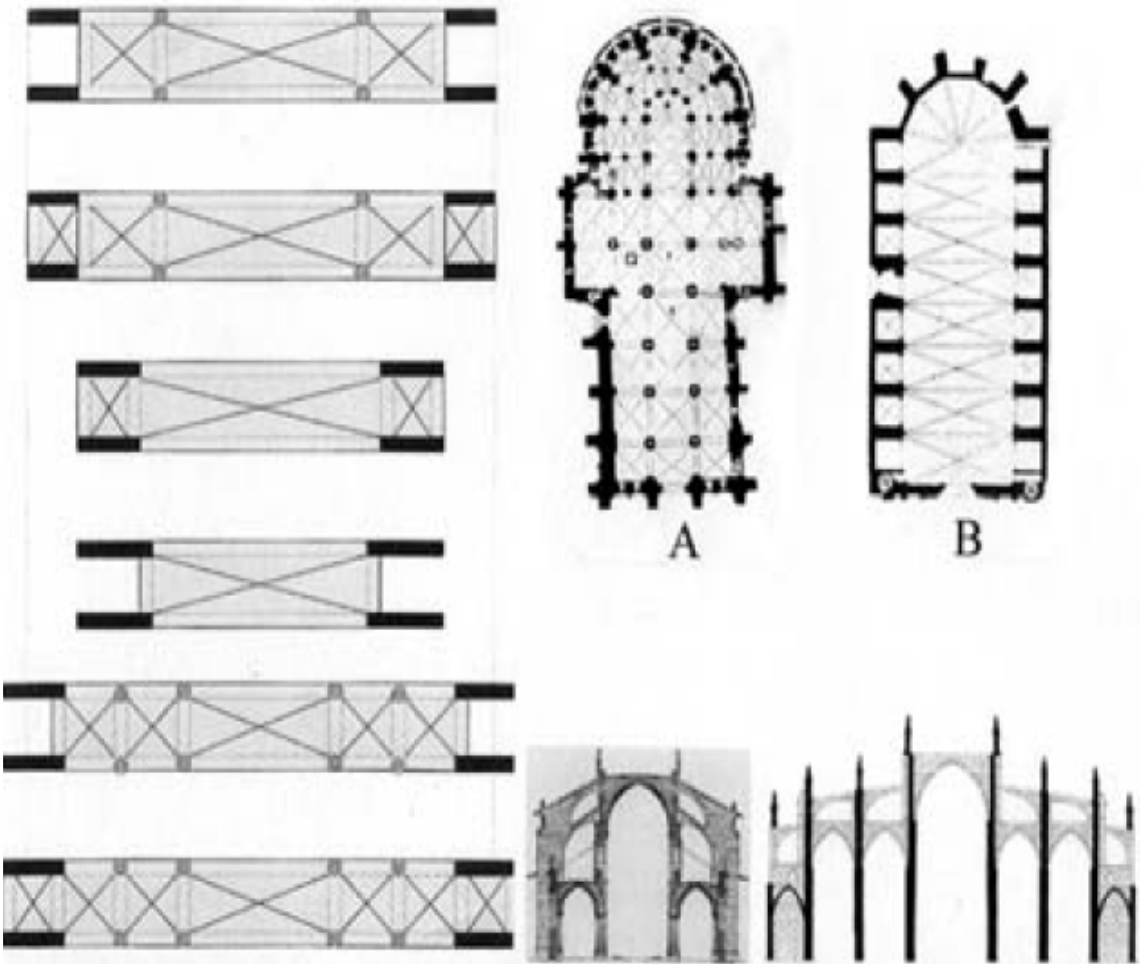
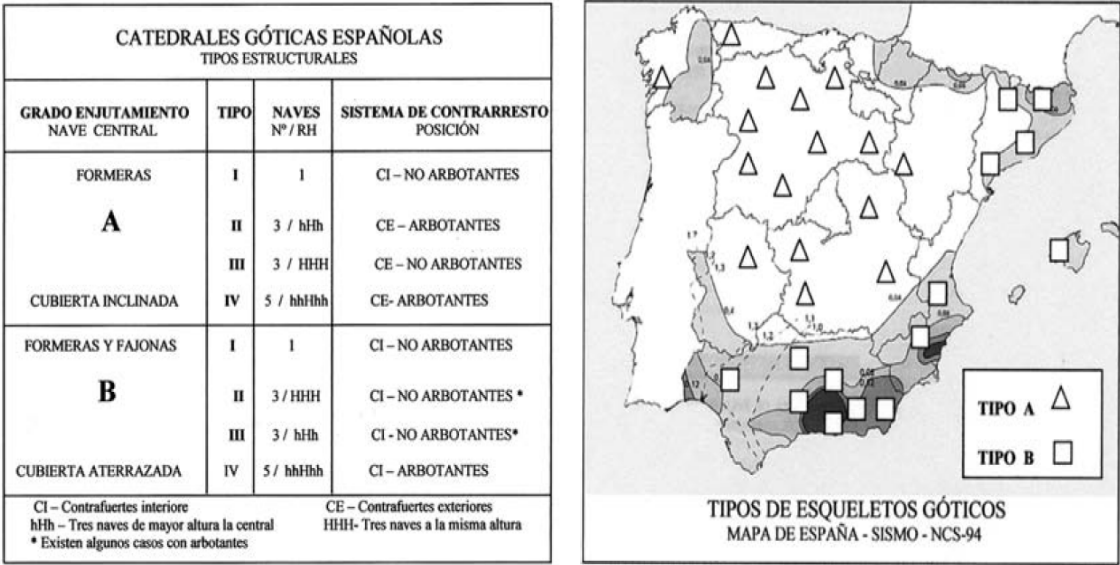
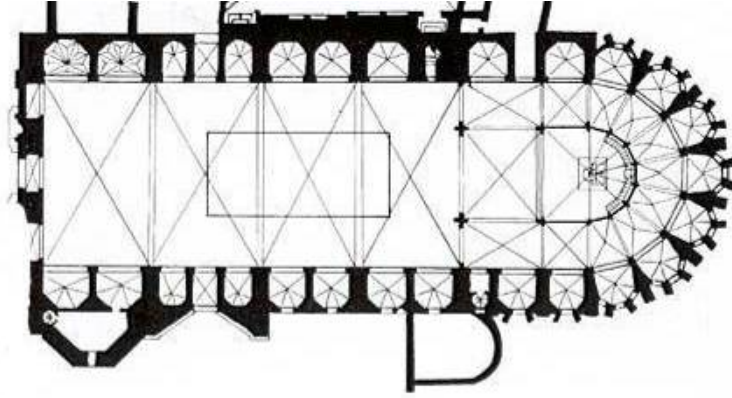


Fig. 5.75. Clasificación de tipos estructurales de catedrales góticas españolas de la profesora Cassinello. 2003

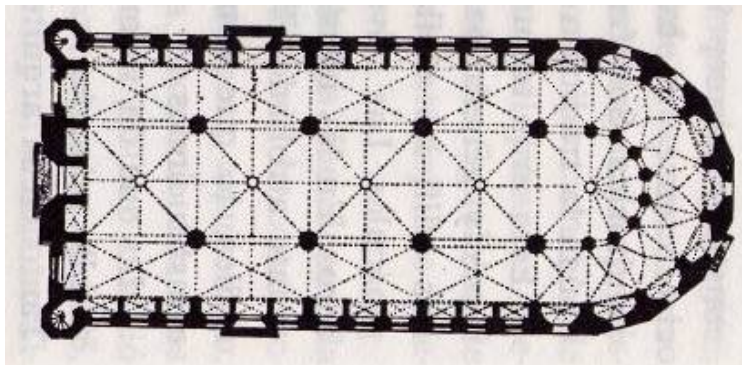
Elegimos, para el estudio pormenorizado de muestras, una catedral de cada tipo, siendo todas ellas especialmente representativas dentro su tipo.

a. CATEDRALES “SÍSMICAS”:

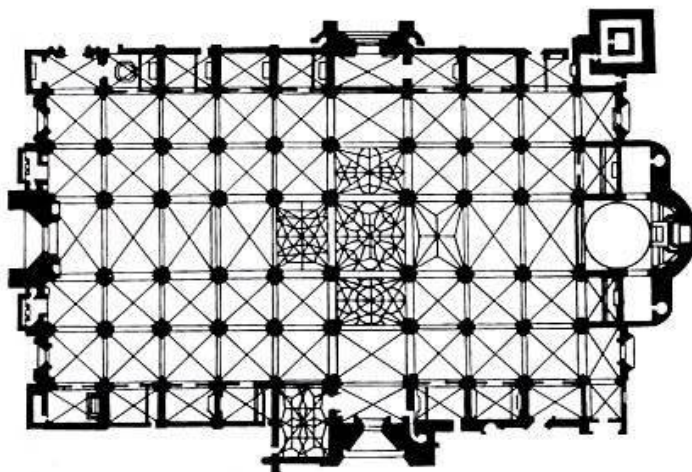
1.- Catedral de Gerona. (Tipo B I-CI)



2.- Catedral de Santa María del Mar. (Tipo B II-CI)

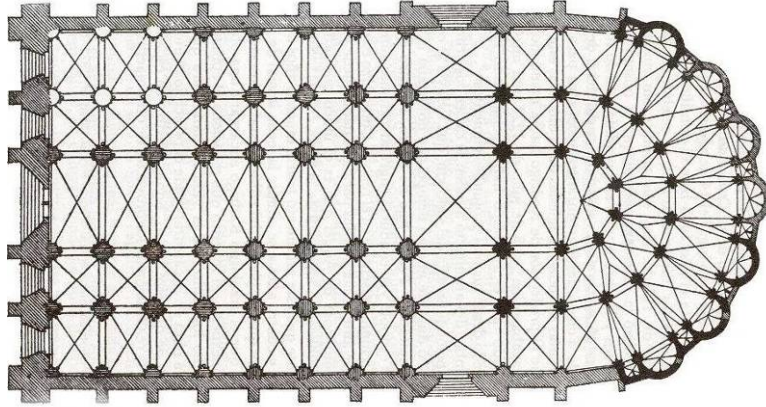


3.- Catedral de Sevilla. (Tipo B IV-CI)

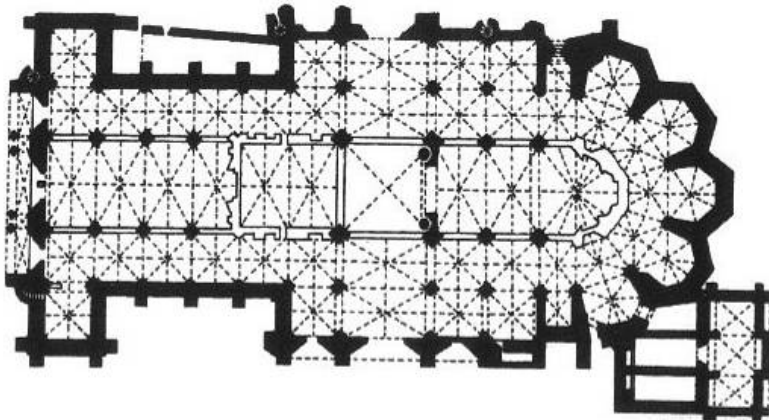


b. CATEDRALES “FRANCESAS”:

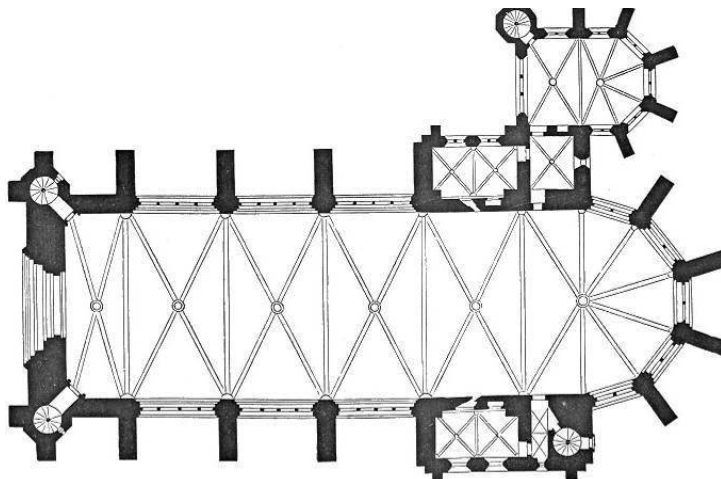
4.- Catedral de Toledo. (Tipo A IV-CE)



5.- Catedral de León. (Tipo A II-CE)



6.- Sainte Chapelle de París. (Tipo A I-CE). No siendo española se asimilaría a este tipo.



6. ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

En el siguiente apartado de la tesis estudiaremos las muestras seleccionadas de manera pormenorizada desde su composición volumétrica hasta su despiece de vidrieras para, de ese modo, poder establecer los patrones de iluminación de su interior con detalle.

El estudio se llevará a cabo según el siguiente índice:

- 6.1.1 Catedral de Gerona. Introducción y antecedentes
- 6.1.2 Catedral de Gerona. Modelos 2d y 3d.
- 6.1.3 Catedral de Gerona. Análisis de la sección. Factor de esbeltez y factor de transparencia.
- 6.1.4 Catedral de Gerona. Obtención de datos lumínicos.
- 6.1.5 Catedral de Gerona. Traslación de datos a gráficas lumínicas: iluminación indirecta.
- 6.1.6 Catedral de Gerona. Análisis de la iluminación general de la catedral. .
Luminación indirecta.
 - 6.1.6.1 nave central.
 - 6.1.6.2 nave transversal.
 - 6.1.6.3. Iluminación total por zonas.
- 6.1.7 Catedral de Gerona. Análisis de la iluminación directa. Recorrido de vidrieras.
- 6.1.8 Catedral de Gerona. Análisis de la iluminación actual.
- 6.1.9 Catedral de Gerona . Análisis de color.

6.1 CATEDRAL DE GERONA.

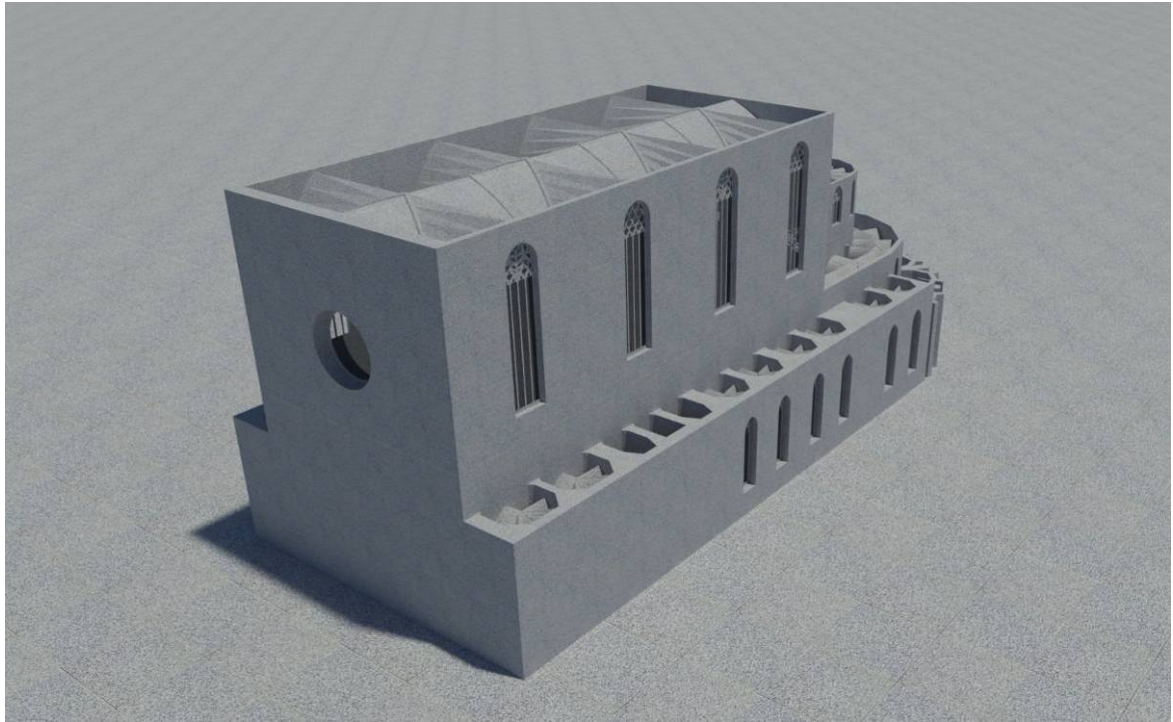


Fig. 6.1. Catedral de Gerona. Vista exterior y vista interior desde los pies de la iglesia. Autor: Juan M. Medina.

6.1.1 CATEDRAL DE GERONA. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La catedral de Gerona se asienta sobre una orografía de singular desnivel. La razón de tal emplazamiento se remonta a la decisión de los romanos de situar la ciudad de Gerunda en un terreno elevado que permitiera la mejor defensa del sitio y de la Vía Augusta que discurría por su parte baja.

Las dos plazas que componen el espacio delantero de la catedral se separan por una gran escalinata. En el inicio, estas plazas supusieron un foro cívico al pie del camino y una plaza religiosa en lo más alto, unidas por una espectacular escalinata, precedente de la actual. (Fig. 6.2)

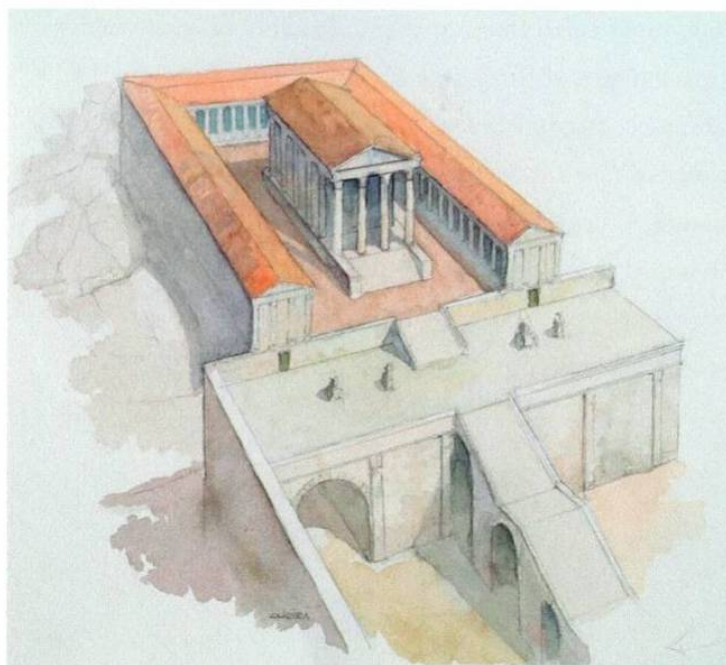


Fig. 6.2. Restauración hipotética del área religiosa del forum de Gerunda. Ilustración de Jordi Sagrera.
158

La plaza religiosa del foro romano de *Gerunda* es el primer complejo edificado que ocupó el lugar de la catedral. El edificio romano siguió en pie en la época de ocupación islámica hasta comienzos de siglo XI, en el que el obispo Pere Roger, construyó una nueva catedral. Este nuevo edificio fue iniciado hacia 1010 y terminado en 1038, con una longitud de 60 metros y una nave única de 14 metros de anchura exterior (Fig. 6.3), rasgo singular de la arquitectura catalana del románico y estilos posteriores, con similitudes formales con la desaparecida catedral de San Pedro de Vic.

¹⁵⁸ SUREDA i JUBANY, Marc, "*La catedral de Girona*", Ediciones Palacios y Museos, Girona, 2011. ISBN: 978-84-8003-875-1. p.6

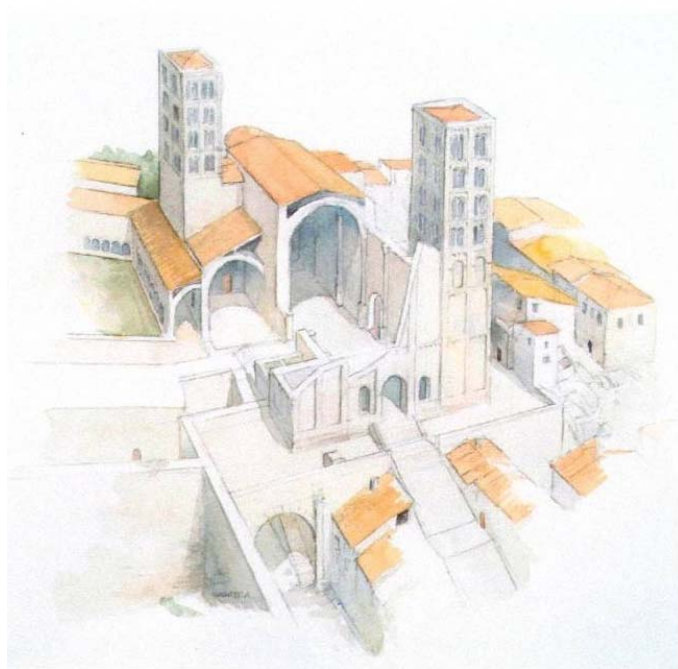


Fig. 6.3. Esquema de la Iglesia románica de una nave. Ilustración de Jordi Sagrera ¹⁵⁹

A principios de siglo XIV se comenzó la construcción de la nueva catedral (1312). Se comenzó con la nueva cabecera de nueve capillas radiales que tenemos en la actualidad. Aún sin trasladar el altar al nuevo emplazamiento, en 1347 se encarga el edificio a los maestros de obras Pere Campmagre y posteriormente a sus sucesores, Francesc Saplana y Pere de Coma, (Sacoma), bajo el esquema de nave única propia de la arquitectura mediterránea y fundamentalmente catalana.

Hacia 1386, sin embargo, se convoca una reunión de maestros de obra y, según su parecer, se decide continuar el templo con tres naves, las obras avanzaron muy poco y, finalmente, entre 1426 y 1417, una nueva reunión de maestros de obra ya referida en el capítulo de fuentes documentales de la época, decidió finalmente la terminación de la iglesia bajo el formato de una sola nave, con la responsabilidad única cedida al maestro Antoni Canet.

Los dos primeros tramos de la gran bóveda se iniciaron y ya se habían cubierto en 1450 pero en ese momento se ralentiza la obra por dificultades políticas y económicas, quedando la catedral, durante muchos años, unida a la antigua iglesia románica con el aspecto de una curiosa construcción mixta. (Fig. 6.4)

¹⁵⁹ SUREDA i JUBANY, Marc, "*La catedral de Girona*", Ediciones Palacios y Museos, Girona, 2011. ISBN: 978-84-8003-875-1. p.10

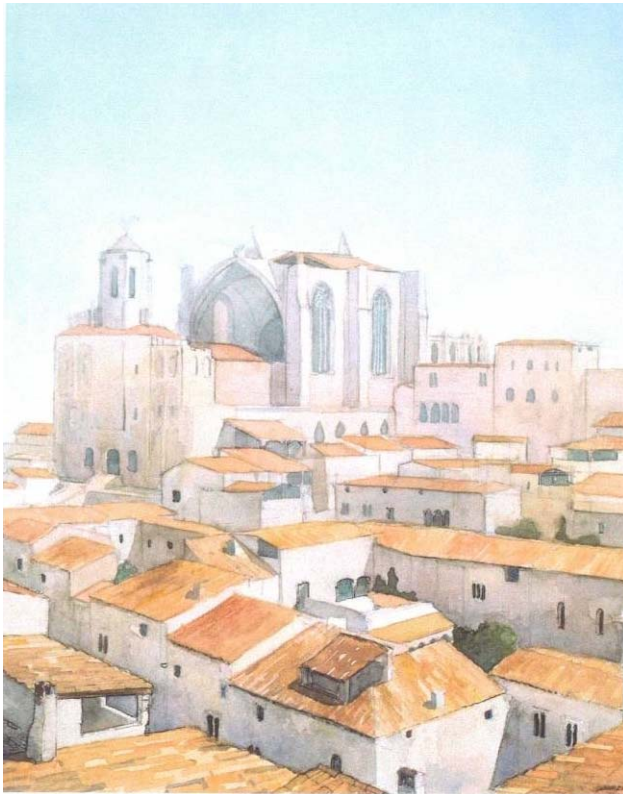


Fig. 6.4. Reconstrucción del estado de "convivencia" de los dos estilos. Años 1450 a 1577. Tal como representó el pintor Pere Mates.¹⁶⁰

Hacia 1577 se retoman definitivamente las obras para la construcción final de la nave única central de la catedral, que fue terminada en el año 1606 bajo la dirección del arquitecto Joan Balcells con unidad de estilo respecto al resto de la construcción gótica, consiguiendo de este modo la consabida nave central actual, de casi 23 metros de anchura, considerada la nave gótica más ancha del mundo, sólo superada por 3 metros por la nave central de la basílica de San Pedro del Vaticano de construcción muy posterior. (Fig. 6.5)

¹⁶⁰ SUREDA i JUBANY, Marc, "*La catedral de Girona*", Ediciones Palacios y Museos, Girona, 2011. ISBN: 978-84-8003-875-1. p.10



Fig. 6.5 Nave central actualidad. Fotografía: Juan M. Medina.

6.1.2 CATEDRAL DE GERONA. MODELOS 2D Y 3D.

La toma de datos necesaria para la recreación de los modelos en 2D y posteriormente la generación del modelo 3D fue realizada el **21 de marzo de 2012**; equinoccio de primavera.

En la toma de datos se tomaron medidas geométricas de la catedral que permitían el levantamiento de la misma así como la **toma de datos de iluminación actual** descrita en el método de análisis de la tesis, es decir, tomando referencia de lúmenes debajo de cada bóveda de crucería de las distintas naves de la catedral para las cuatro horas del día censadas (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00). Estos datos nos servirán para la comparativa entre el estado original y el actual de la iluminación en la catedral que será desarrollado con amplitud en el capítulo designado al efecto.

El resultado gráfico interpretado de lo que sería el proyecto original gótico representa la **denominación de las naves**, la **memoria de vidrieras** de la planta y la **posición de los puntos de muestreo** utilizados para la medición lumínica debajo de cada bóveda. La representación final es la siguiente:

Planta:

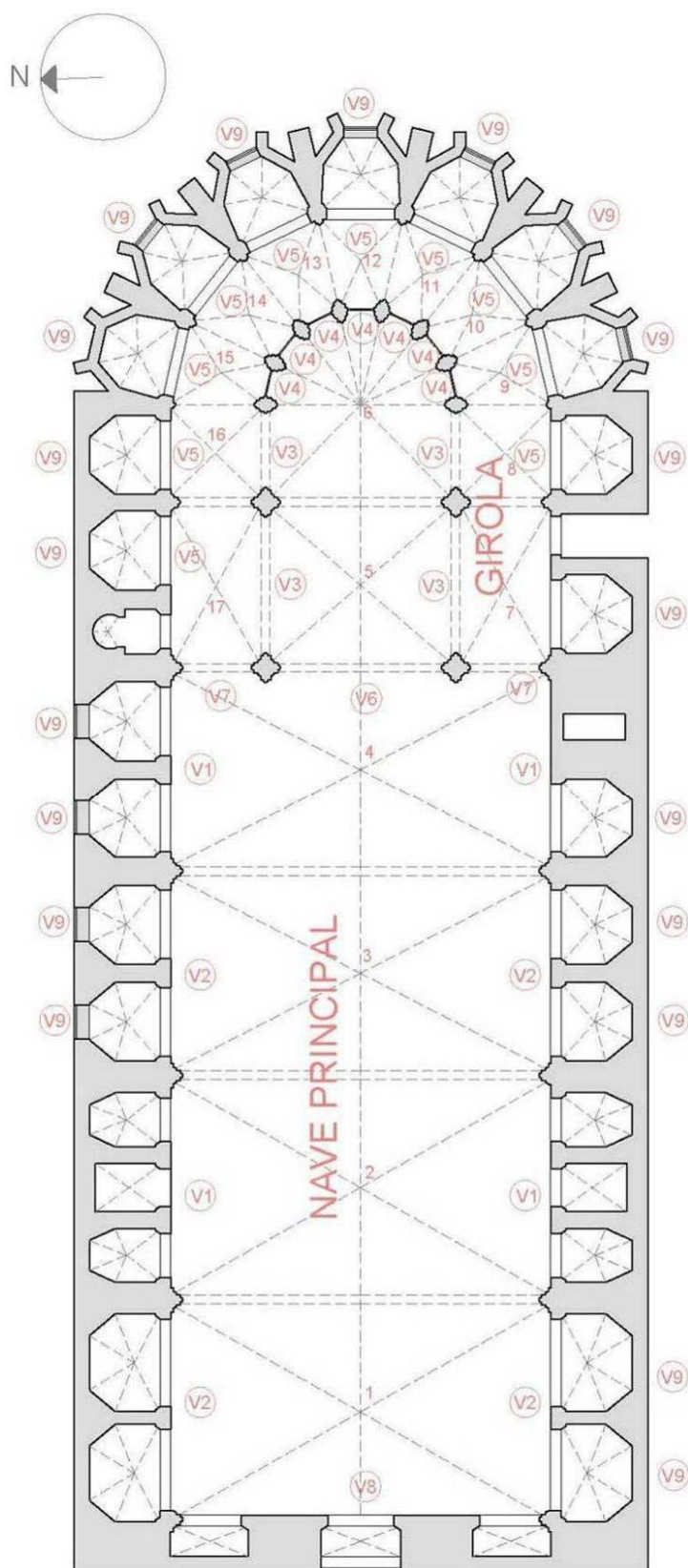


Fig. 6.6. Planta de la Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Secciones:

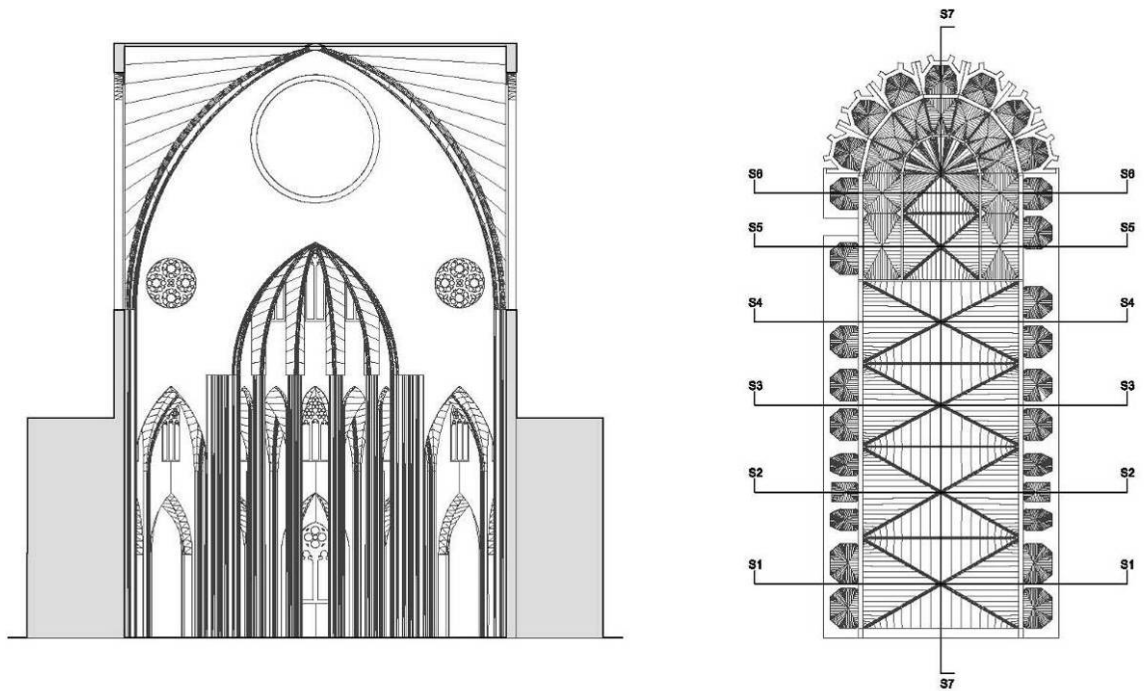


Fig. 6.7. Sección transversal y planta esquemática de corte de secciones. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

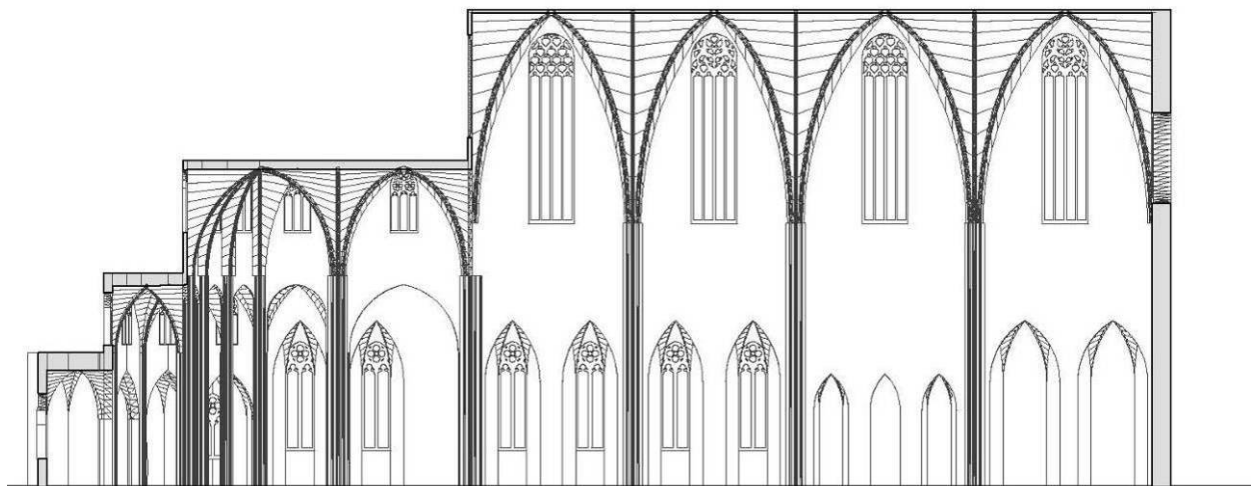


Fig. 6.8. Sección longitudinal. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Vidrieras:

VIDRIERAS CATEDRAL GERONA

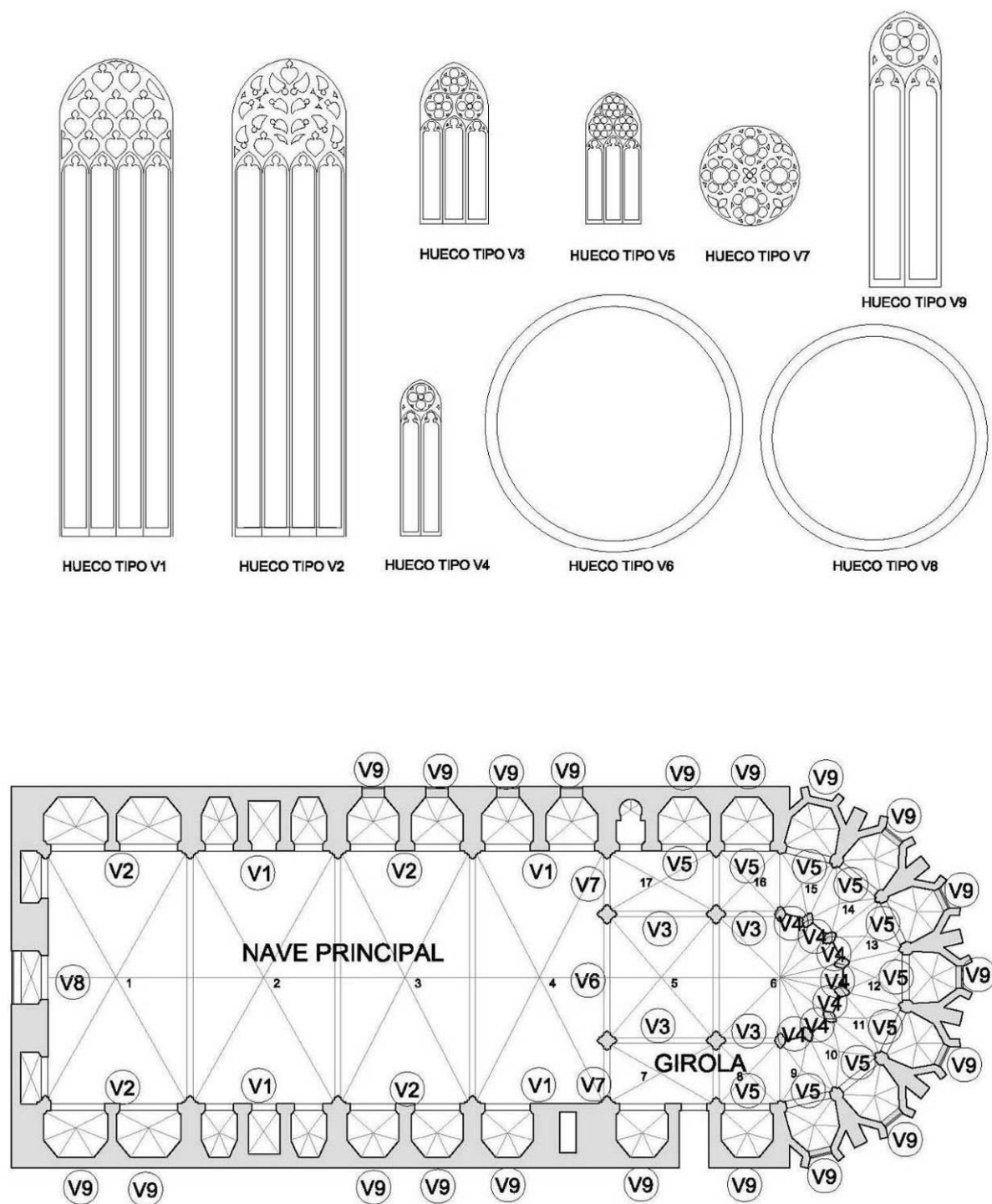


Fig. 6.9. Catálogo de vidrieras. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Modelo 3D:

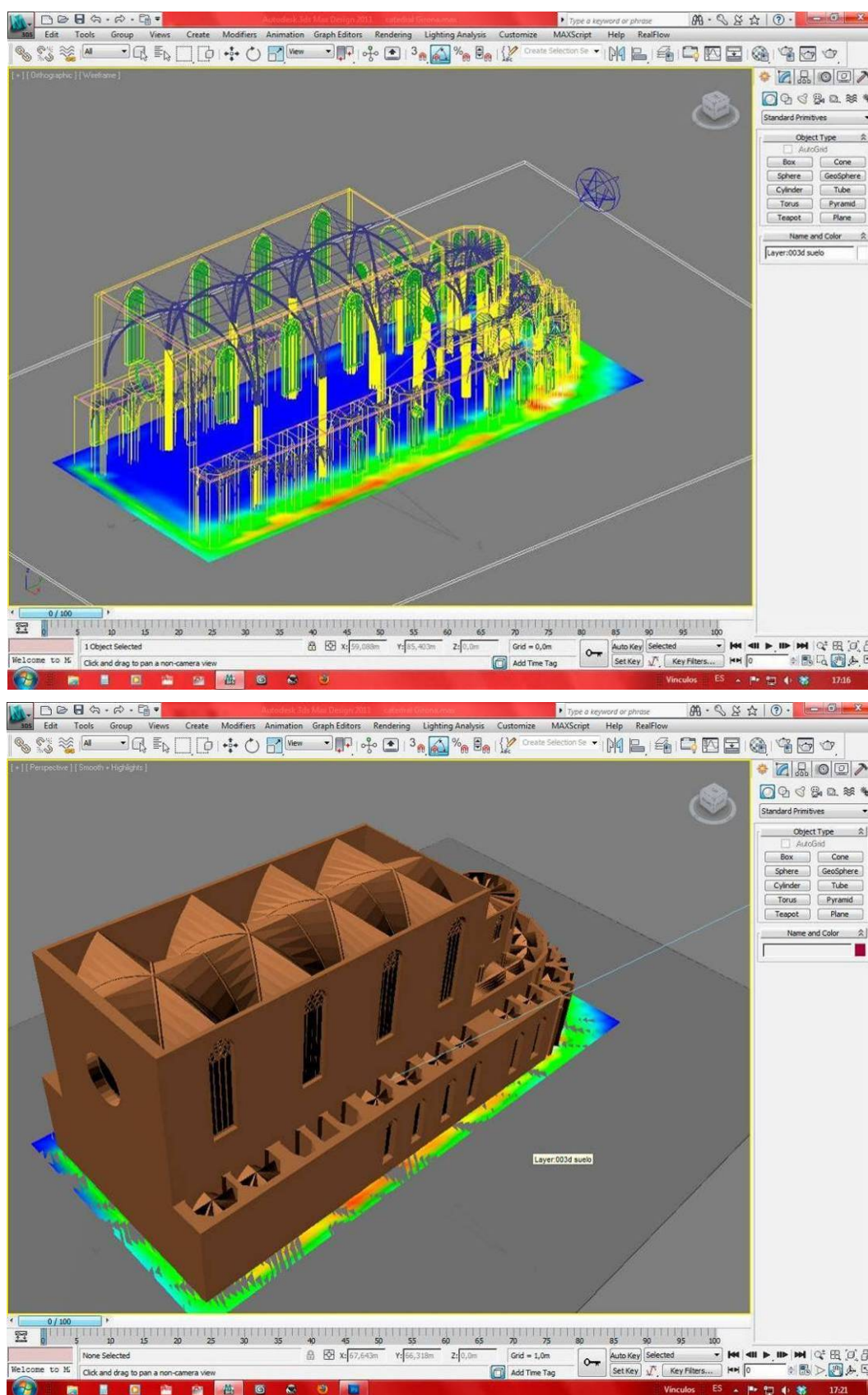


Fig. 6.10. Modelo 3D. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Modelo 3D Renderizado:

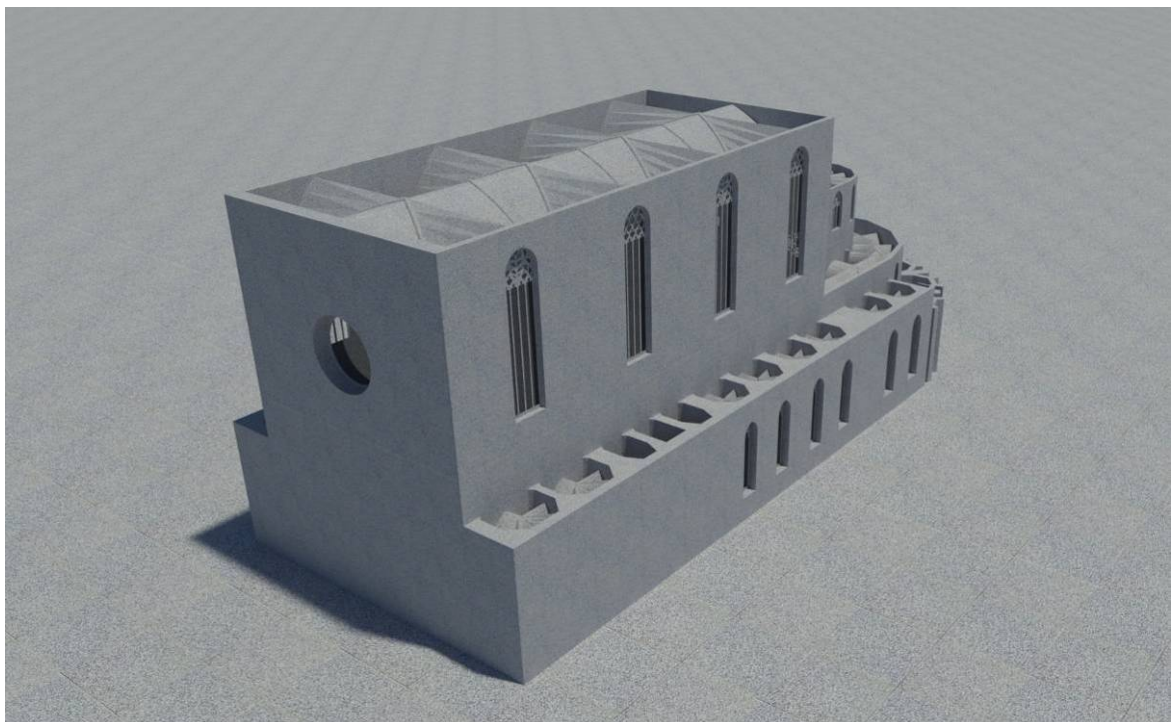


Fig. 6.11. Modelo 3D. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

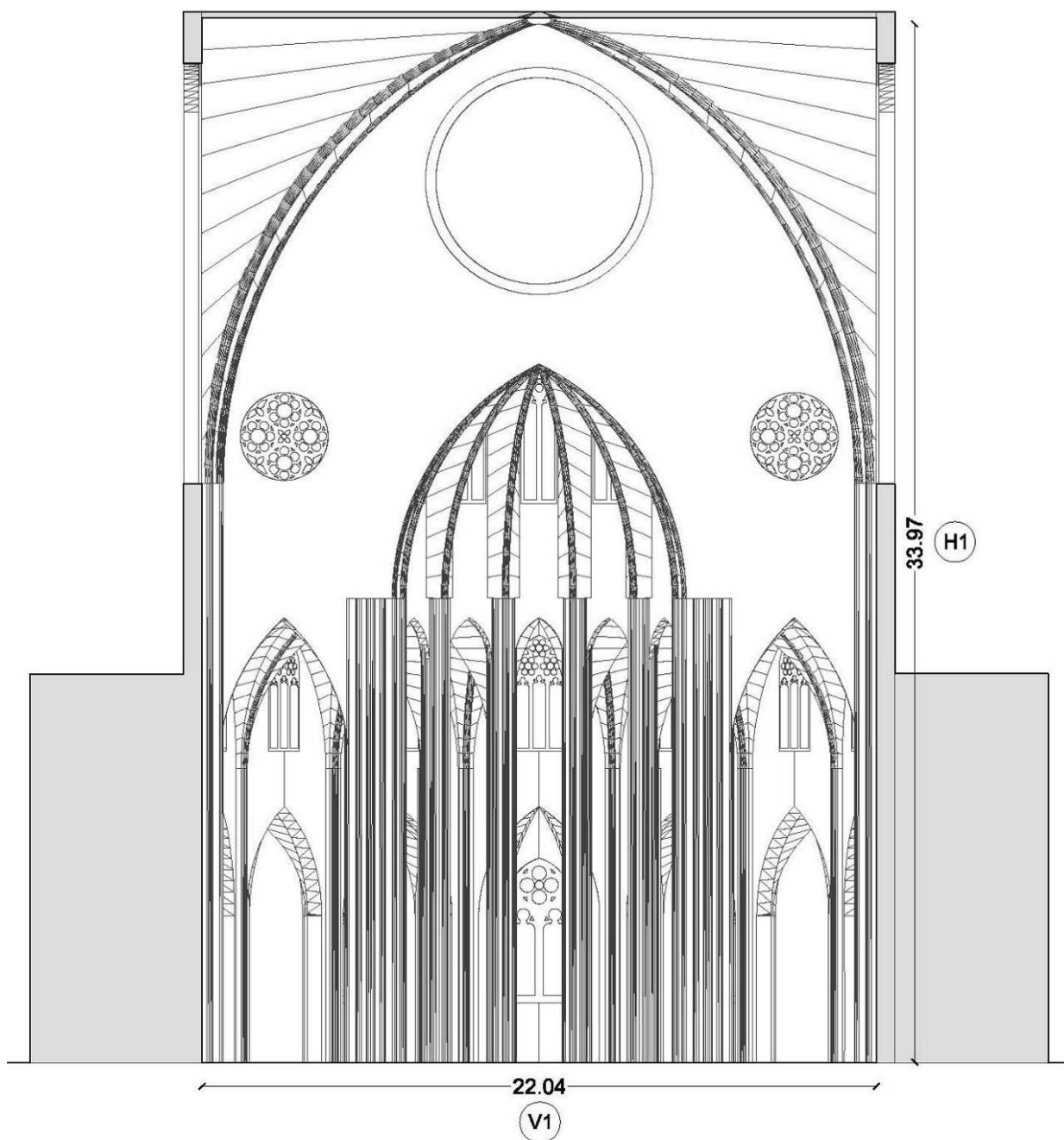
6.1.3 CATEDRAL DE GERONA. ANÁLISIS DE LA SECCIÓN: FACTOR DE ESBELTEZ Y FACTOR DE TRANSPARENCIA.

Para establecer las relaciones volumétricas necesarias para comprender la influencia que la sección de la catedral tiene sobre la iluminación en su interior, hemos establecido un factor comparable entre todas las catedrales y es su **factor de esbeltez** de nave, que viene definido por la división de la anchura de vano de cada nave con respecto su altura, valores V y H.

En cuanto a las relaciones de apertura de vanos en los muros de cerramiento, el presente estudio analiza una crujía tipo de la catedral entre dos pilares consecutivos de un tramo de la nave central. De ella se extrae un valor comparable entre catedrales que divide la cantidad de vanos incluidos en el muro entre la cantidad de cerramiento macizo de la crujía, **factor de transparencia**.

Los dibujos que demuestran estos dos factores son los que se muestran a continuación.

Factor de esbeltez:

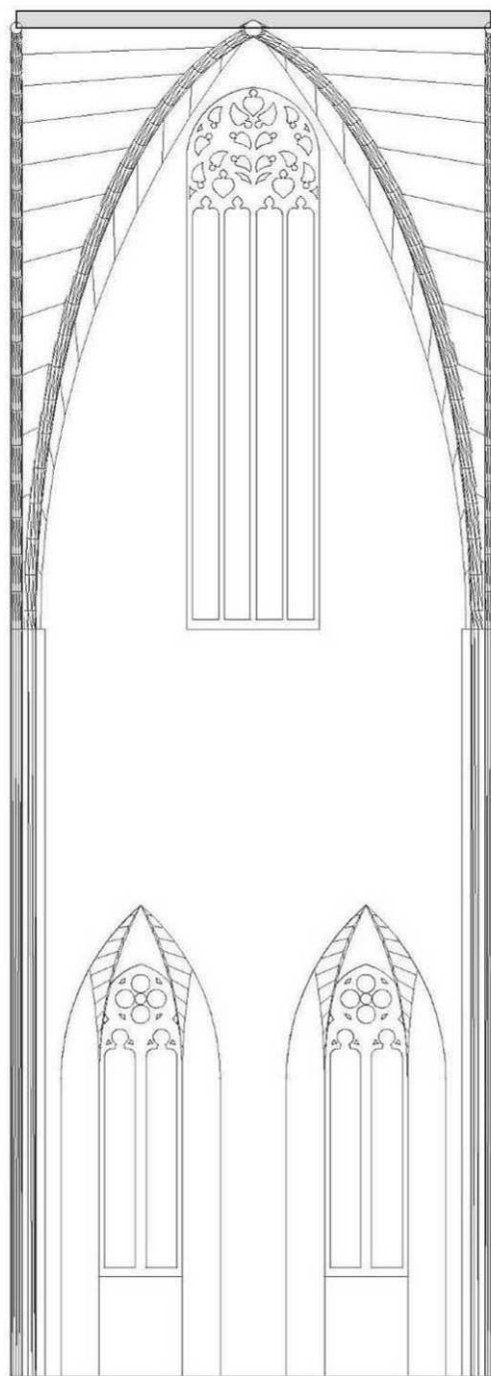


NAVE CENTRAL 1: FACTOR DE ESBELTEZ ($H1/V1$); **Fe1= 1,55**

Fig. 6.12.. Sección tipo de la catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Factor de transparencia:

RELACIÓN VANO / MURO.
FACTOR DE TRANSPARENCIA



CRUJÍA DE LA CATEDRAL DE GERONA

NAVE CENTRAL: FACTOR TRANSPARENCIA (VANO/MURO) **F_{tm}= 16,44**

NAVE CENTRAL: FACTOR TRANSPARENCIA TOTAL (VANO/VOLUMEN) **F_{tT}= 1,12**

Fig. 6.13. Crujía tipo de la catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

6.1.4 CATEDRAL DE GERONA. OBTENCIÓN DE DATOS LUMÍNICOS.

Los datos obtenidos para la catedral en los distintos días del año 1600 son los que arroja el programa informático para cada punto censado y a las 4 horas del día. La selección del año 1600 como año de referencia se debe, como ya describimos en el capítulo 5, a una limitación del programa informático.

Los valores obtenidos corresponden a una iluminación, tal como ya describimos, con cielo CIE, con valor de iluminación difusa correspondiente a la latitud en la que se encuentra la catedral y con un factor de filtrado del vidrio "a priori" del 40% para poder tener unos valores uniformes entre las distintas catedrales uniformes entre las distintas catedrales y poder compararlas entre sí.

Posteriormente, y para obtener datos ciertos de iluminación con las vidrieras que realmente existen que podamos **comparar con la iluminación actual de la catedral**, tomamos las medidas de ciertos puntos de la misma que consideramos "estables" a lo largo del tiempo y que no habían sufrido variaciones por las intervenciones acaecidas en su interior. Comparamos los valores de iluminación de esos puntos tomados in situ el día de la medición actual con los que nos arrojaba el programa informático. Esta sencilla división nos facilita un **factor de escala** que equivale al **factor de filtrado** real de la luz por culpa de las vidrieras y que, aplicado de manera general al resto de puntos de la catedral nos da el valor real de iluminación en cada punto censado.

Los puntos escogidos en esta catedral como "puntos estables" fueron los siguientes:

1, 2, 3, y el factor de escala (factor de filtrado) obtenido **0.047**.

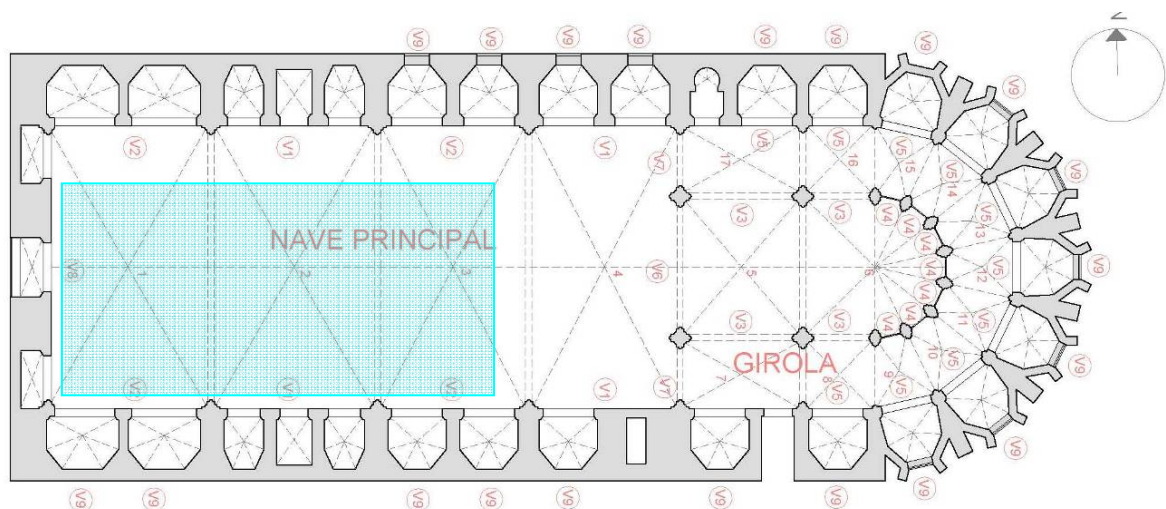


Fig. 6.14. Puntos estables de la catedral de Gerona, tomados para la obtención del factor de escala. Autor: Juan M. Medina

En esta catedral y para confirmar el método de conversión del factor de filtrado de vidrieras se tomaron in situ dos mediciones simultáneas: una con luz artificial y otra con las luces apagadas, es decir, exclusivamente con la luz que entraba por las vidrieras (Fig. 6.15 y Fig. 6.16). Esto fue posible por la colaboración del personal de mantenimiento y conservación de la catedral que procedían a apagar las luces en cada toma de datos.

		21 DE SEPT. 2012 sin luz artificial						21 DE SEPT. 2012 con luz artificial			
		PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	12:00	14:00	16:00	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL 1	1		13,60	14,70	9,40	10,60	1	31,00	36,80	10,20	10,60
	2		9,30	9,30	26,80	11,30	2	15,00	17,00	26,00	12,90
	3		13,20	11,90	13,80	10,60	3	16,10	14,00	17,80	68,20
	4		4,80	6,70	5,90	5,90	4	11,20	12,20	10,20	49,00
	5		2,10	5,10	4,50	3,43	5	3,00	20,90	20,90	29,80
	6		2,10	5,00	4,50	3,43	6	3,00	17,60	17,60	29,80
GIROLA INTERIOR 7	7		1,40	2,84	2,70	2,60	7	2,10	10,30	18,40	11,50
	8		2	3,55	4	2,7	8	2	7	10	4,8
	9		0,90	2,44	4,30	1,68	9	1,50	8,90	6,10	3,50
	10		0,60	3,42	2,90	1,50	10	3,50	14,40	6,80	7,80
	11		0,70	4,30	2,40	2,50	11	9,60	3,70	10,90	9,20
	12		0,40	1,90	2,10	2,00	12	1,90	9,70	3,10	4,00
	13		0,50	1,90	1,20	0,70	13	9,20	8,00	7,30	5,60
	14		0,60	2,10	1,00	0,60	14	7,00	3,60	7,50	6,20
	15		1,10	2,20	2,00	1,90	15	2,50	3,80	3,20	2,10
	16		1,50	3,08	7,20	2,40	16	5,20	8,80	9,60	5,30
	17		2,20	3,40	6,00	2,60	17	14,80	17,60	17,30	12,00

Fig. 6.15 y 6.16. Datos de medición de luz en la catedral de Gerona con luz artificial y sin ella. 21 de Septiembre de 2012. Autor: Juan M. Medina

Con esta medición tendríamos, para los "puntos estables" de la catedral, aquellos que sólo se diferencian de su estado inicial gótico por el hecho de la luz artificial, unos valores que deberían coincidir con los valores de la recreación 3D multiplicados por el factor de escala. (Fig. 6.14)

Una vez hecho el ejercicio de comprobación del factor de escala (factor de filtrado de vidrieras) según los dos sistemas, el de **puntos estables**, y el de la **medición in situ sin luz artificial**, se comprueba que el método empleado para obtener este factor es válido, ya que los valores medios de iluminación de la zona son iguales. (Fig. 6.17)

puntos constantes 2012					puntos catedral constantes 1600								
					escalado			escalado			escalado		
1	13,60	14,70	9,40	10,60	1	211,00	9,88	186,00	8,71	200,00	9,36	186,00	8,71
2	9,30	9,30	26,80	11,30	2	232,00	10,86	223,00	10,44	226,00	10,58	240,00	11,24
3	13,20	11,90	13,80	10,60	3	321,00	15,03	295,00	13,81	301,00	14,09	302,00	14,14
4	4,80	6,70	5,90	5,90	4	287,00	13,44	254,00	11,89	253,00	11,84	233,00	10,91

Total iluminación media mediante el factor de escala													11,56
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

puntos constantes 2012					puntos catedral constantes medidos sin luz 2012								
					escalado			escalado			escalado		
1	13,60	14,70	9,40	10,60	1	31,00	19,58949	36,80	23,25462	10,20	6,445574	10,60	6,698342
2	9,30	9,30	26,80	11,30	2	15,00	9,478786	17,00	10,74262	26,00	16,4299	12,90	8,151756
3	13,20	11,90	13,80	10,60	3	16,10	10,1739	14,00	8,846867	17,80	11,24816	68,20	43,09688
4	4,80	6,70	5,90	5,90	4	11,20	7,077494	12,20	7,709413	10,20	6,445574	49,00	30,96403

Total iluminación media mediante la medición in situ con y sin luz artificial en los puntos constantes													11,61
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

Fig. 6.17. Sistema de obtención del factor de escalado (factor de filtrado de vidrieras) y comparación con la medición de puntos constantes medidos in situ sin iluminación artificial. 21 de Septiembre de 2012. Autor: Juan M. Medina.

El resto de gráficas obtenidas para las cuatro estaciones del año en 1600 son las siguientes:

21 MARZO 1600									
F.ESCALA 0,047	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escalad o	12:00	Escalad o	14:00	Escalad o	16:00	Escalad o
NAVE CENTRAL 1	1	211,00	9,88	186,00	8,71	200,00	9,36	186,00	8,71
	2	232,00	10,86	223,00	10,44	226,00	10,58	240,00	11,24
	3	321,00	15,03	295,00	13,81	301,00	14,09	302,00	14,14
	4	287,00	13,44	254,00	11,89	253,00	11,84	233,00	10,91
	5	216,00	10,11	184,00	8,61	170,00	7,96	138,00	6,46
	6	272,00	12,73	257,00	12,03	227,00	10,63	200,00	9,36
	7	198,00	9,27	189,00	8,85	188,00	8,80	146,00	6,84
	8	301	14,09	278	13,02	267	12,50	205	9,60
	9	243,00	11,38	232,00	10,86	179,00	8,38	116,00	5,43
	10	259,00	12,13	244,00	11,42	182,00	8,52	117,00	5,48
	11	292,00	13,67	269,00	12,59	192,00	8,99	133,00	6,23
	12	257,00	12,03	209,00	9,78	131,00	6,13	87,00	4,07
	13	218,00	10,21	186,00	8,71	130,00	6,09	96,00	4,49
	14	213,00	9,97	181,00	8,47	138,00	6,46	111,00	5,20
	15	196,00	9,18	177,00	8,29	140,00	6,55	119,00	5,57
	16	205,00	9,60	186,00	8,71	163,00	7,63	140,00	6,55
	17	248,00	11,61	197,00	9,22	190,00	8,90	167,00	7,82
GIROLA INTERIOR 7	1	183,00	8,57	191,00	8,94	194,00	9,08	182,00	8,52
	2	225,00	10,53	227,00	10,63	225,00	10,53	211,00	9,88
	3	307,00	14,37	305,00	14,28	299,00	14,00	279,00	13,06
	4	269,00	12,59	264,00	12,36	249,00	11,66	228,00	10,67
	5	206,00	9,64	197,00	9,22	172,00	8,05	143,00	6,69
	6	277,00	12,97	263,00	12,31	238,00	11,14	198,00	9,27
	7	195,00	9,13	198,00	9,27	182,00	8,52	148,00	6,93
	8	283	13,25	281	13,16	256	11,99	208	9,74
	9	244,00	11,42	207,00	9,69	169,00	7,91	118,00	5,52
	10	246,00	11,52	222,00	10,39	181,00	8,47	119,00	5,57
	11	284,00	13,30	247,00	11,56	200,00	9,36	139,00	6,51
	12	267,00	12,50	216,00	10,11	159,00	7,44	98,00	4,59
	13	249,00	11,66	216,00	10,11	159,00	7,44	118,00	5,52
	14	242,00	11,33	215,00	10,07	170,00	7,96	139,00	6,51
	15	228,00	10,67	208,00	9,74	180,00	8,43	153,00	7,16
	16	224,00	10,49	210,00	9,83	194,00	9,08	168,00	7,87
	17	233,00	10,91	225,00	10,53	201,00	9,41	191,00	8,94

21 JUNIO 1600									
F.ESCALA 0,047	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escalad o	12:00	Escalad o	14:00	Escalad o	16:00	Escalad o
NAVE CENTRAL 1	1	183,00	8,57	191,00	8,94	194,00	9,08	182,00	8,52
	2	225,00	10,53	227,00	10,63	225,00	10,53	211,00	9,88
	3	307,00	14,37	305,00	14,28	299,00	14,00	279,00	13,06
	4	269,00	12,59	264,00	12,36	249,00	11,66	228,00	10,67
	5	206,00	9,64	197,00	9,22	172,00	8,05	143,00	6,69
	6	277,00	12,97	263,00	12,31	238,00	11,14	198,00	9,27
	7	195,00	9,13	198,00	9,27	182,00	8,52	148,00	6,93
	8	283	13,25	281	13,16	256	11,99	208	9,74
	9	244,00	11,42	207,00	9,69	169,00	7,91	118,00	5,52
	10	246,00	11,52	222,00	10,39	181,00	8,47	119,00	5,57
	11	284,00	13,30	247,00	11,56	200,00	9,36	139,00	6,51
	12	267,00	12,50	216,00	10,11	159,00	7,44	98,00	4,59
	13	249,00	11,66	216,00	10,11	159,00	7,44	118,00	5,52
	14	242,00	11,33	215,00	10,07	170,00	7,96	139,00	6,51
	15	228,00	10,67	208,00	9,74	180,00	8,43	153,00	7,16
	16	224,00	10,49	210,00	9,83	194,00	9,08	168,00	7,87
	17	233,00	10,91	225,00	10,53	201,00	9,41	191,00	8,94
GIROLA INTERIOR 7	1	183,00	8,57	191,00	8,94	194,00	9,08	182,00	8,52
	2	225,00	10,53	227,00	10,63	225,00	10,53	211,00	9,88
	3	307,00	14,37	305,00	14,28	299,00	14,00	279,00	13,06
	4	269,00	12,59	264,00	12,36	249,00	11,66	228,00	10,67
	5	206,00	9,64	197,00	9,22	172,00	8,05	143,00	6,69
	6	277,00	12,97	263,00	12,31	238,00	11,14	198,00	9,27
	7	195,00	9,13	198,00	9,27	182,00	8,52	148,00	6,93
	8	283	13,25	281	13,16	256	11,99	208	9,74
	9	244,00	11,42	207,00	9,69	169,00	7,91	118,00	5,52
	10	246,00	11,52	222,00	10,39	181,00	8,47	119,00	5,57
	11	284,00	13,30	247,00	11,56	200,00	9,36	139,00	6,51
	12	267,00	12,50	216,00	10,11	159,00	7,44	98,00	4,59
	13	249,00	11,66	216,00	10,11	159,00	7,44	118,00	5,52
	14	242,00	11,33	215,00	10,07	170,00	7,96	139,00	6,51
	15	228,00	10,67	208,00	9,74	180,00	8,43	153,00	7,16
	16	224,00	10,49	210,00	9,83	194,00	9,08	168,00	7,87
	17	233,00	10,91	225,00	10,53	201,00	9,41	191,00	8,94

21 SEPTIEMBRE 1600									
F.ESCALA 0,047	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escalad o	12:00	Escalad o	14:00	Escalad o	16:00	Escalad o
NAVE CENTRAL 1	1	204,00	9,55	203,00	9,50	199,00	9,32	192,00	8,99
	2	249,00	11,66	237,00	11,10	239,00	11,19	241,00	11,28
	3	324,00	15,17	313,00	14,65	310,00	14,51	309,00	14,47
	4	283,00	13,25	277,00	12,97	262,00	12,27	233,00	10,91
	5	209,00	9,78	184,00	8,61	169,00	7,91	147,00	6,88
	6	273,00	12,78	244,00	11,42	221,00	10,35	192,00	8,99
GIROLA INTERIOR 7	7	198,00	9,27	184,00	8,61	181,00	8,47	151,00	7,07
	8	292	13,67	272	12,73	259	12,13	204	9,55
	9	229,00	10,72	210,00	9,83	174,00	8,15	108,00	5,06
	10	254,00	11,89	226,00	10,58	173,00	8,10	112,00	5,24
	11	289,00	13,53	237,00	11,10	186,00	8,71	130,00	6,09
	12	248,00	11,61	184,00	8,61	127,00	5,95	86,00	4,03
	13	207,00	9,69	167,00	7,82	124,00	5,81	103,00	4,82
	14	198,00	9,27	165,00	7,72	134,00	6,27	113,00	5,29
	15	184,00	8,61	160,00	7,49	136,00	6,37	118,00	5,52
	16	199,00	9,32	172,00	8,05	164,00	7,68	143,00	6,69
	17	230,00	10,77	221,00	10,35	202,00	9,46	174,00	8,15

21 DICIEMBRE 1600									
F.ESCALA 0,047	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escalad o	12:00	Escalad o	14:00	Escalad o	16:00	Escalad o
NAVE CENTRAL 1	1	251,00	11,75	288,00	13,48	231,00	10,81	198,00	9,27
	2	301,00	14,09	324,00	15,17	299,00	14,00	230,00	10,77
	3	363,00	16,99	398,00	18,63	384,00	17,98	318,00	14,89
	4	310,00	14,51	347,00	16,25	337,00	15,78	253,00	11,84
	5	224,00	10,49	230,00	10,77	232,00	10,86	145,00	6,79
	6	277,00	12,97	274,00	12,83	248,00	11,61	194,00	9,08
GIROLA INTERIOR 7	7	220,00	10,30	214,00	10,02	236,00	11,05	165,00	7,72
	8	334	15,64	288	13,48	267	12,50	226	10,58
	9	268,00	12,55	244,00	11,42	201,00	9,41	116,00	5,43
	10	347,00	16,25	245,00	11,47	176,00	8,24	115,00	5,38
	11	343,00	16,06	236,00	11,05	188,00	8,80	133,00	6,23
	12	216,00	10,11	174,00	8,15	136,00	6,37	84,00	3,93
	13	182,00	8,52	159,00	7,44	134,00	6,27	95,00	4,45
	14	174,00	8,15	161,00	7,54	133,00	6,23	110,00	5,15
	15	164,00	7,68	169,00	7,91	140,00	6,55	119,00	5,57
	16	199,00	9,32	174,00	8,15	167,00	7,82	146,00	6,84
	17	244,00	11,42	224,00	10,49	214,00	10,02	178,00	8,33

6.1.5 CATEDRAL DE GERONA. TRASLACIÓN DE DATOS A GRÁFICAS LUMÍNICAS: ILUMINACIÓN INDIRECTA.

La aplicación del programa informático sobre el modelo en 3D de la catedral original gótica nos permite obtener, además de valores puntuales en cada punto censado, unas interesantes gráficas de color que representan la iluminación general de la catedral en un momento dado, pudiendo establecer un análisis a simple vista de lo que ocurre en cada lugar de la misma.

En este caso no se toman los valores “escalados” de iluminación sino los correspondientes a la aplicación del programa con el vidrio “tipo”, con la selección de un vidrio traslúcido igual para todas las catedrales, para de ese modo poder posteriormente compararlas entre sí.

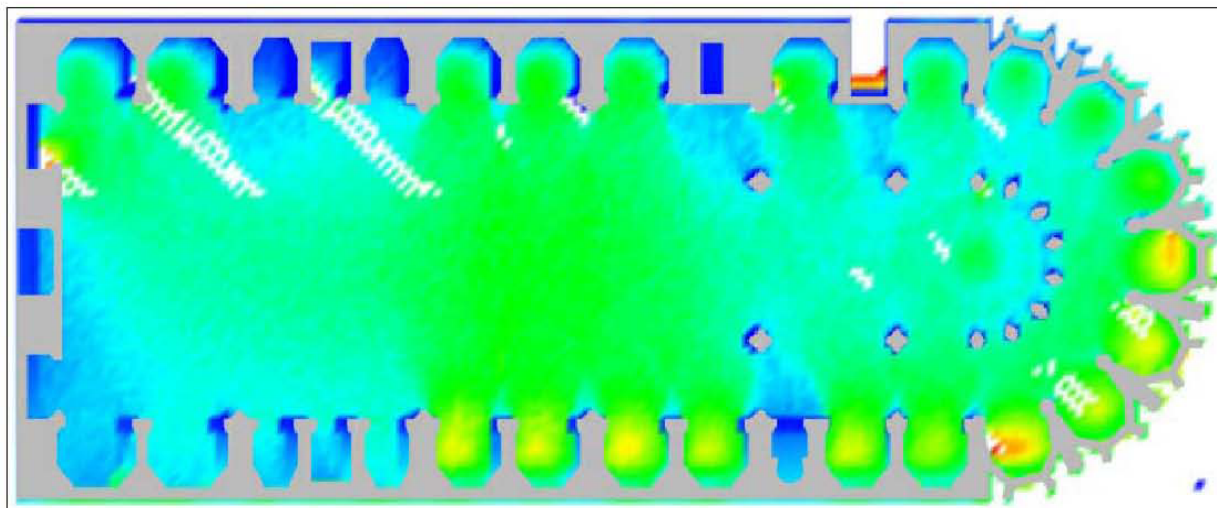
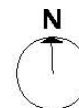
Para la catedral de Sevilla se ha tomado una escala de graduación de color que va desde los 0 luxes y los 500 luxes. (Fig. 6.18)



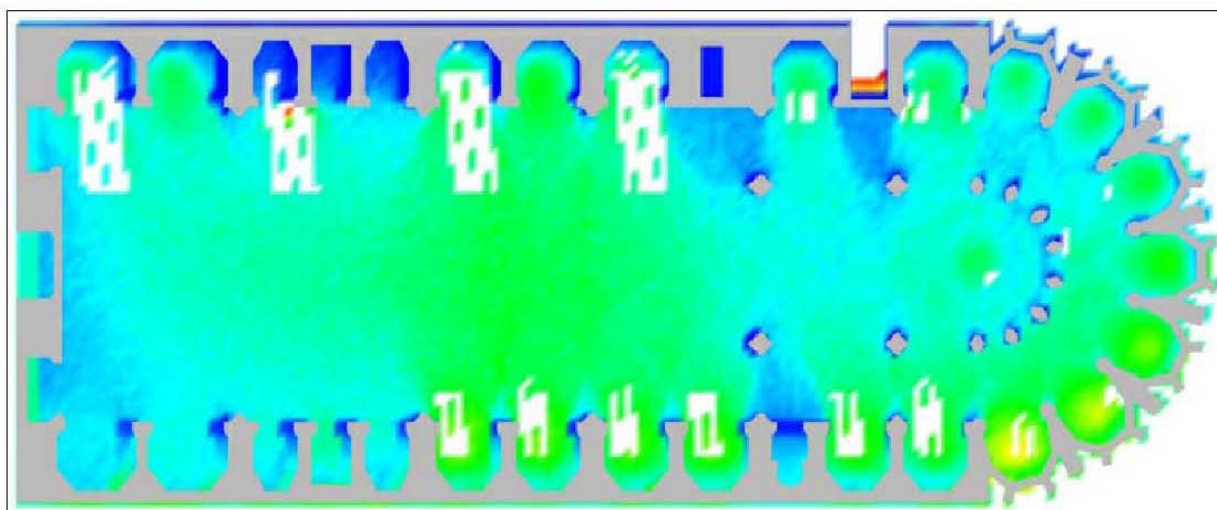
F. 6.18. Gradiente de color utilizado para la catedral de Gerona.

Las gráficas lumínicas resultantes para los cuatro días del año y las cuatro horas del día son las siguientes:

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



PLANTA 10:00



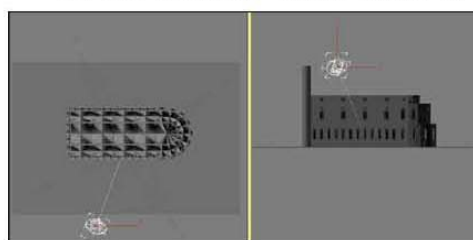
PLANTA 12:00

21 DE MARZO 10:00 HORAS

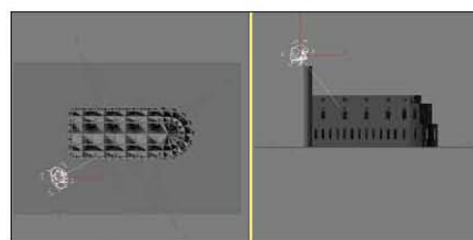
21 DE MARZO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

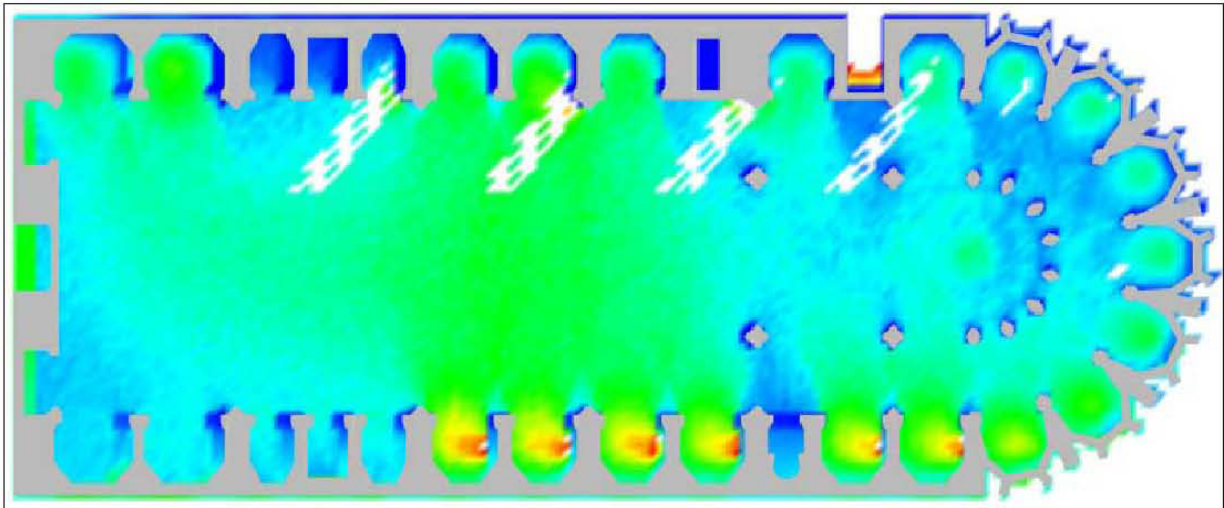
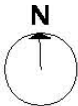


SITUACIÓN SOLAR

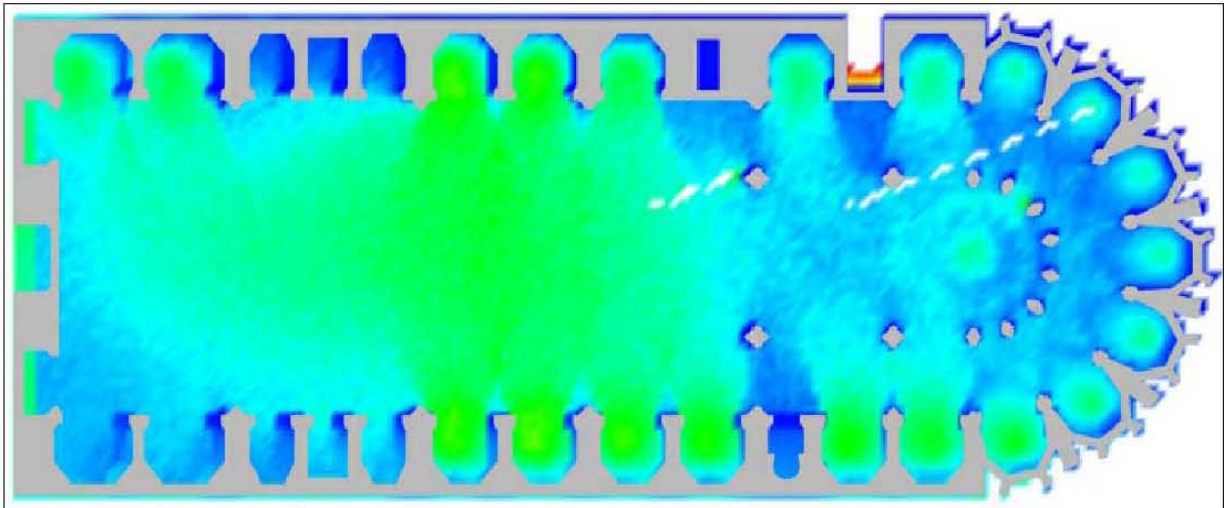


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



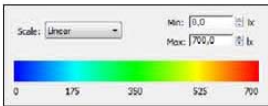
PLANTA 14:00



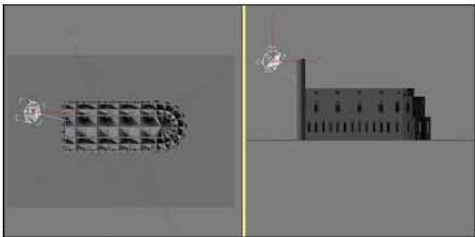
PLANTA 16:00

21 DE MARZO 14:00 HORAS

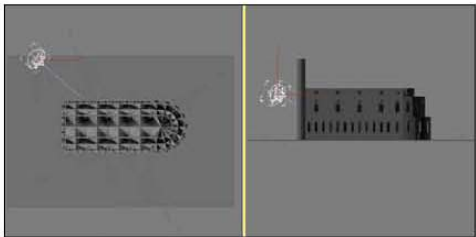
21 DE MARZO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

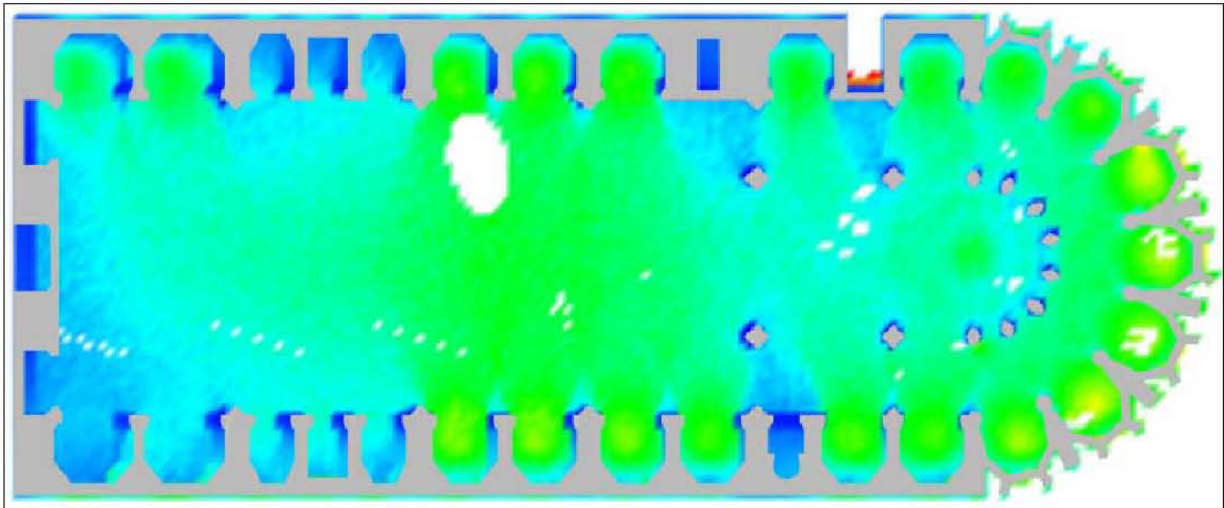
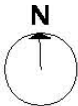


SITUACIÓN SOLAR

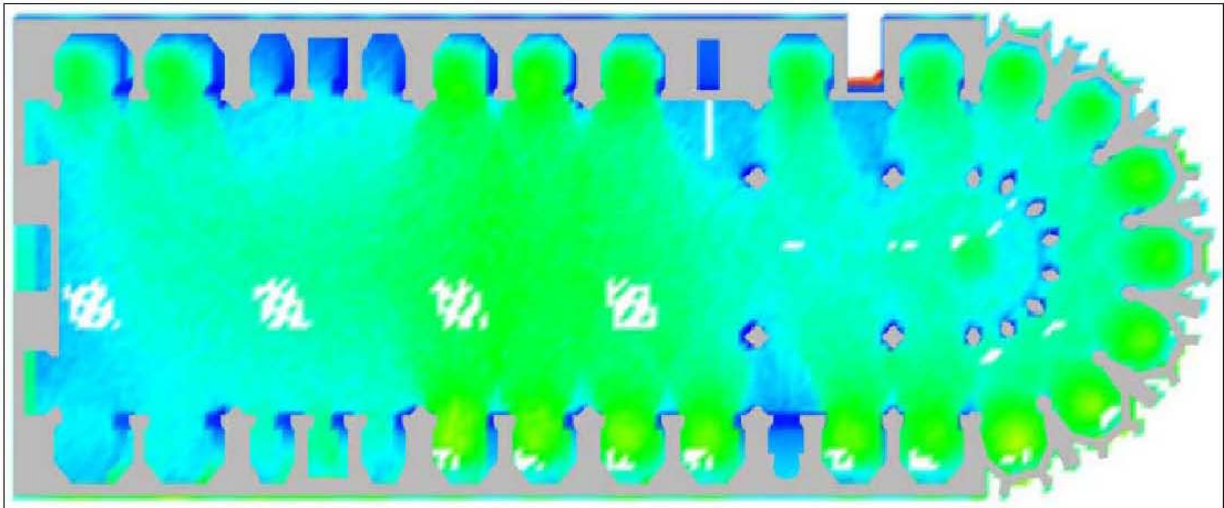


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



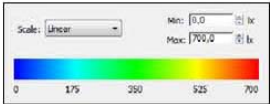
PLANTA 10:00



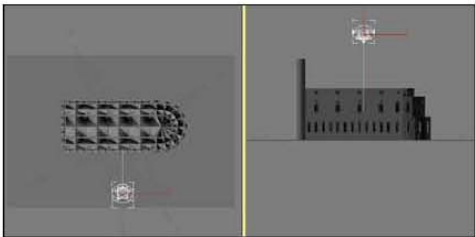
PLANTA 12:00

21 DE JUNIO 10:00 HORAS

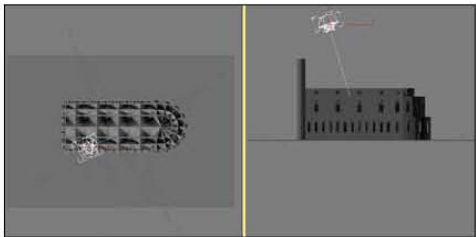
21 DE JUNIO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

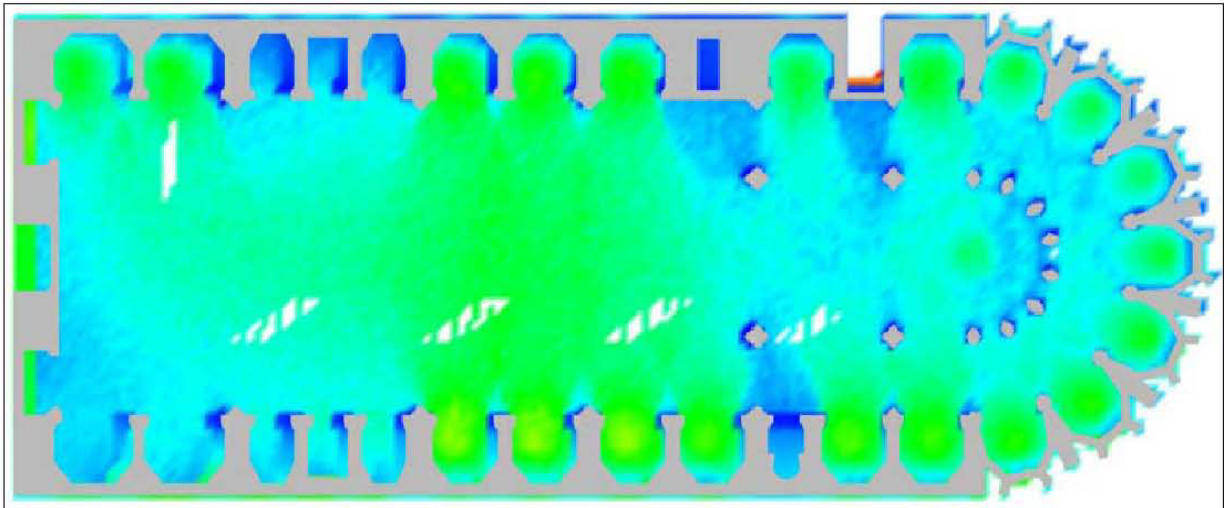
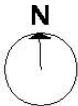


SITUACIÓN SOLAR

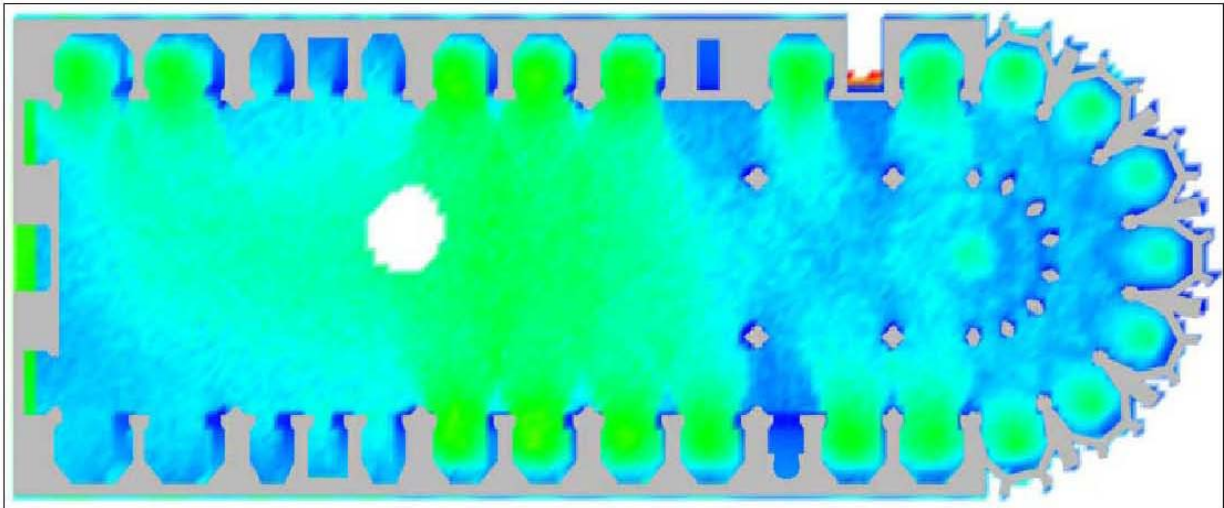


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



PLANTA 14:00



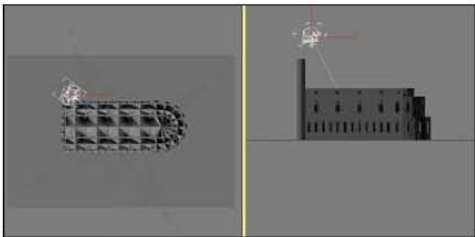
PLANTA 16:00

21 DE JUNIO 14:00 HORAS

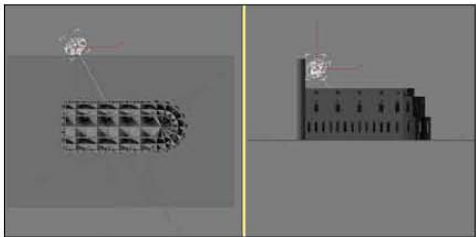
21 DE JUNIO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

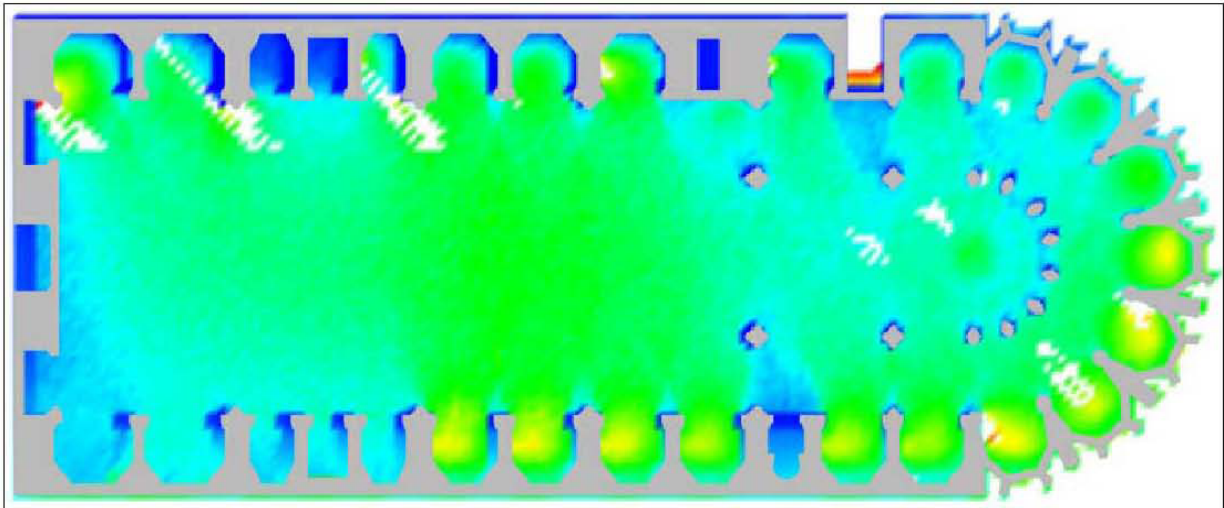
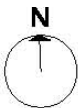


SITUACIÓN SOLAR

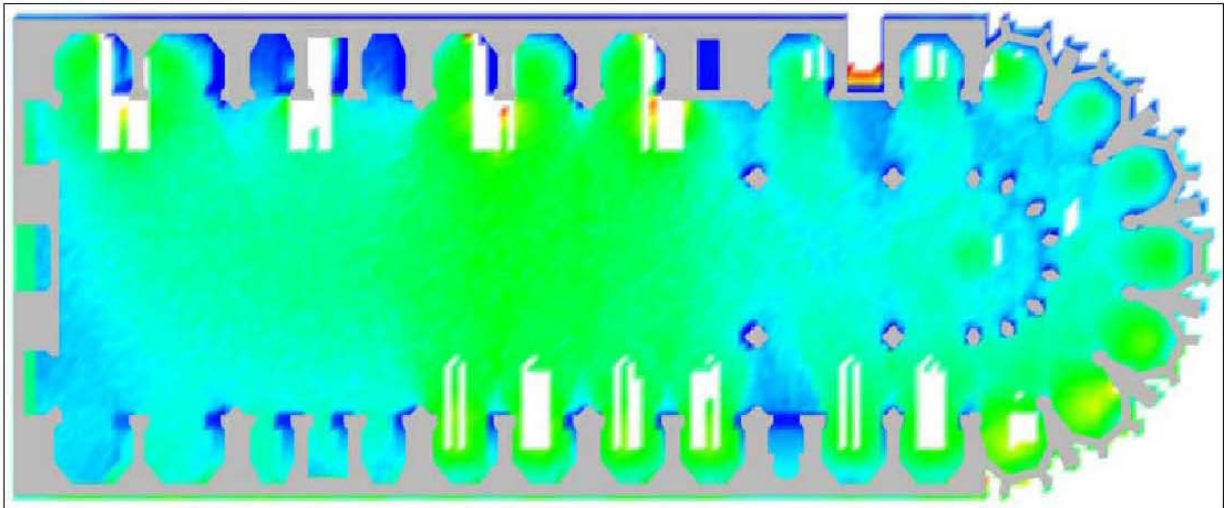


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



PLANTA 10:00



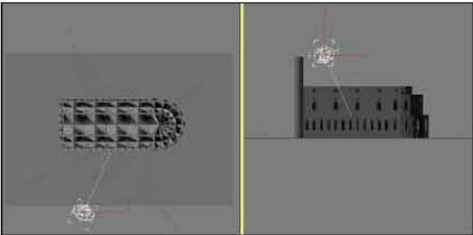
PLANTA 12:00

21 DE SEPT. 10:00 HORAS

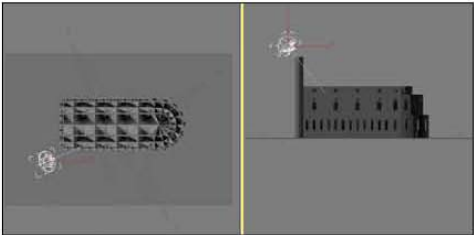
21 DE SEPT. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

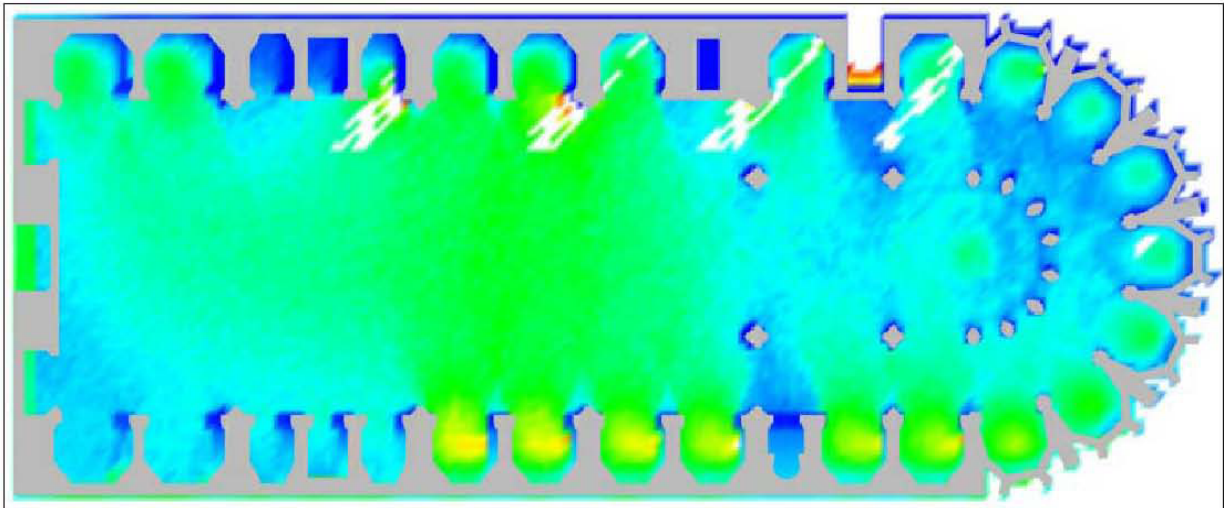
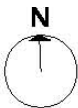


SITUACIÓN SOLAR

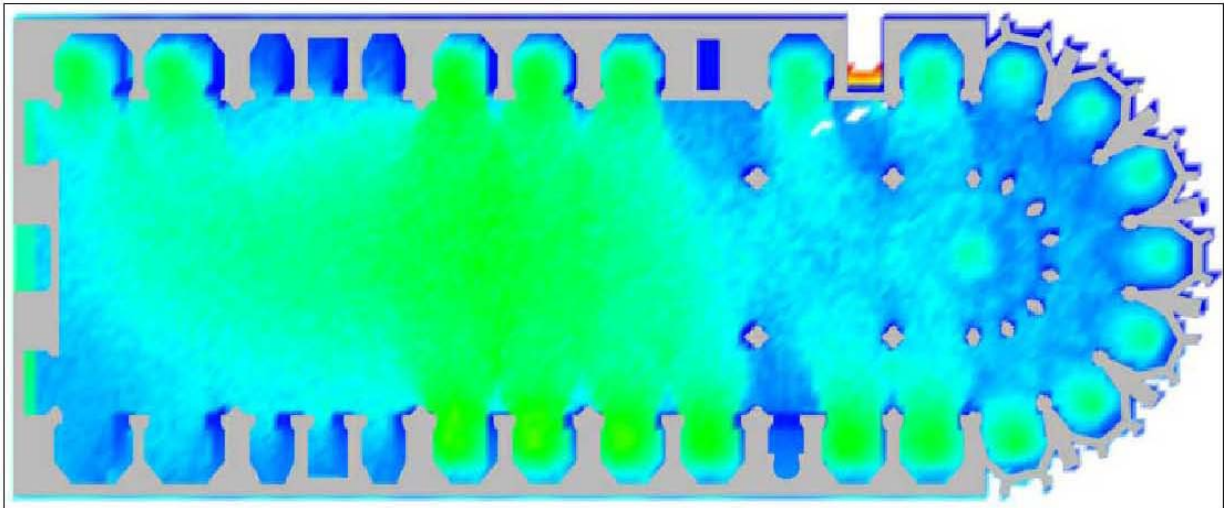


SITUACIÓN SOLAR

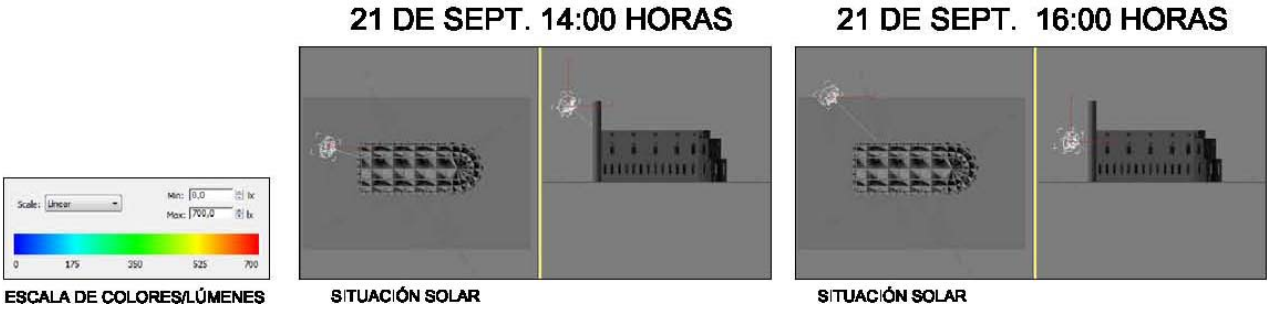
CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



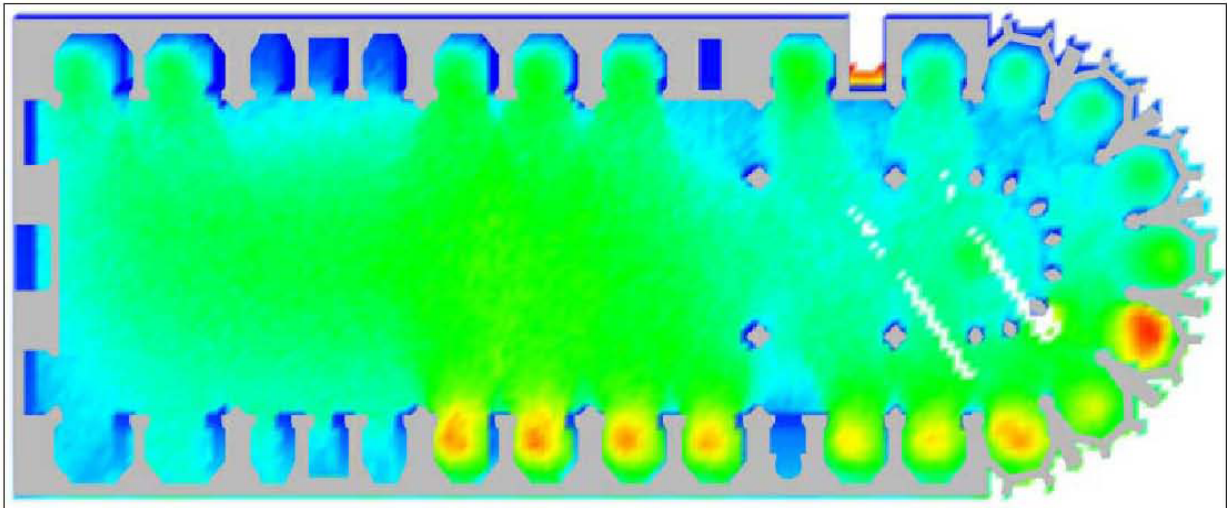
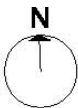
PLANTA 14:00



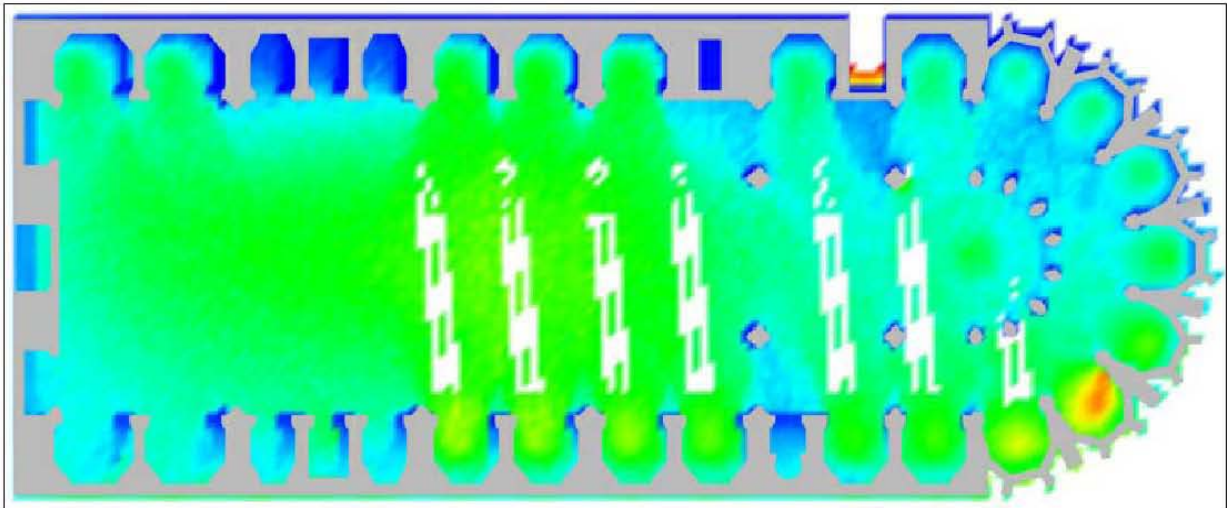
PLANTA 16:00



CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



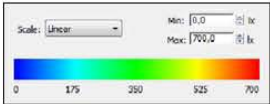
PLANTA 10:00



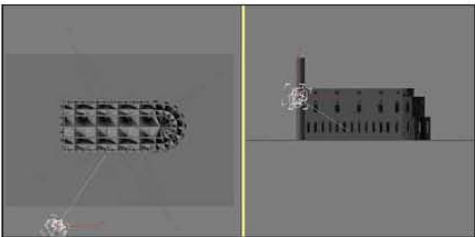
PLANTA 12:00

21 DE DIC. 10:00 HORAS

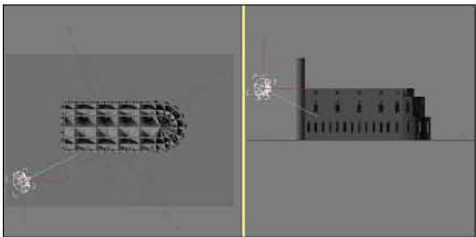
21 DE DIC. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

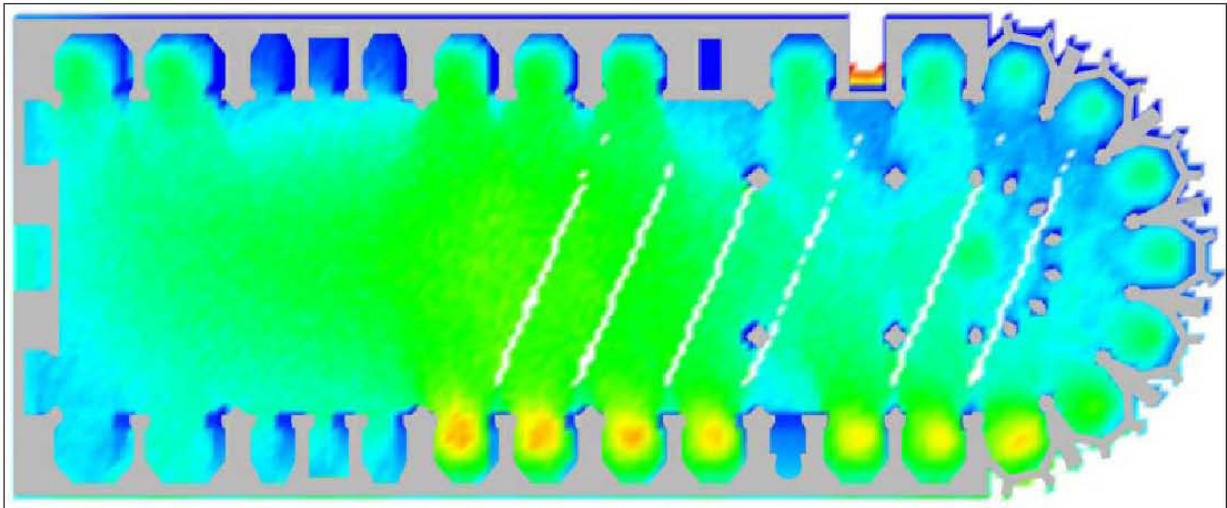
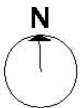


SITUACIÓN SOLAR

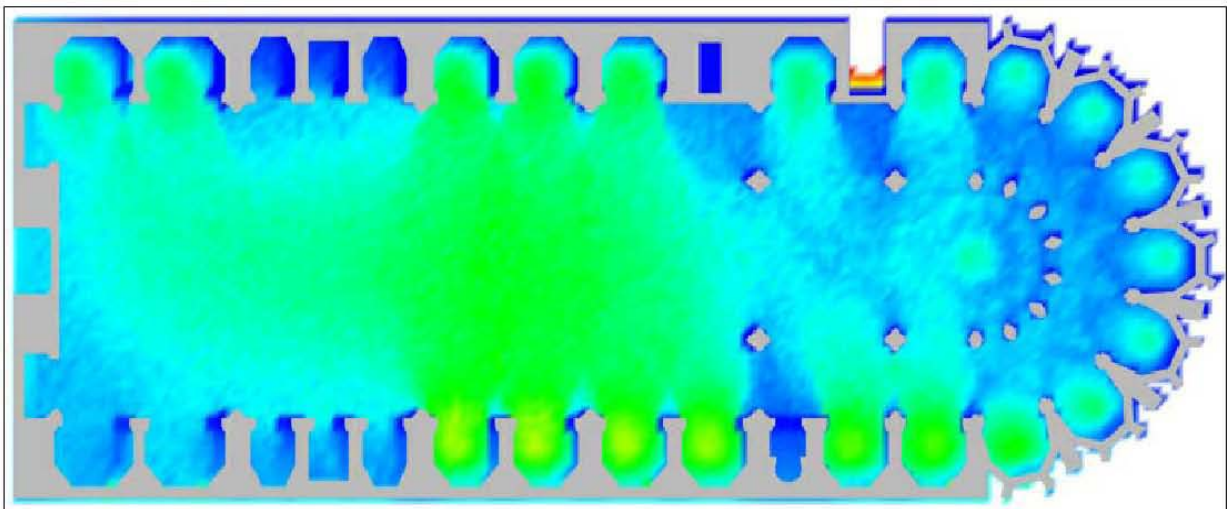


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



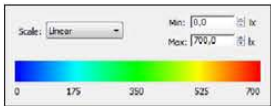
PLANTA 14:00



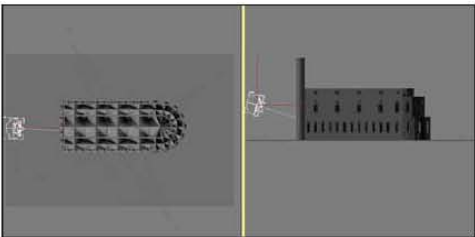
PLANTA 16:00

21 DE DIC. 14:00 HORAS

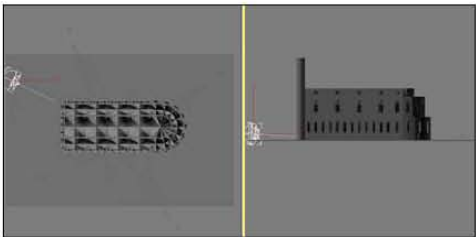
21 DE DIC. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES



SITUACIÓN SOLAR



SITUACIÓN SOLAR

6.1.6 CATEDRAL DE GERONA. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN GENERAL DE LA CATEDRAL. ILUMINACIÓN INDIRECTA.

En este apartado estudiaremos los valores numéricos obtenidos en los distintos puntos de la catedral con su factor de escalado y las gráficas que se han extractado a partir de estos para, de ese modo, poder analizar de manera pormenorizada la iluminación en cada nave de la catedral y la comparación entre estas.

6.1.6.1 NAVE CENTRAL.

Nave de iluminación extremadamente constante en primavera en lo referente a la iluminación general por punto a lo largo del día, sobre todo entre las 12:00 y las 16:00 horas con valores en primavera en torno a los 10 luxes y con un ligero aumento a las 10:00 de la mañana cuando encontramos 12 luxes de iluminación media.

En verano se repite el esquema general de iluminación de primavera en lo referente a constancia de valores, sin embargo en esta estación los valores medios más altos se encuentran a las 12:00 de la mañana, con 14,50 luxes de iluminación media. Después encontramos los valores de las 10:00 y de las 14:00 que arrojan valores de 13,50 luxes y por último la iluminación media de la 16:00 horas que apenas alcanza los 10 luxes.

En otoño volvemos a tener la máxima iluminación a las 10 con un patrón similar a primavera, con valores a las 10:00 de 12 luxes y del entorno de los 10 luxes para el resto de horas del día.

En invierno la iluminación general desciende, teniendo valores medios por punto de 11 luxes a las 10:00 y no superando los 10 luxes el resto del día.

21 de marzo: La gráfica de primavera (fig. 6.19) a las 10:00 horas nos muestra como la iluminación sufre un ascenso entre los puntos 1 y 3, (de los pies hacia la mitad de la nave), después, los valores descienden hacia una iluminación parecida a la que encontramos a los pies de la iglesia, hasta el punto 5. Finalmente encontramos un repunte del punto 5 al 6 (presbiterio), donde encontramos valores similares a los más altos de la nave.

Este esquema de gráfica se repite de manera paralela para las otras 4 horas del día mostrando homogeneidad en la distribución de las líneas tanto para las 12:00 como para las 14:00. A las 16:00 podemos observar como los valores siguen mostrando líneas paralelas

a las anteriores pero con valores más pequeños, así de los 12,73 luxes encontrados en el presbiterio a las 10:00 pasamos a los 9,36 de las de las 16:00.

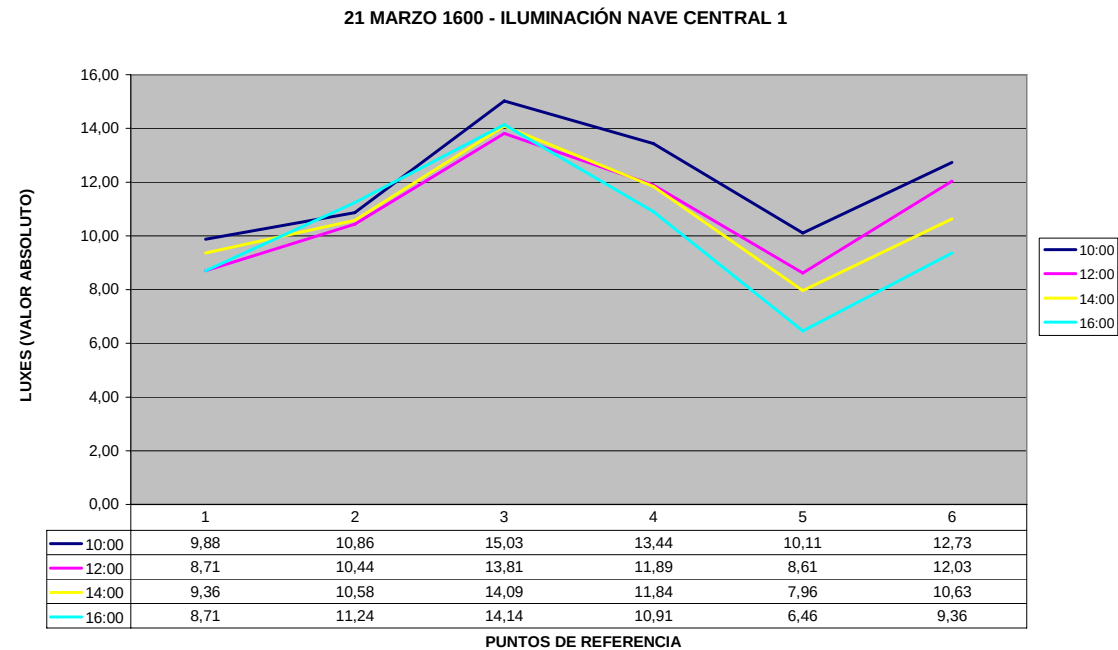


Fig. 6.19. Gráfica de la nave 1. 21 marzo 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de junio: La gráfica de verano (Fig. 6.20) muestra unos valores de comportamiento similar a la de primavera, siguiendo el patrón de aumento de la iluminación desde los pies hacia el ábside con el consabido descenso entre los puntos 3 y 5 para luego remontar en el presbietrio.

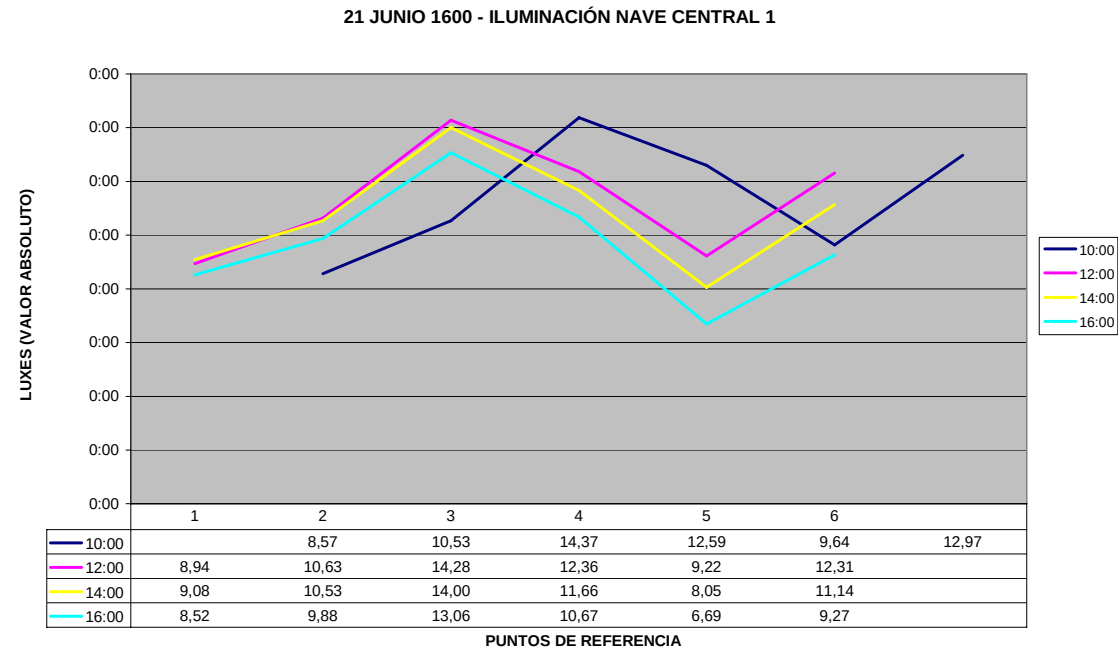


Fig. 6.20. Gráfica de la nave 1. 21 junio 1600. Autor: Juan M. Medina

Las gráficas a las diferentes horas del día vuelven a mostrar líneas paralelas de comportamiento.

21 de septiembre: La gráfica de otoño (Fig. 6.21) es prácticamente idéntica a la de primavera por lo que la descripción de valores se podría asemejar a esta en todos los extremos siendo de nuevo los valores más representativos los que se producen en los puntos 3 y 6, a la mitad de la nave y en el presbiterio respectivamente.

Las gráficas a las distintas horas no muestran variación significativa en su distribución, siendo el mes del año donde las gráficas son más constantes a lo largo del día, siendo todas ellas paralelas entre sí.

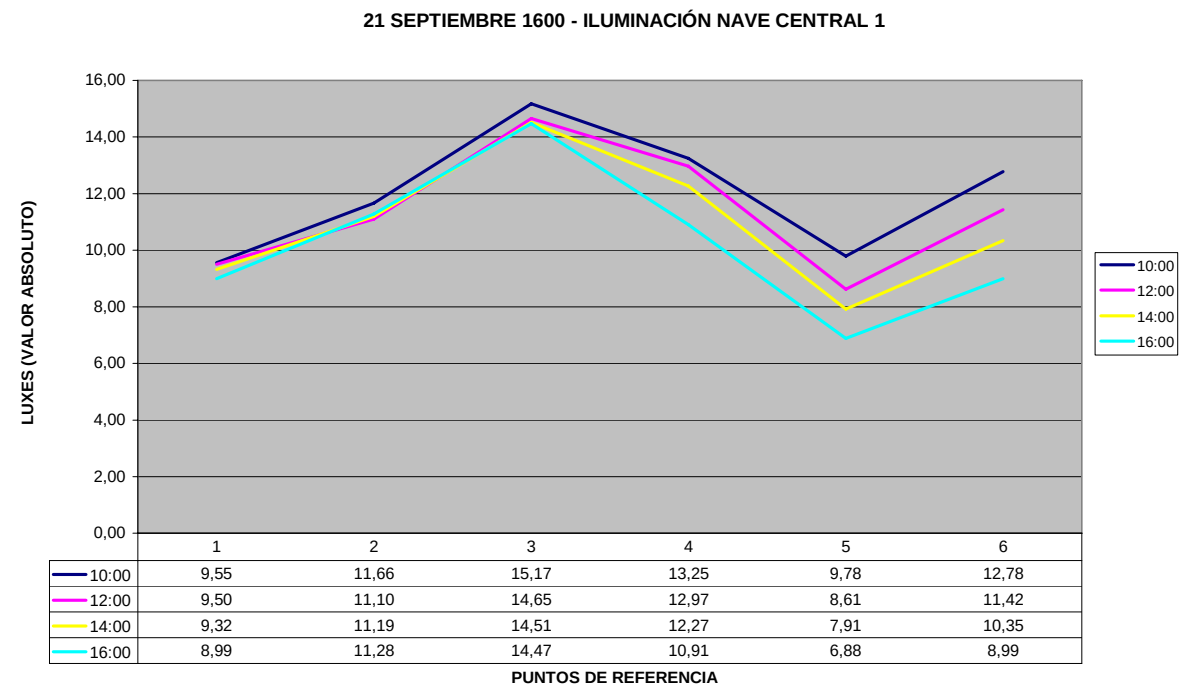


Fig. 6.21. Gráfica de la nave 1. 21 septiembre 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de diciembre: La gráfica de invierno (Fig. 6.22) se comporta como las de primavera y otoño con la diferencia de que los valores son mucho más bajos en general.

Sigue el patrón de aumentos de los pies hacia el ábside con el descenso producido desde el centro de la nave hacia el punto 5, previo al repunte del presbiterio, pero en este caso observamos como la gráfica de las 16:00 de la tarde es la más penalizada, con comportamiento paralelo pero más bajo que el resto de las horas del día.

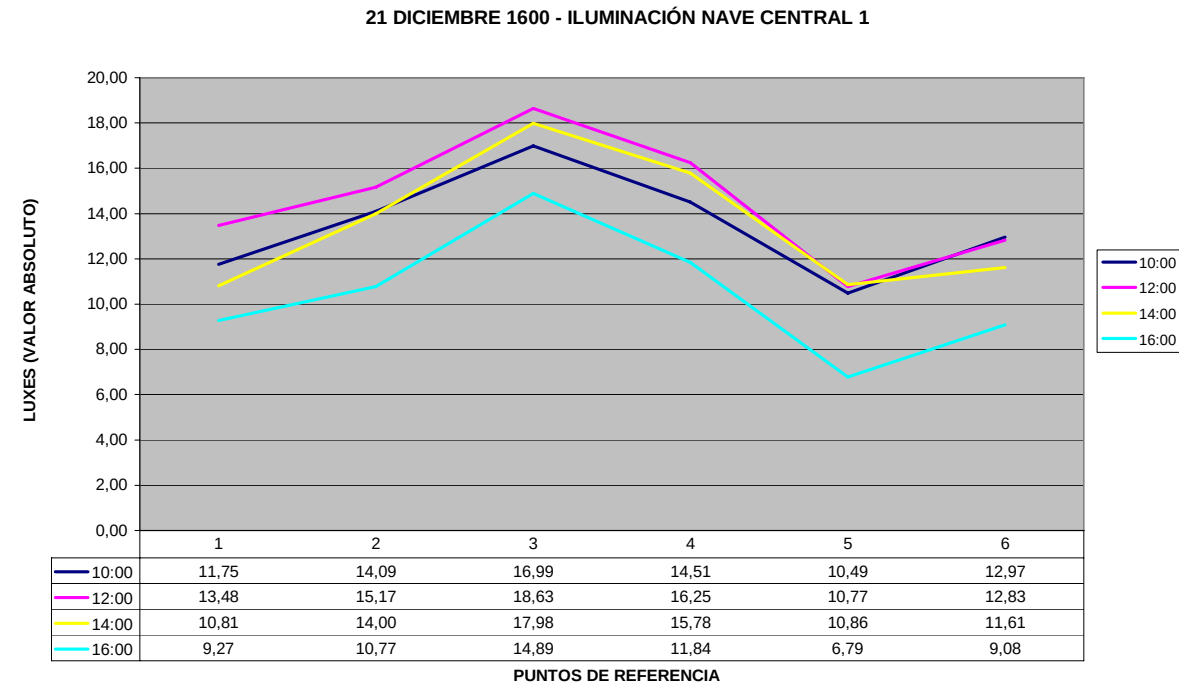


Fig. 6.22. Gráfica de la nave 1. 21 diciembre 1600. Autor: Juan M. Medina

6.1.6.2 GIROLA.

Nave de iluminación muy irregular a lo largo de su recorrido. En marzo, existen constantes saltos de iluminación entre puntos contiguos como son los que se producen entre el punto 7 (sur de la girola e inicio de la misma) y el 8, con saltos de los 9 a los 14 luxes. Esto vuelve a ocurrir entre los puntos 10 y 11 y los puntos 16 y 17 aunque con menor intensidad de salto. En lo referente a la hora del día más iluminada, observamos que es a las 10:00 de la mañana, a la hora de la salida del sol, cuando más intensidad gana la girola, sobre todo en su lado sureste (puntos 7 al 10), mientras que a partir del punto 11 la gráfica desciende ligeramente hasta encontrar la continuidad luminosa en la parte noroeste de la misma.

En verano se repite el mismo esquema de primavera con valores algo superiores, teniendo a las 10:00 de la mañana 11,47 luxes de media y descendiendo sistemáticamente a medida que avanza el día, pasando por los 10 luxes de las 12:00, los 8,70 de las 14:00 hasta llegar a los 6,81 de las 16:00 horas.

En otoño se repite casi exactamente el esquema de valores medios de primavera, con picos de 10,70 luxes a las 10:00 y apenas 6 luxes a las 16:00.

En diciembre, mantiene valores medios similares a los de los equinoccios de primavera y verano y la tendencia de iluminación por horas sigue siendo la misma.

21 de marzo: Existen, en el recorrido de las gráficas de iluminación, constantes saltos de iluminación entre puntos contiguos como son los que se producen entre el punto 7 (sur de la girola e inicio de la misma) y el 8, con saltos de los 9 a los 14 luxes. Esto vuelve a ocurrir entre los puntos 10 y 11 y los puntos 16 y 17 aunque con menor intensidad de salto, tal como hemos comentado con anterioridad. Las diferencias globales de iluminación entre el punto 8 y el 12, situado en el eje del ábside, son de más de 6 luxes absolutos en algún momento del día.

Este esquema de gráfica con picos y valles y con clara tendencia de mayor iluminación hacia la zona este de la girola se repite a las distintas horas del día, aunque con un claro descenso de iluminación a las 16:00 horas con respecto a la que hay a las 10:00 de la mañana, momento de máximo esplendor del deambulatorio.

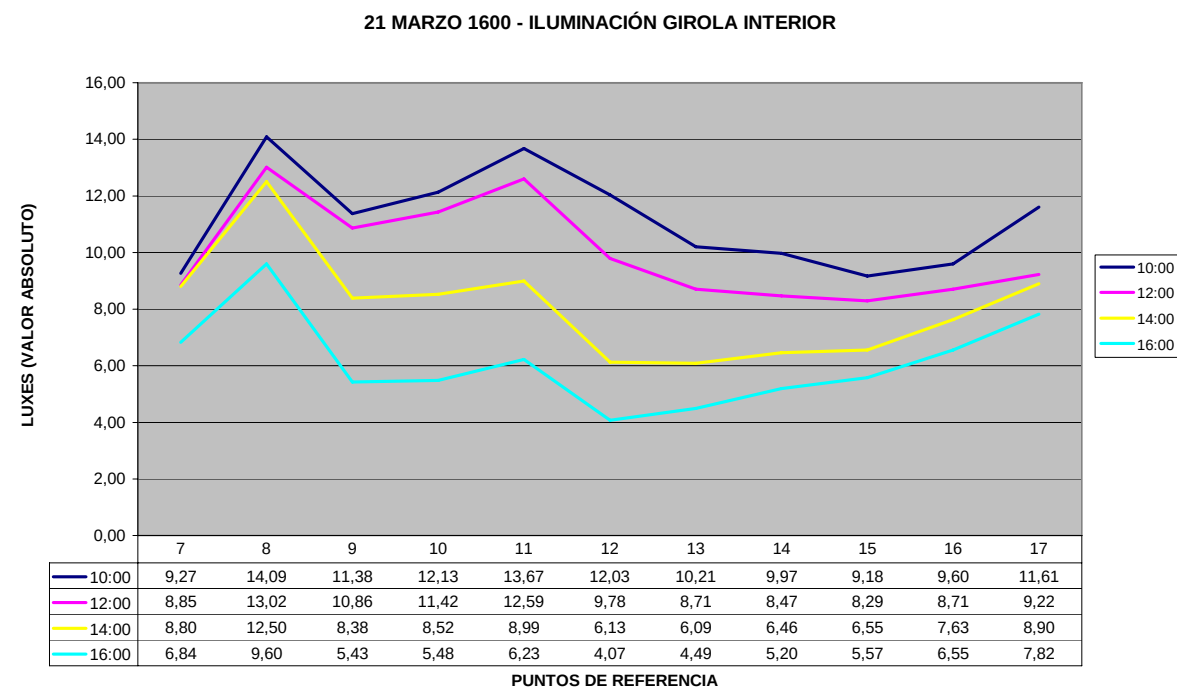


Fig. 6.23. Gráfica de la nave 2. 21 marzo 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de junio: La gráfica de verano (Fig. 6.24) repite el esquema general de la de primavera pero con valores algo superiores.

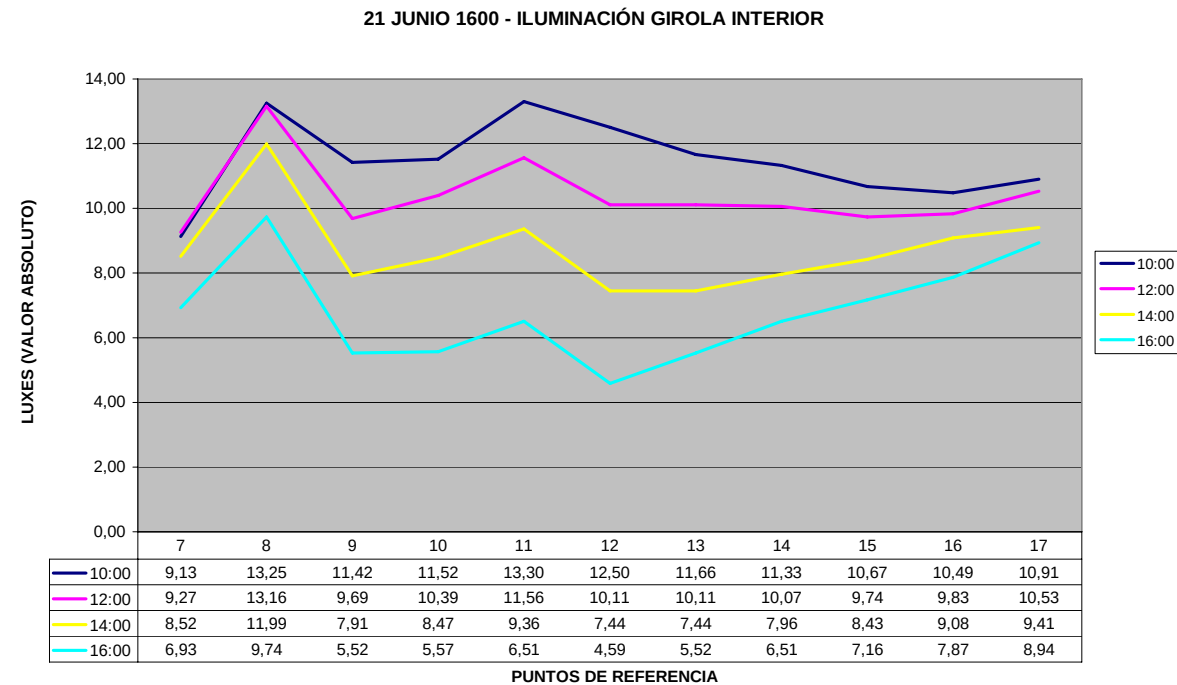


Fig. 6.24. Gráfica de la nave 2. 21 junio 1600. Autor: Juan M. Medina

El esquema de iluminación de la girola en verano es muy similar a la que encontramos en primavera, aunque con alguna diferencia sustancial. Mientras que en primavera, la incidencia de la orientación es definitiva en el resultado lumínico, siendo la zona sur la más beneficiada de todas, en verano, la zona norte de la nave, iluminada a través de las ventanas altas del deambulatorio, recupera la diferencia de iluminación que le separaba comparativamente con la zona sur. De ese modo tenemos iluminaciones de 9 luxes a las 10:00 y a las 12:00 horas en el punto 7, situado al sur de la girola y volvemos a tener 10 luxes en la zona norte, punto 17 y final del deambulatorio.

21 de septiembre: La gráfica de otoño (Fig. 6.25) reproduce de nuevo de manera idéntica las condiciones de iluminación de primavera, con los mismos puntos pico y valle y con diferencias de paralelismo entre las líneas de tendencia de las distintas horas, siendo de nuevo la línea de las 16:00 horas la que tiene menor iluminación, sobre todo en la zona este de la nave (punto 12).

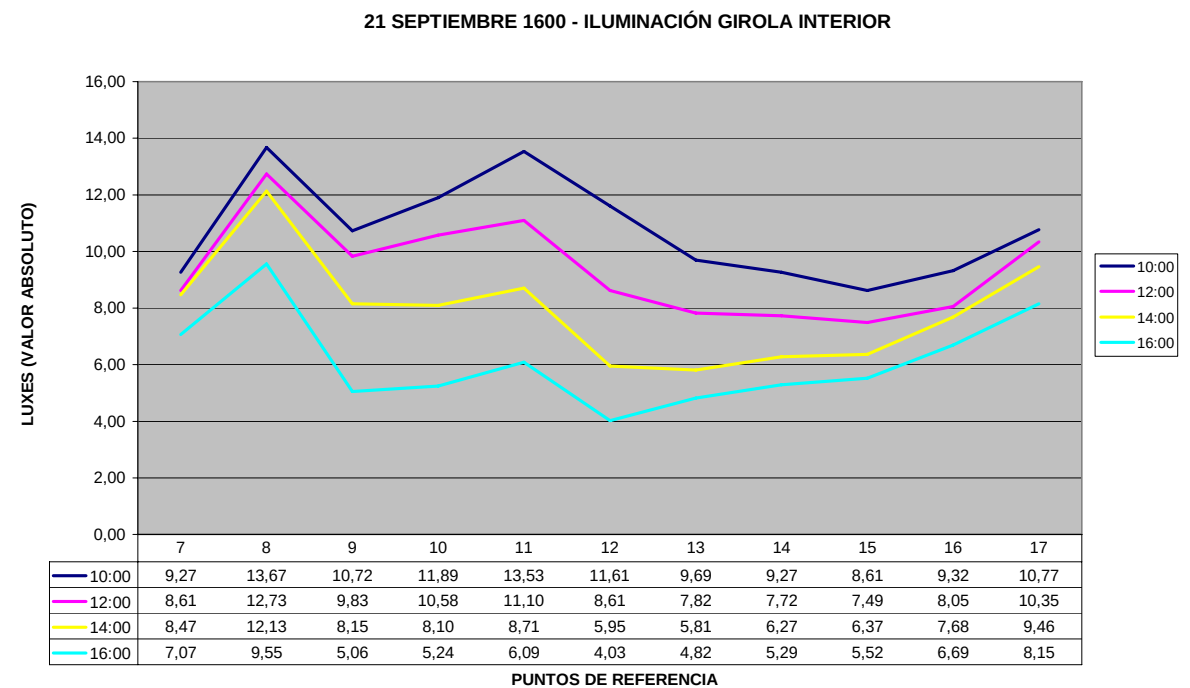


Fig. 6.25. Gráfica de la nave 2. 21 septiembre 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de diciembre: En invierno (Fig. xxx) las diferencias de iluminación entre un punto del deambulatorio y el contiguo se acentúan, aumentando la sensación caótica de picos y valles continuos de iluminación en la nave. Mientras que a las 10:00 de la mañana, la zona este del deambulatorio, coincidente con el muro absidal, es el punto de máxima iluminación con hasta 16 luxes, a las 4 de la tarde, ese mismo punto tan sólo tiene 4 luxes de iluminación total.

En cuanto a las horas de máxima iluminación seguimos teniendo las 10:00 de la mañana como referencia horaria de máxima intensidad mientras que las 16:00 horas es el momento del día con mayor penalización lumínica.

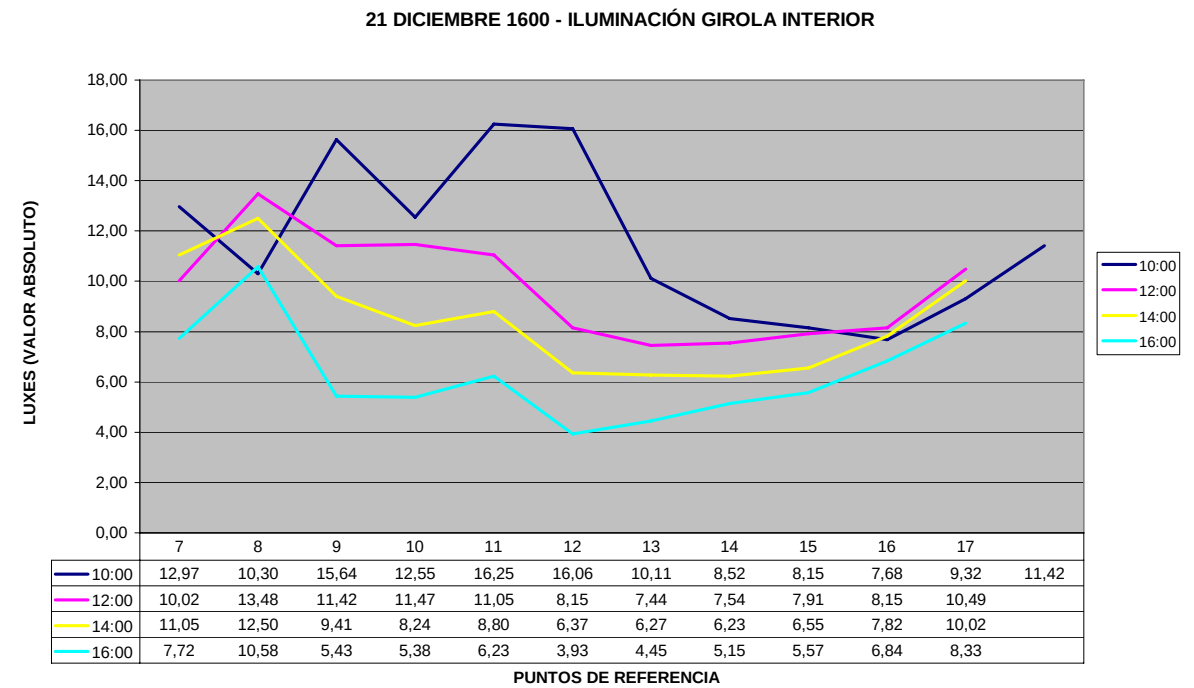


Fig. 6.26. Gráfica de la nave 2. 21 diciembre 1600. Autor: Juan M. Medina

6.1.6.3. ILUMINACIÓN TOTAL POR ZONAS.

Para determinar en términos globales el régimen de iluminación general de los distintos espacios de la catedral entre sí, establecemos una comparación de iluminación total de cada nave a las 4 horas del día censadas. Esto lo haremos para las cuatro estaciones y estableciendo valores medios de iluminación por punto en cada nave, es decir, sumando la iluminación total que recibe la nave en ese momento dado y dividiéndola por el número de puntos que tiene la nave.

Las gráficas de iluminación total por zonas, tan sólo discriminan entre dos espacios diferenciados, la girola o deambulatorio y la nave central. Como hemos visto en el análisis por naves, el comportamiento de ambos espacios es muy diferente y su desarrollo viene marcado por la orientación y la direccionalidad de las mismas, con una nave central orientada oeste-este y un deambulatorio que se inicia por el sur y termina por el norte, con un paso por el este en su muro absidal.

En cuanto a la iluminación diferenciada por horas, podemos observar en todas las gráficas (Fig. 6.27, Fig. 6.28, Fig. 6.29 y Fig. 6.30) que la iluminación de la nave central es muy superior en términos globales con respecto al deambulatorio. Además también detectamos una clara tendencia de horizontalidad en la nave central a lo largo de las distintas horas, mientras que la girola va descendiendo a medida que avanza el día drásticamente.

Las diferencias de iluminación globales se acentúan por tanto a medida que pasa el día, teniendo, por ejemplo, hasta 10.14 luxes de iluminación media por punto en la nave central a las 10:00 horas por los tan sólo 6.12 luxes de iluminación media del deambulatorio.

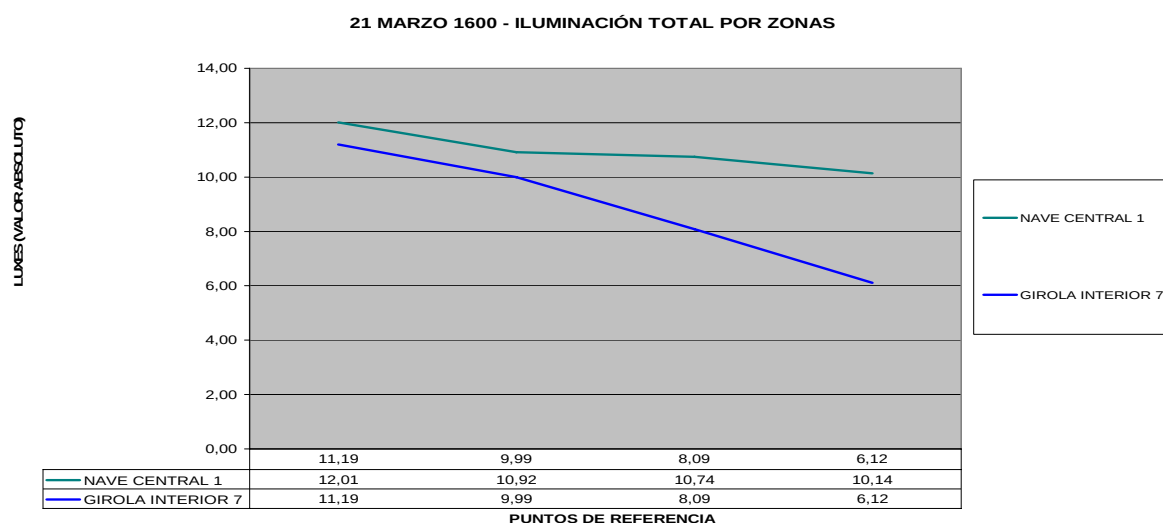


Fig. 6.27. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de marzo. Autor: Juan M. Medina

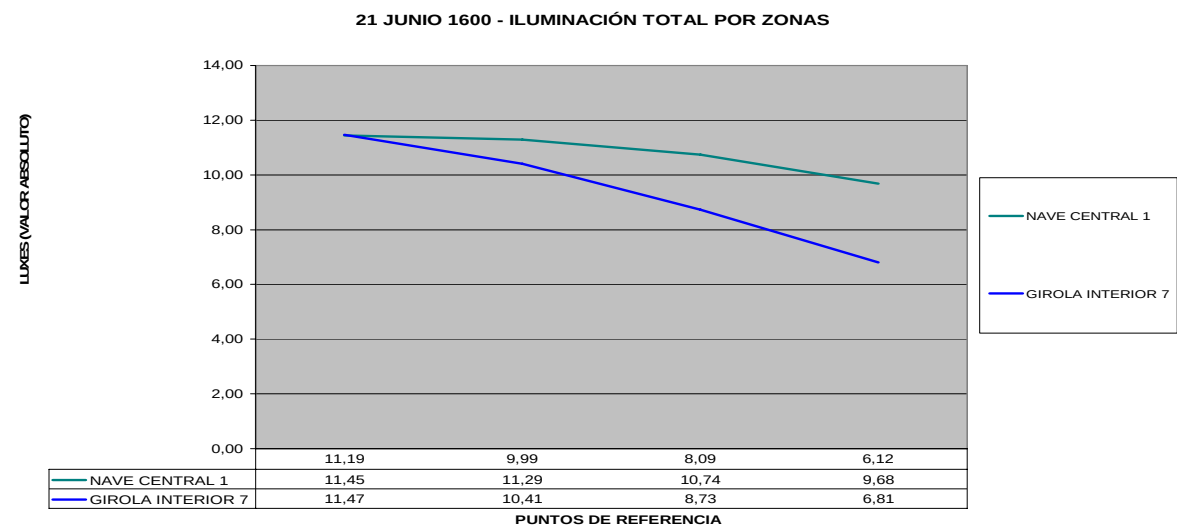


Fig. 6.28. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de junio. Autor: Juan M. Medina

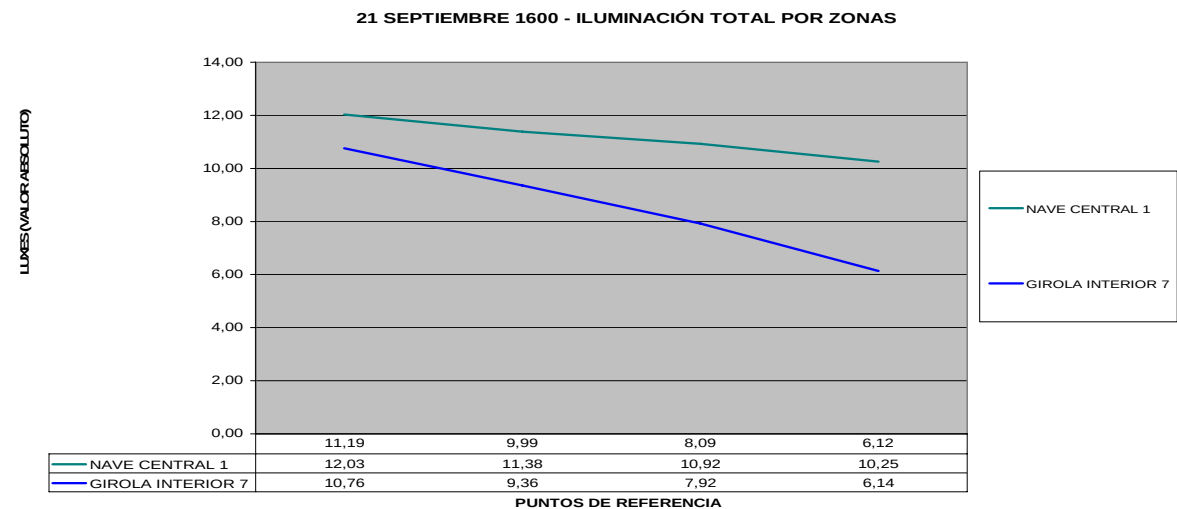


Fig. 6.29. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de sept. Autor: Juan M. Medina

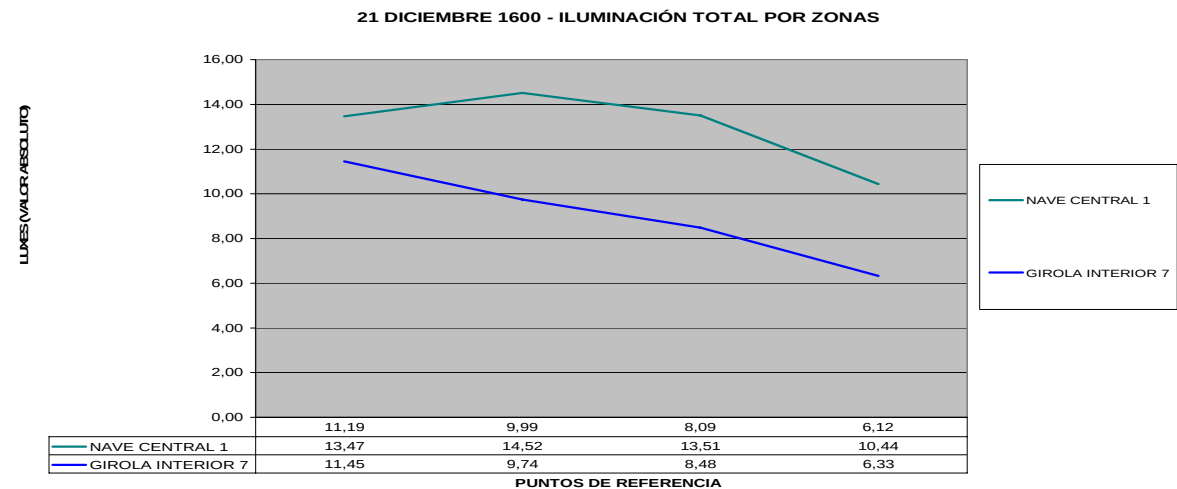


Fig. 6.30. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de diciembre. Autor: Juan M. Medina.

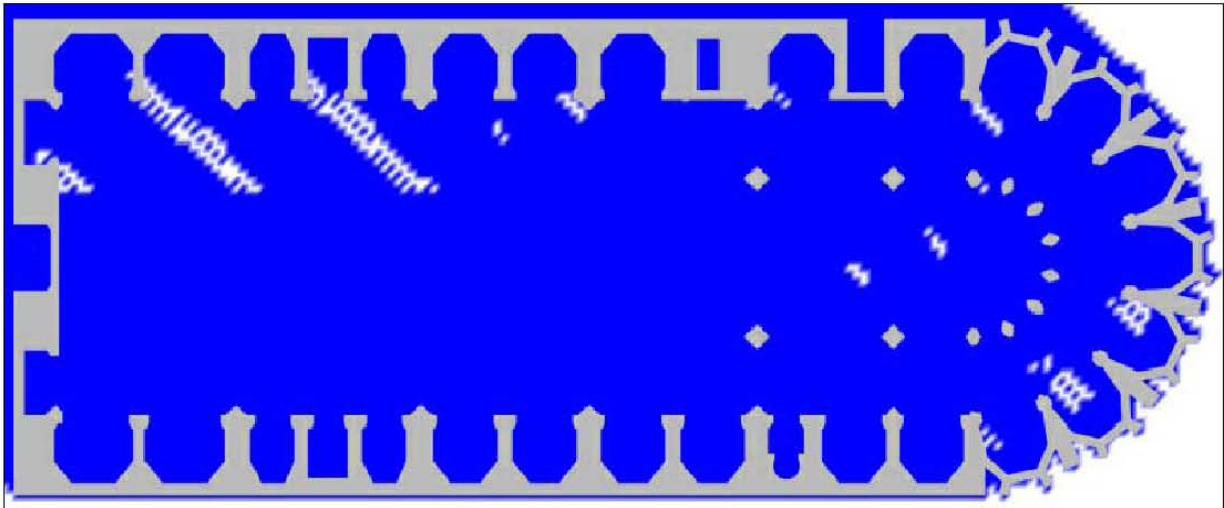
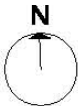
6.1.7 CATEDRAL DE GERONA. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN DIRECTA. RECORRIDO DE VIDRIERAS.

El presente capítulo pretende dar respuesta a la pregunta de la profesora Cassinello sobre cual sería el **“recorrido de vidrieras”** que se establece en una catedral gótica.

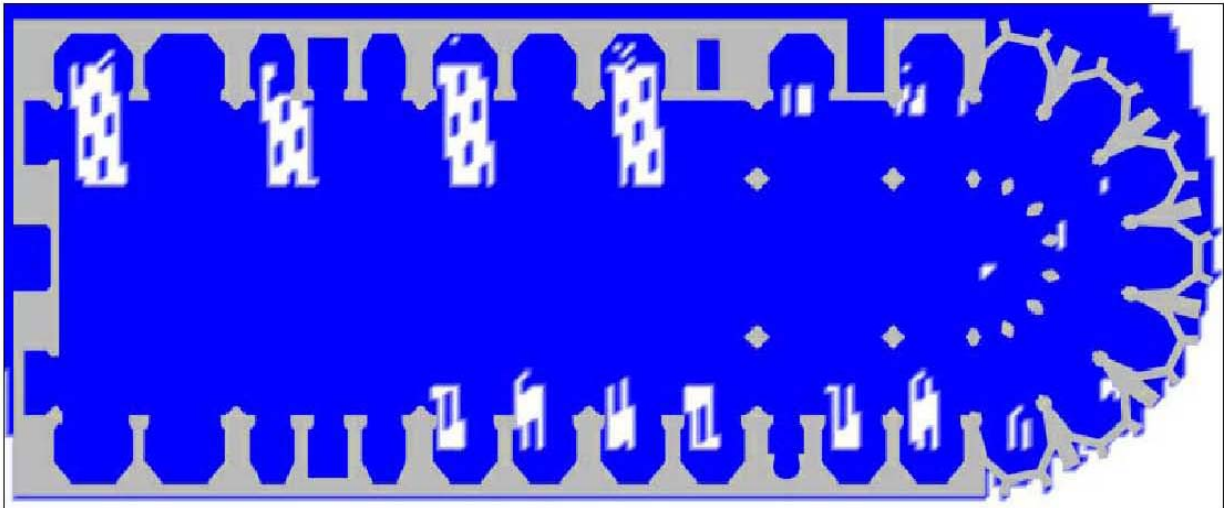
La iluminación directa en el interior de la catedral muestra cómo las vidrieras impactan con toda su fuerza simbólica sobre el espectador, como colorean no sólo el ambiente general de la catedral sino de manera puntual los distintos elementos del templo sobre los que se proyectan, dibujando en definitiva, el “mensaje” simbólico pretendido sobre el suelo de la catedral.

Cada nave tiene su momento de esplendor en términos de iluminación indirecta pero sin duda tienen también momentos de esplendor diferenciados en función del impacto de la “lux vera” sobre los fieles, y estas gráficas muestran en **blanco sobre azul** cuales son cada uno de esos momentos y a lo largo de toda la catedral.

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



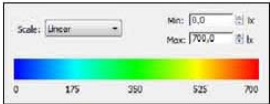
PLANTA 10:00



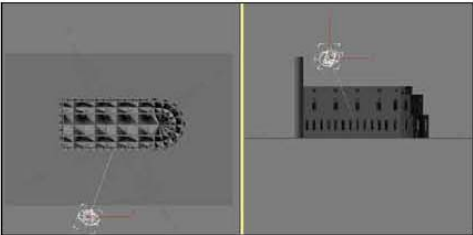
PLANTA 12:00

21 DE MARZO 10:00 HORAS

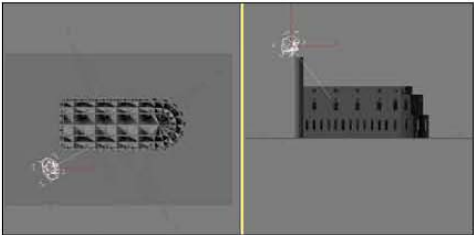
21 DE MARZO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

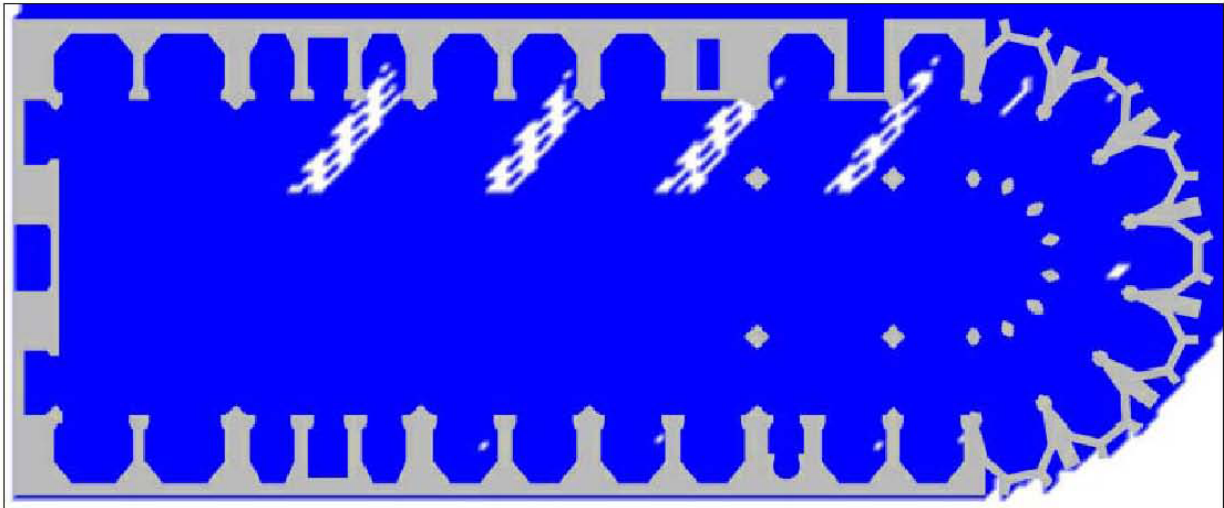
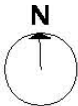


SITUACIÓN SOLAR

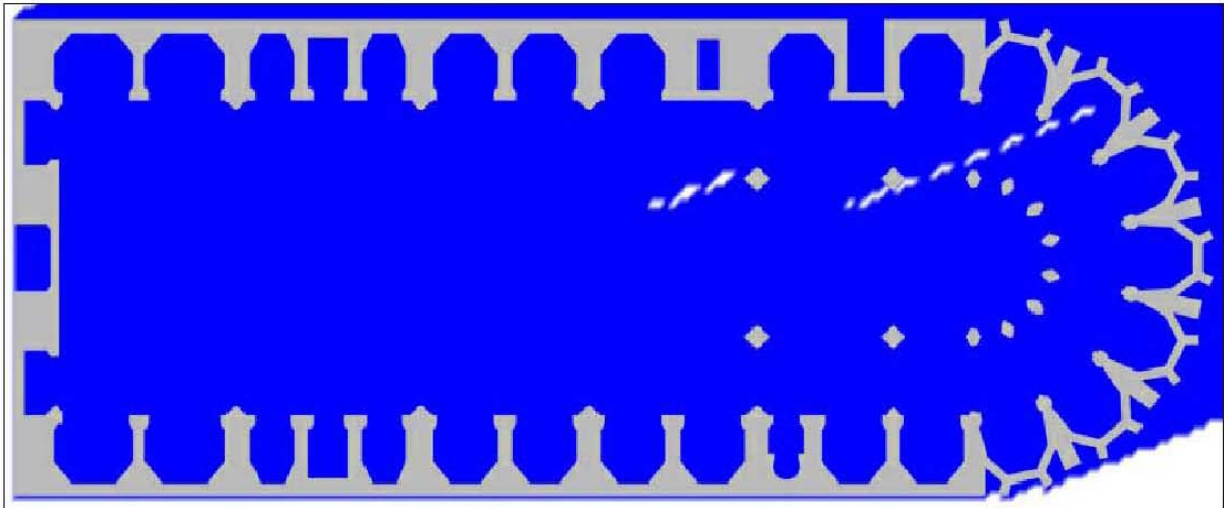


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



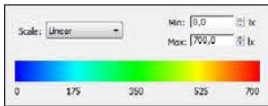
PLANTA 14:00



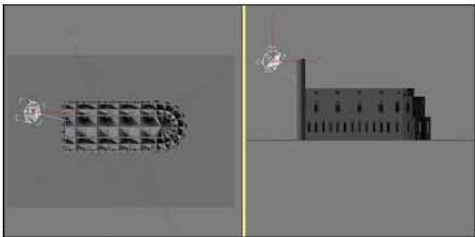
PLANTA 16:00

21 DE MARZO 14:00 HORAS

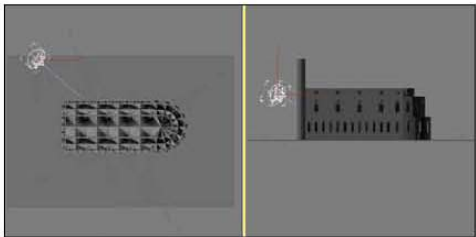
21 DE MARZO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

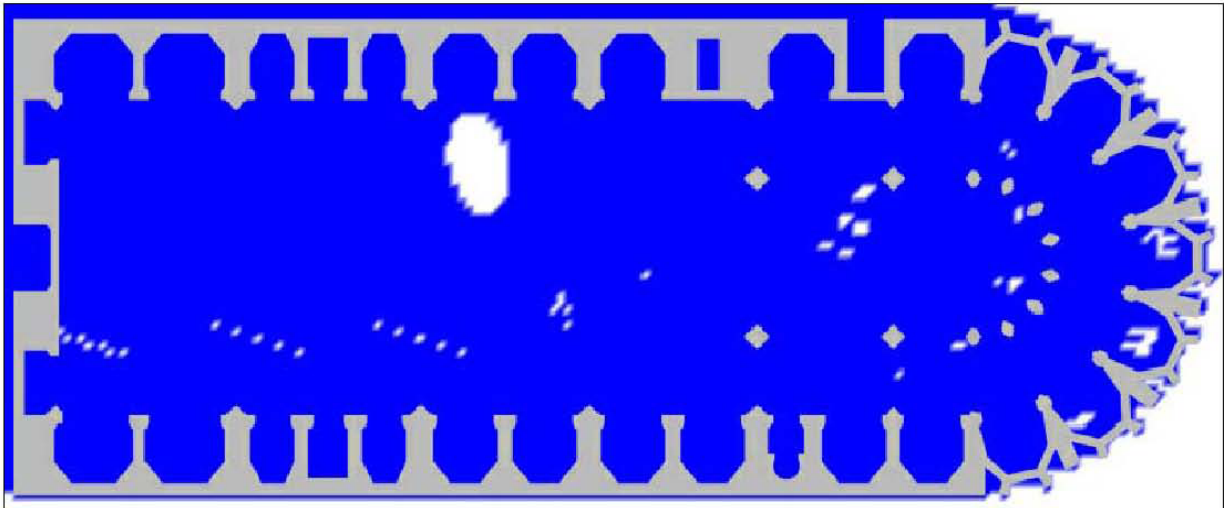
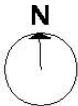


SITUACIÓN SOLAR

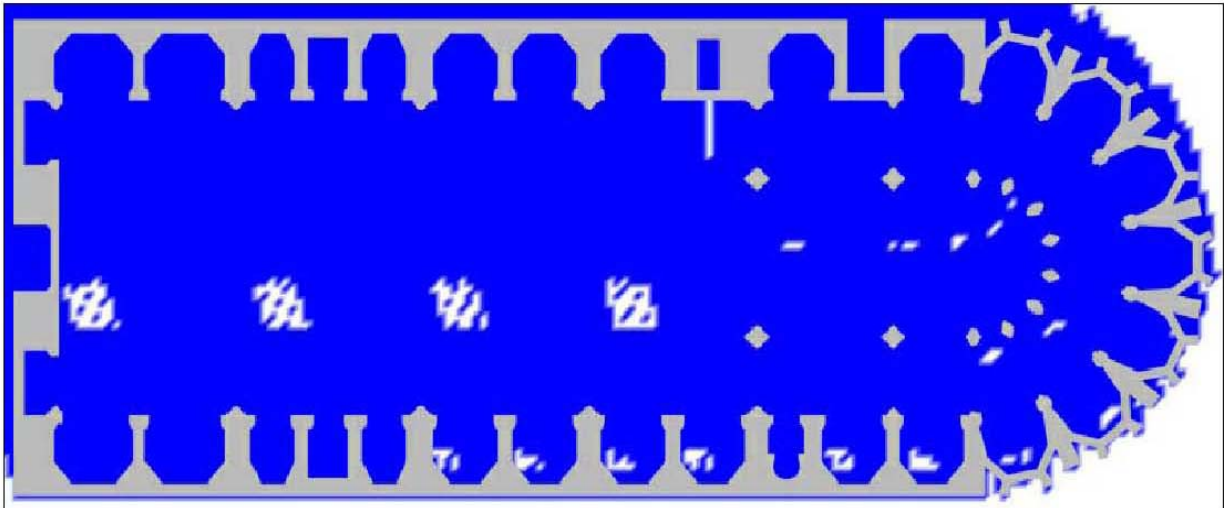


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



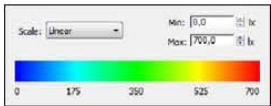
PLANTA 10:00



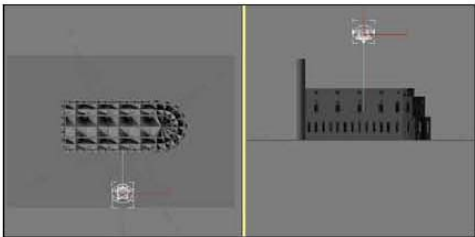
PLANTA 12:00

21 DE JUNIO 10:00 HORAS

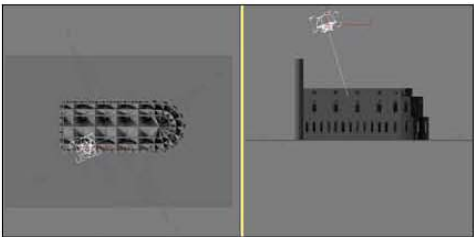
21 DE JUNIO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

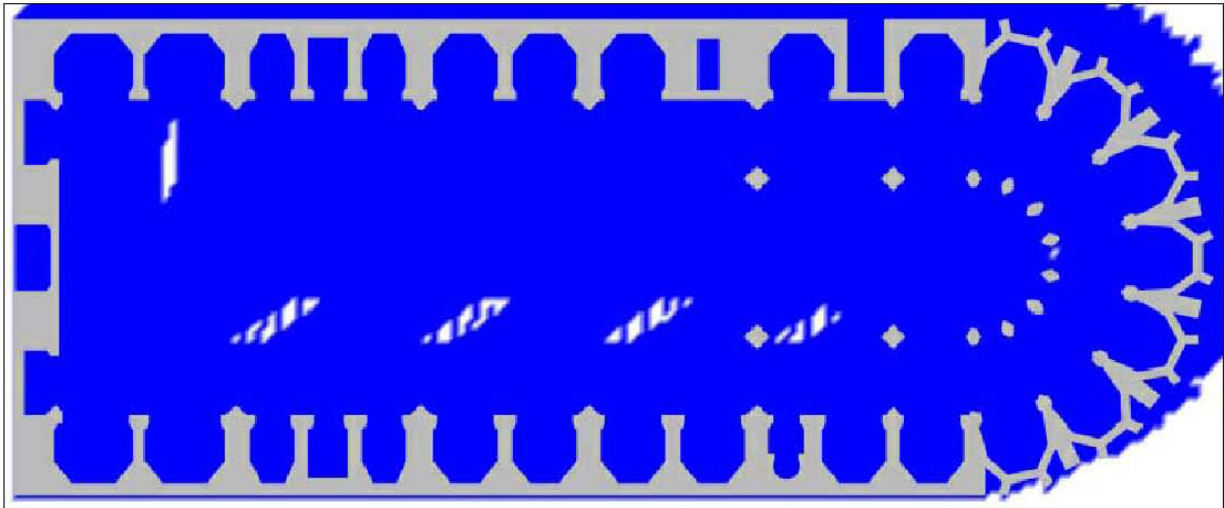
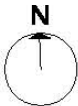


SITUACIÓN SOLAR

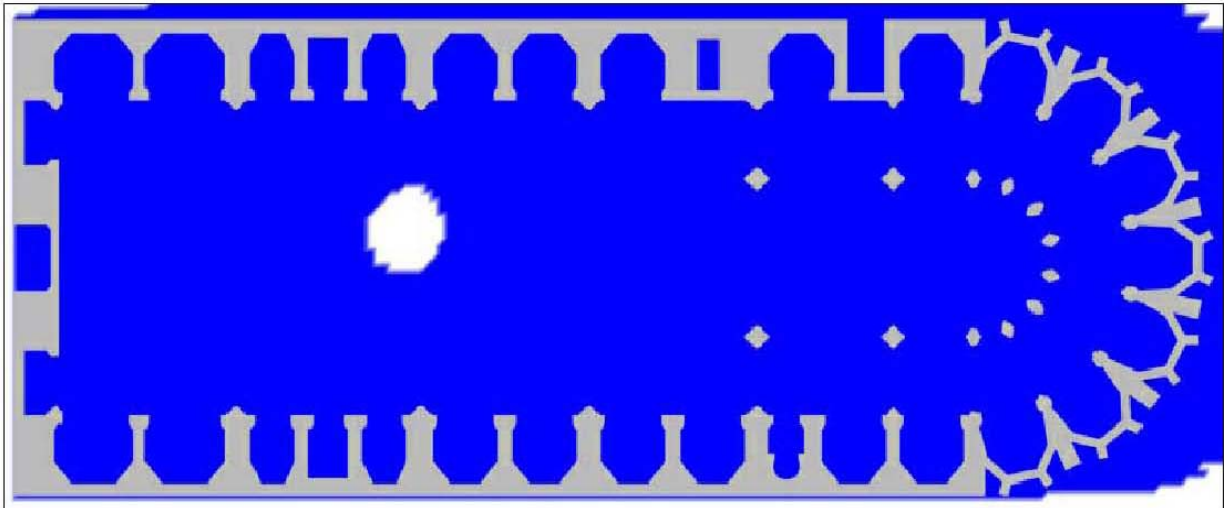


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



PLANTA 14:00



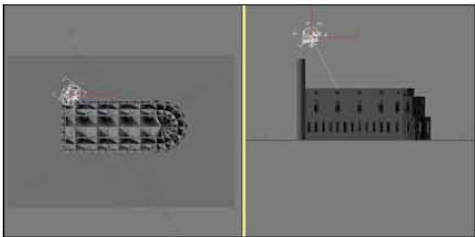
PLANTA 16:00

21 DE JUNIO 14:00 HORAS

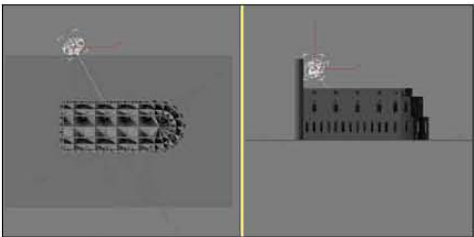
21 DE JUNIO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

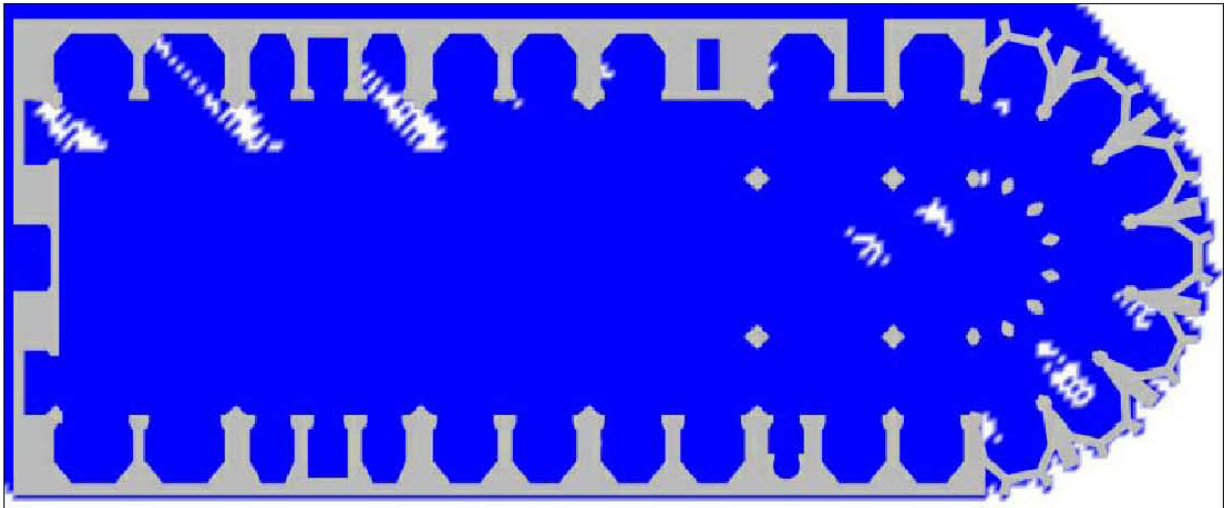
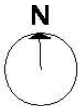


SITUACIÓN SOLAR

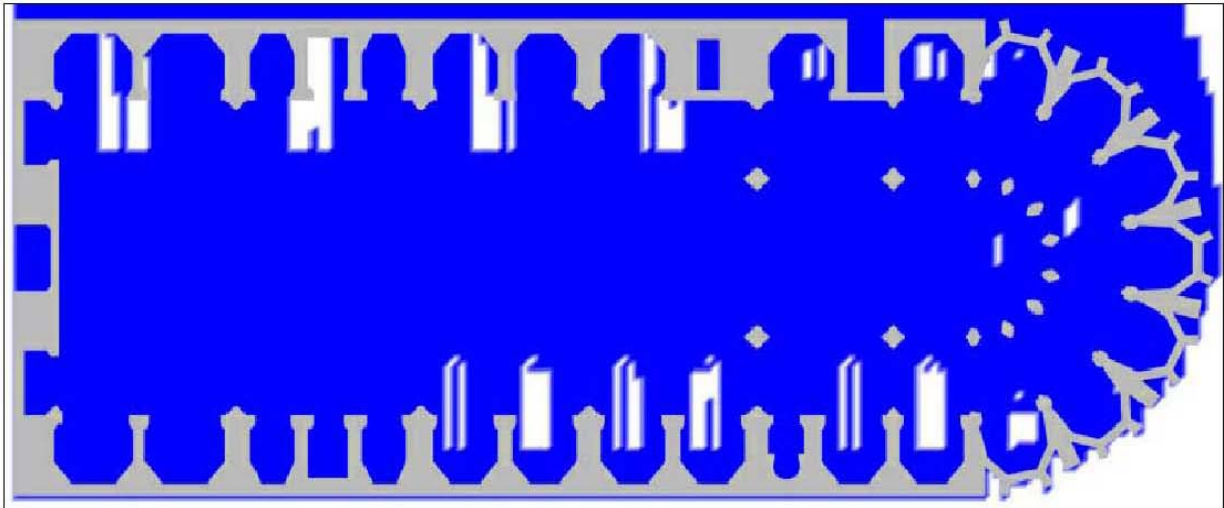


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



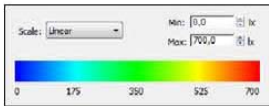
PLANTA 10:00



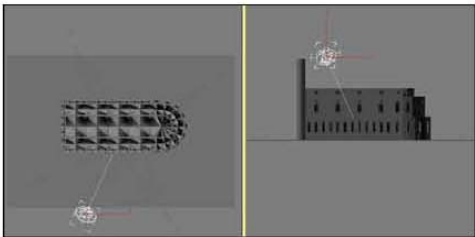
PLANTA 12:00

21 DE SEPT. 10:00 HORAS

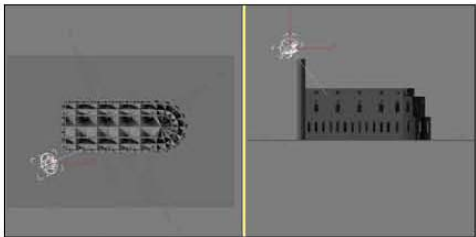
21 DE SEPT. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

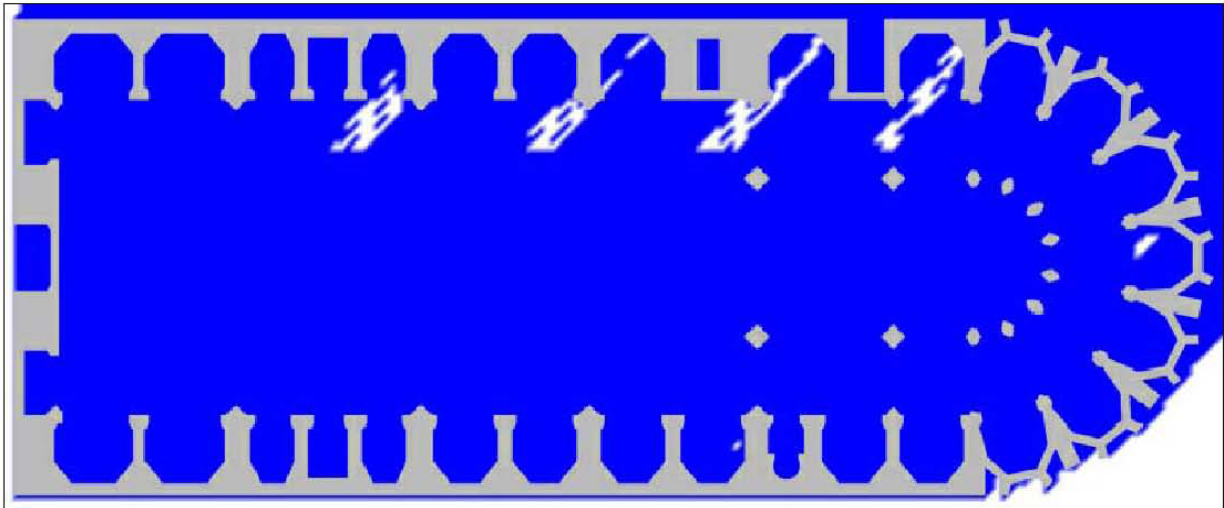
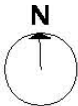


SITUACIÓN SOLAR

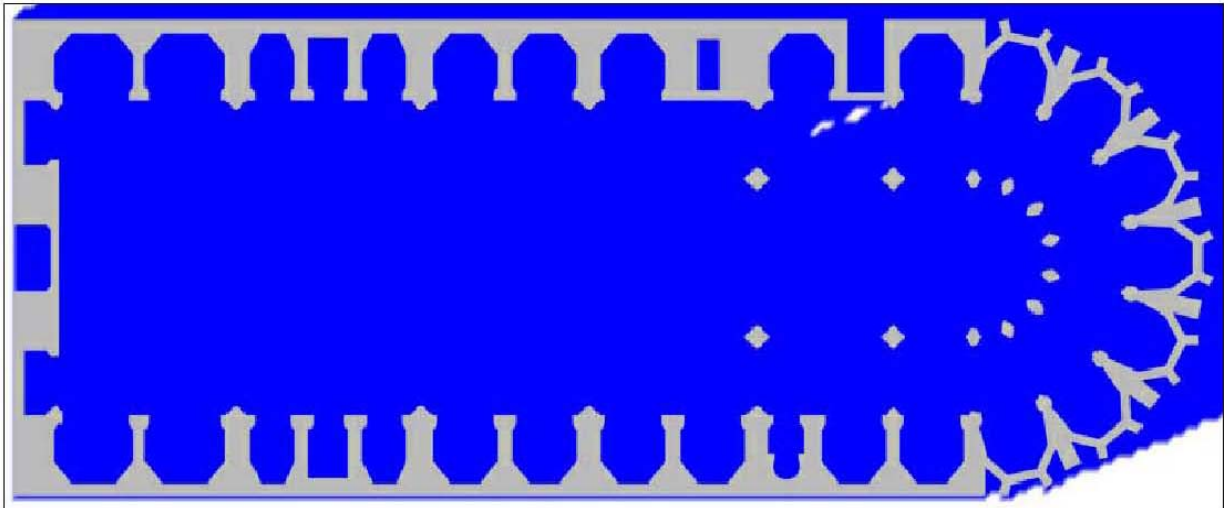


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



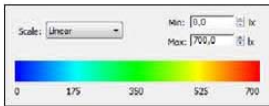
PLANTA 14:00



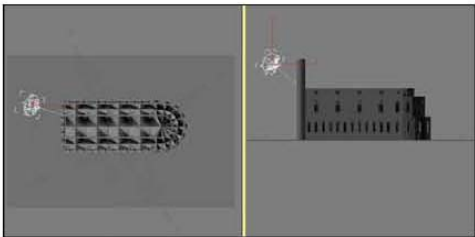
PLANTA 16:00

21 DE SEPT. 14:00 HORAS

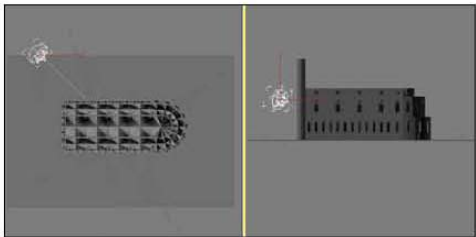
21 DE SEPT. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

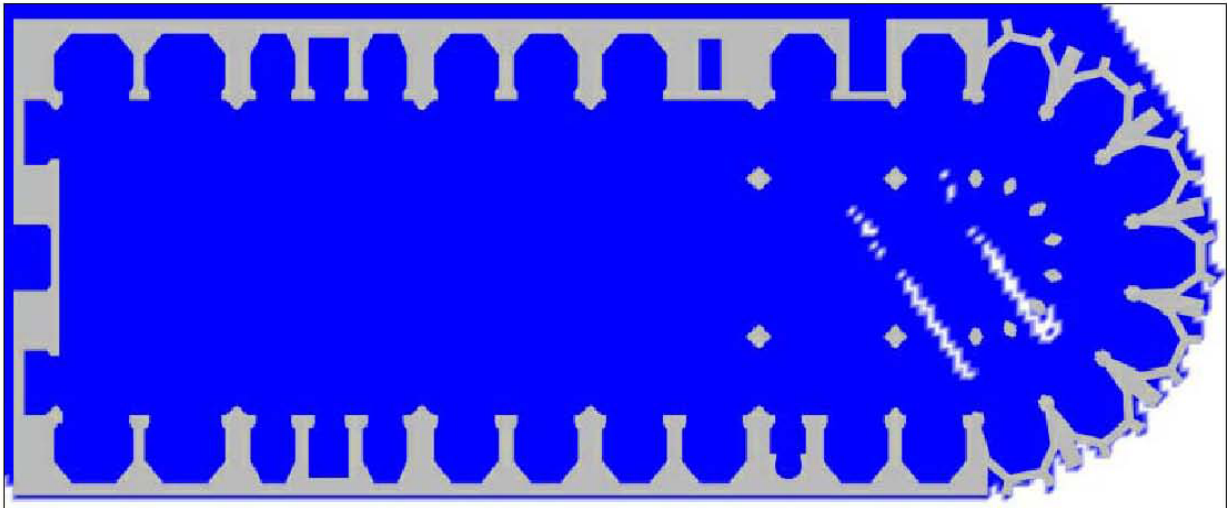
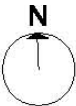


SITUACIÓN SOLAR

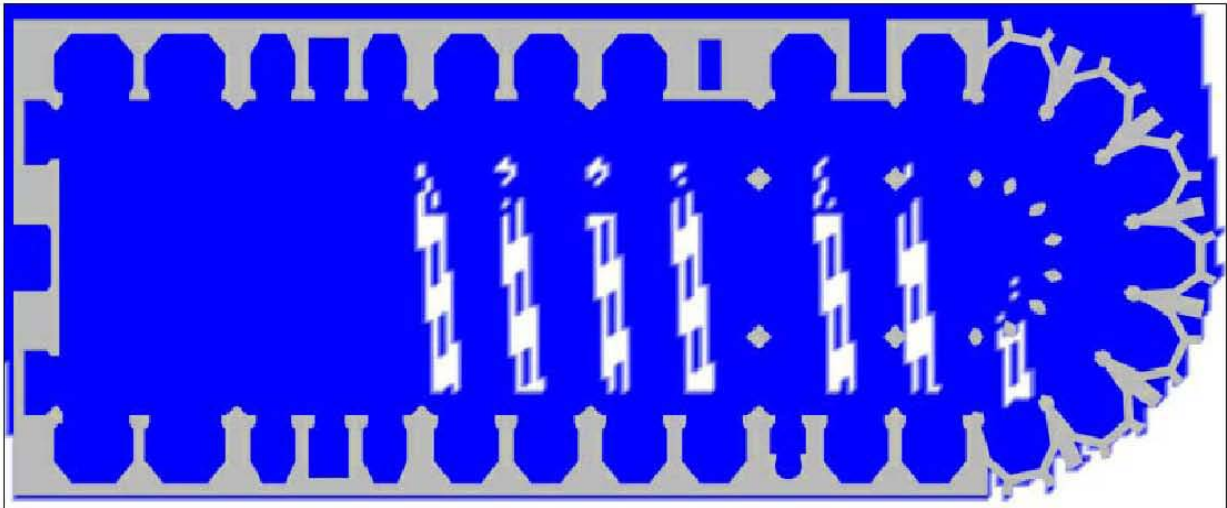


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



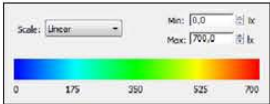
PLANTA 10:00



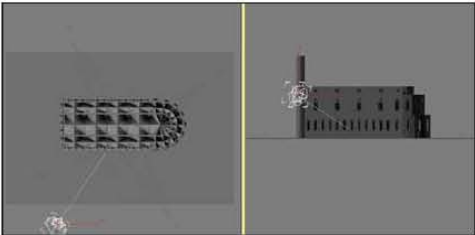
PLANTA 12:00

21 DE DIC. 10:00 HORAS

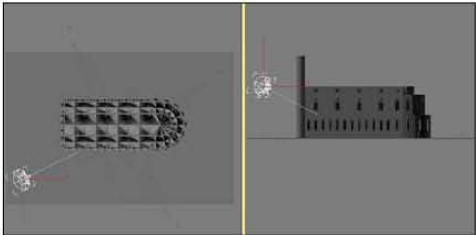
21 DE DIC. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

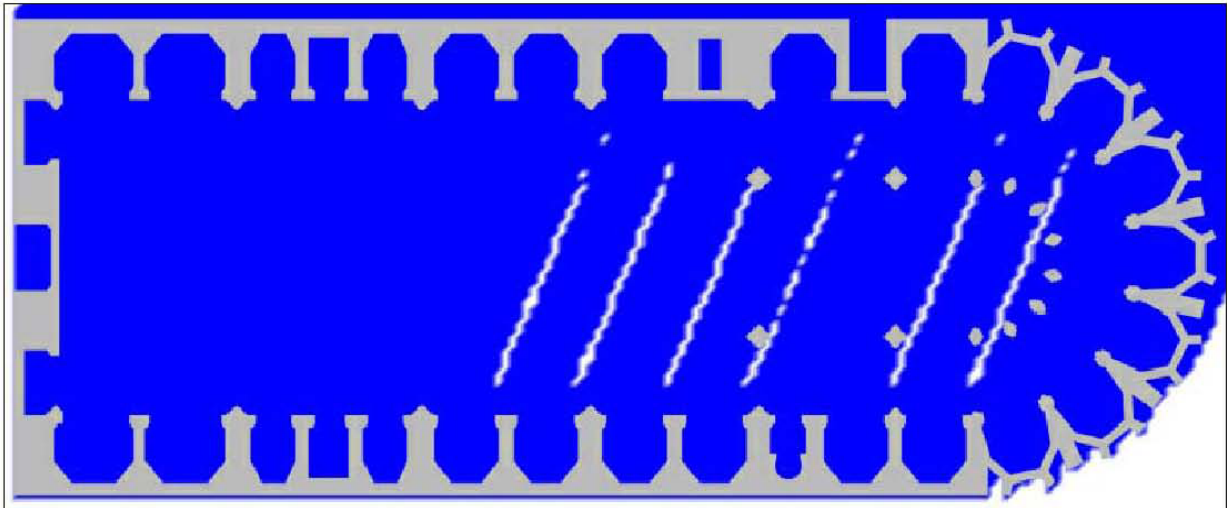
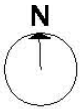


SITUACIÓN SOLAR

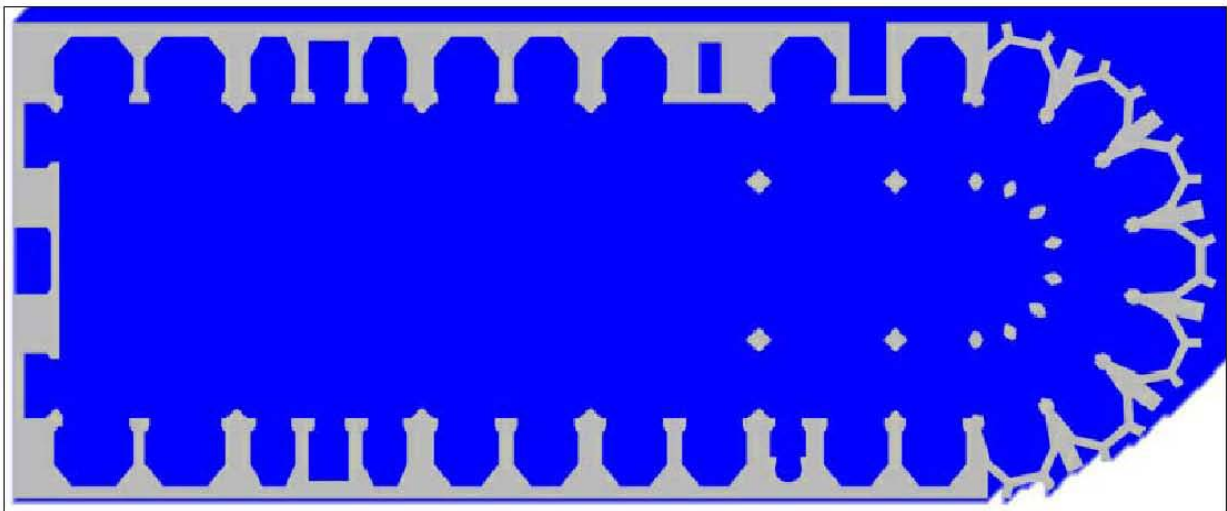


SITUACIÓN SOLAR

CATEDRAL DE GERONA
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



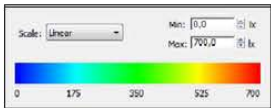
PLANTA 14:00



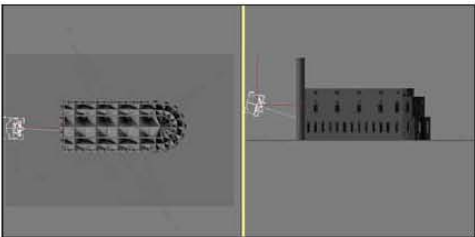
PLANTA 16:00

21 DE DIC. 14:00 HORAS

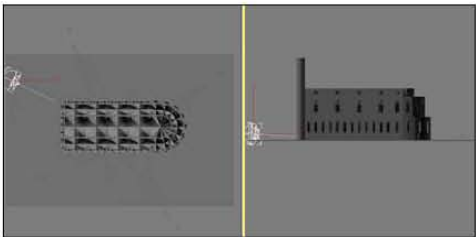
21 DE DIC. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES



SITUACIÓN SOLAR



SITUACIÓN SOLAR

6.1.8 CATEDRAL DE GERONA. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL.

Como complemento ineludible de la Tesis Doctoral, dentro de este apartado se estudia la **situación actual de la iluminación en la catedral**.

Para poder estudiar el estado actual de la iluminación y ver si esta es coincidente o divergente con respecto a la iluminación primitiva gótica se realizó una medición en un día coincidente con uno de los días estudiados por la recreación en 3D, concretamente el día **21 de marzo de 2012**.

La medición se realiza para todos los puntos muestra de la catedral (uno debajo de cada bóveda) y para las cuatro horas en que hemos dividido el día (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00), con un luxómetro de mano de sensibilidad de 0 a 20.000 luxes y bajo condiciones de iluminación exterior nubladas.

Una vez recogidos los valores de iluminación referidos, fueron comparados con los que se extraen de la medición realizada sobre el modelo 3D para el mismo día y a la misma hora, y puestos en comparación a través de secciones por la catedral.

Para que esta comparación fuera viable, había que descartar dos efectos incontrolables: en primer lugar, la **iluminación del día** preciso en que se toman los datos, ya que esta podía ser más o menos intensa que la que proponíamos en la modelización 3d, y en segundo lugar, el **factor de filtrado de las vidrieras**, otro valor desconocido puesto que las vidrieras varían su factor de filtrado en función de cada color y cada grosor de vidrio diferentes.

Para salvar estos dos obstáculos, se cogieron los valores de ciertos puntos de la catedral que consideramos "estables" a lo largo del tiempo y que no habían sufrido variaciones por las intervenciones acaecidas en su interior. A continuación igualamos los valores de iluminación de esos puntos tomados in situ el día de la medición actual con los que nos arrojaba el programa informático. Esta sencilla división entre el valor inicial y el medido in situ nos facilita un **factor de escala** que, aplicado de manera general al resto de puntos de la catedral nos da el valor de iluminación "**comparable**" en cada punto censado.

Los puntos escogidos en esta catedral como "puntos estables" fueron los siguientes:

1, 2, 3, 4, 5, y el factor de escala obtenido **0.047**.

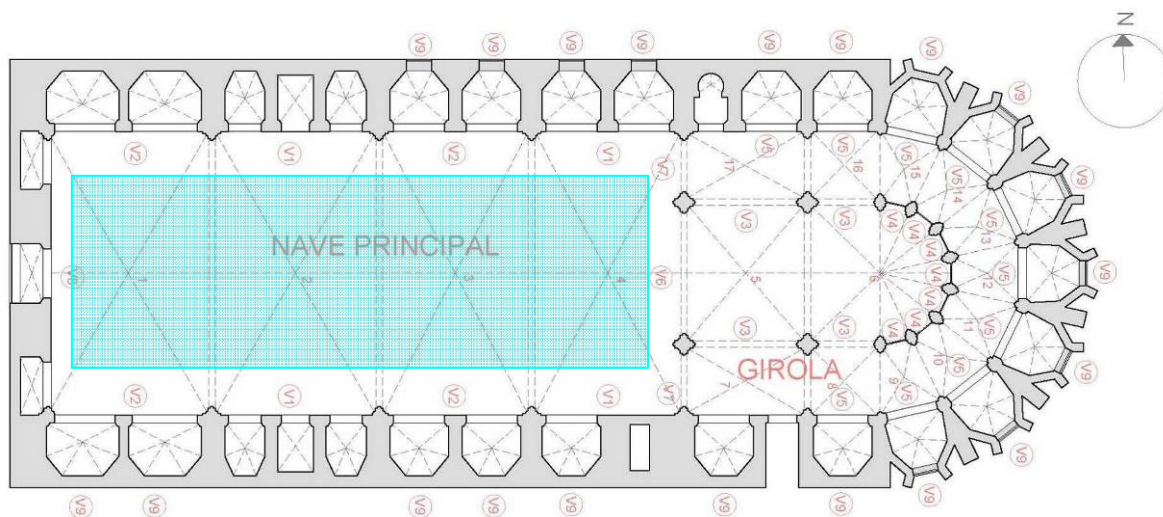


Fig. 6.31. Planta de la catedral con los puntos censados y los considerados “estables”, tomados para la obtención del factor de escala. Autor: Juan M. Medina

La toma de datos in situ y la obtenida por el modelo 3D nos arroja los siguientes valores:

21 MARZO 1600									
F.ESCALA 0,047	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escalad o	12:00	Escalad o	14:00	Escalad o	16:00	Escalad o
NAVE CENTRAL 1	1	211,00	9,88	186,00	8,71	200,00	9,36	186,00	8,71
	2	232,00	10,86	223,00	10,44	226,00	10,58	240,00	11,24
	3	321,00	15,03	295,00	13,81	301,00	14,09	302,00	14,14
	4	287,00	13,44	254,00	11,89	253,00	11,84	233,00	10,91
	5	216,00	10,11	184,00	8,61	170,00	7,96	138,00	6,46
	6	272,00	12,73	257,00	12,03	227,00	10,63	200,00	9,36
GIROLA INTERIOR 7	7	198,00	9,27	189,00	8,85	188,00	8,80	146,00	6,84
	8	301	14,09	278	13,02	267	12,50	205	9,60
	9	243,00	11,38	232,00	10,86	179,00	8,38	116,00	5,43
	10	259,00	12,13	244,00	11,42	182,00	8,52	117,00	5,48
	11	292,00	13,67	269,00	12,59	192,00	8,99	133,00	6,23
	12	257,00	12,03	209,00	9,78	131,00	6,13	87,00	4,07
	13	218,00	10,21	186,00	8,71	130,00	6,09	96,00	4,49
	14	213,00	9,97	181,00	8,47	138,00	6,46	111,00	5,20
	15	196,00	9,18	177,00	8,29	140,00	6,55	119,00	5,57
	16	205,00	9,60	186,00	8,71	163,00	7,63	140,00	6,55
	17	248,00	11,61	197,00	9,22	190,00	8,90	167,00	7,82

		21 DE SEPT. 2012 sin luz artificial			
PUNTO BAJO BÓVEDA		10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL 1	1	13,60	14,70	9,40	10,60
	2	9,30	9,30	26,80	11,30
	3	13,20	11,90	13,80	10,60
	4	4,80	6,70	5,90	5,90
	5	2,10	5,10	4,50	3,43
	6	2,10	5,00	4,50	3,43
GIROLA INTERIOR 7	7	1,40	2,84	2,70	2,60
	8	2	3,55	4	2,7
	9	0,90	2,44	4,30	1,68
	10	0,60	3,42	2,90	1,50
	11	0,70	4,30	2,40	2,50
	12	0,40	1,90	2,10	2,00
	13	0,50	1,90	1,20	0,70
	14	0,60	2,10	1,00	0,60
	15	1,10	2,20	2,00	1,90
	16	1,50	3,08	7,20	2,40
	17	2,20	3,40	6,00	2,60

		21 DE SEPT. 2012 con luz artificial			
PUNTO BAJO BÓVEDA		10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL 1	1	31,00	36,80	10,20	10,60
	2	15,00	17,00	26,00	12,90
	3	16,10	14,00	17,80	68,20
	4	11,20	12,20	10,20	49,00
	5	3,00	20,90	20,90	29,80
	6	3,00	17,60	17,60	29,80
GIROLA INTERIOR 7	7	2,10	10,30	18,40	11,50
	8	2	7	10	4,8
	9	1,50	8,90	6,10	3,50
	10	3,50	14,40	6,80	7,80
	11	9,60	3,70	10,90	9,20
	12	1,90	9,70	3,10	4,00
	13	9,20	8,00	7,30	5,60
	14	7,00	3,60	7,50	6,20
	15	2,50	3,80	3,20	2,10
	16	5,20	8,80	9,60	5,30
	17	14,80	17,60	17,30	12,00

Con esta toma de datos se elaboran las correspondientes gráficas por naves y se comparan los resultados de iluminación en la actualidad con los obtenidos en el modelo 3D del proyecto original gótico, el mismo día y a las mismas horas. Tras realizar la consabida conversión de equivalencia de valores (factor de escalado) para poder obviar el efecto de filtrado de la luz producido por las vidrieras y las comparaciones resultantes son las siguientes:

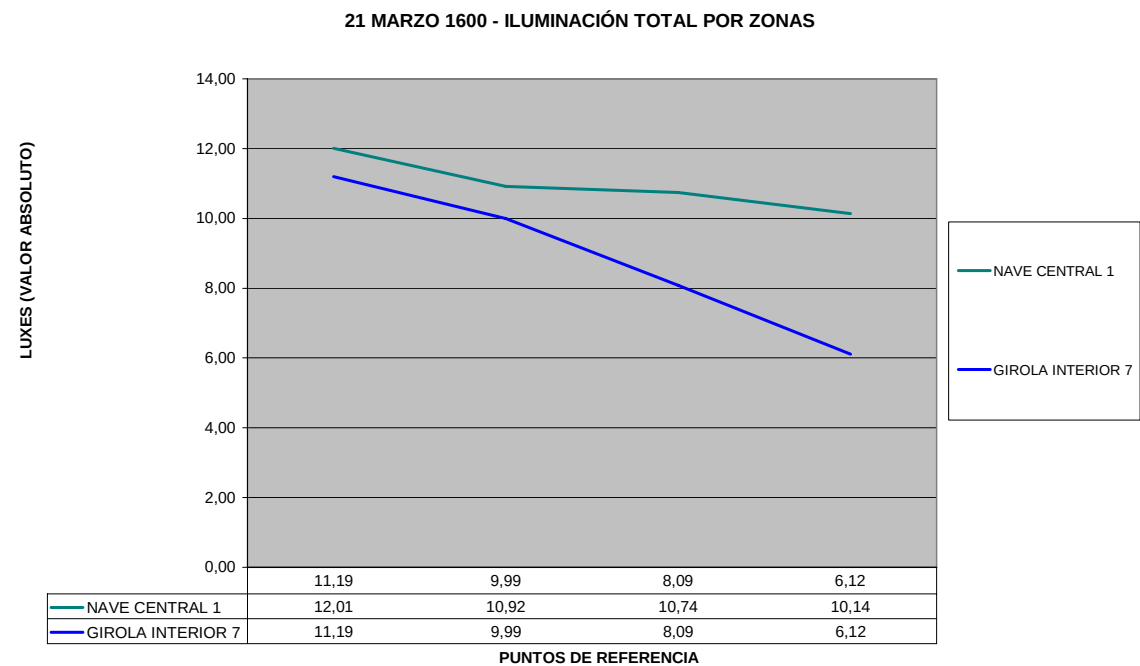


Fig. 6.32. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. Año 1600. Autor: Juan M. Medina.

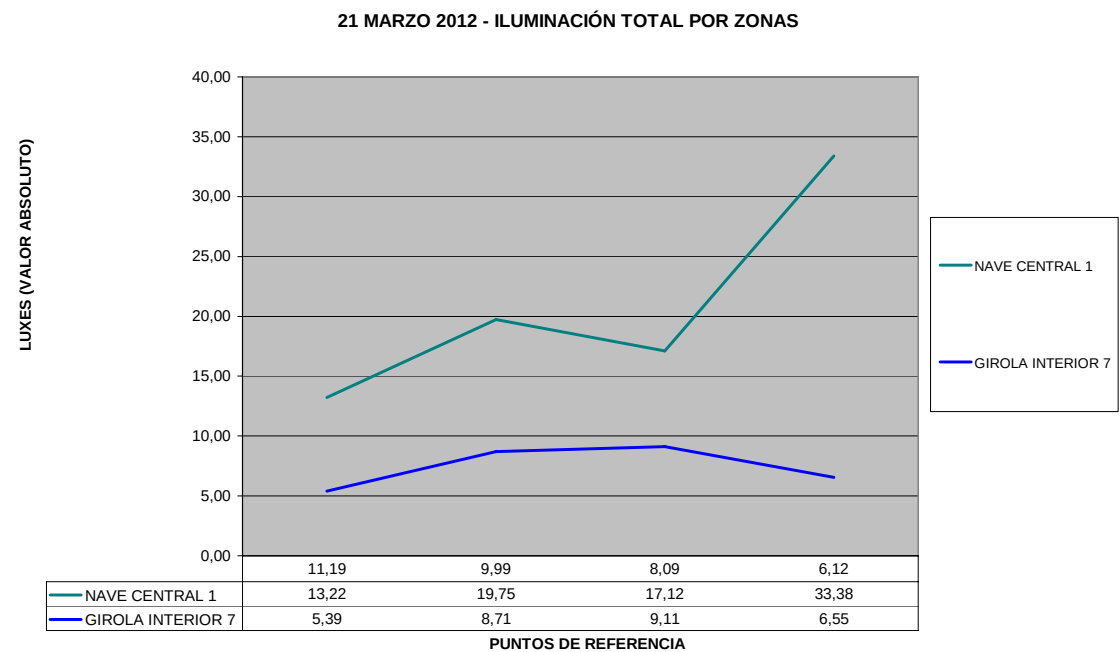


Fig. 6.33. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. Año 2012. Autor: Juan M. Medina.

En primer lugar analizaremos las gráficas de iluminación por zonas entre los días 21 de marzo de 1600 y 21 de marzo de 2012. Si observamos el comportamiento de las líneas de tendencia podemos ver como la iluminación en 1600 en la nave central era homogénea cuatro horas del día, con un ligero descenso en su llegada a la tarde.

Sin embargo en la actualidad podemos observar como la gráfica de esta nave ha sido claramente trastocada, obteniendo valores diferentes a lo largo del día, y sobre todo más altos a última hora de la tarde, debido a la utilización de iluminación artificial dirigida.

En lo que respecta a la girola también encontramos diferencias en la relación de iluminación a lo largo del día, siendo esta descendentes a medida que pasa el día en la gráfica de 1600 y homogénea en la de 2012, algo extraño si consideramos que la girola se orienta a este y que debería tener un comportamiento más diferenciado entre la mañana y la tarde.

La catedral se encuentra libre de obstrucciones por construcciones anexas en las ventanas altas, exceptuando las capillas y la primera vidriera de la nave central en su muro sur, que está cegada por la yuxtaposición de una torre.

La gráfica que hemos comparado con la recreación 3D ha sido la que tomamos con todos los factores de distorsión que existen en la catedral y aplicándole el factor de escala que iguala el factor de filtrado de vidrieras pero en esta catedral se pudo efectuar una medición muy interesante donde se eliminaba otro de los factores de distorsión existentes en la actualidad, la iluminación artificial. Mientras tomábamos datos de la iluminación por punto se tomaban medidas simultáneas con luz artificial y sin ella. (Fig. 6.34 y Fig. 6.35), este ejercicio fue posible, como comentábamos anteriormente, gracias a la colaboración del personal de mantenimiento de la catedral y con él se pretende ver hasta qué grado está distorsionada la luz gótica y los resultados obtenidos fueron los siguientes. (Fig. 6.36 y Fig. 6.37).

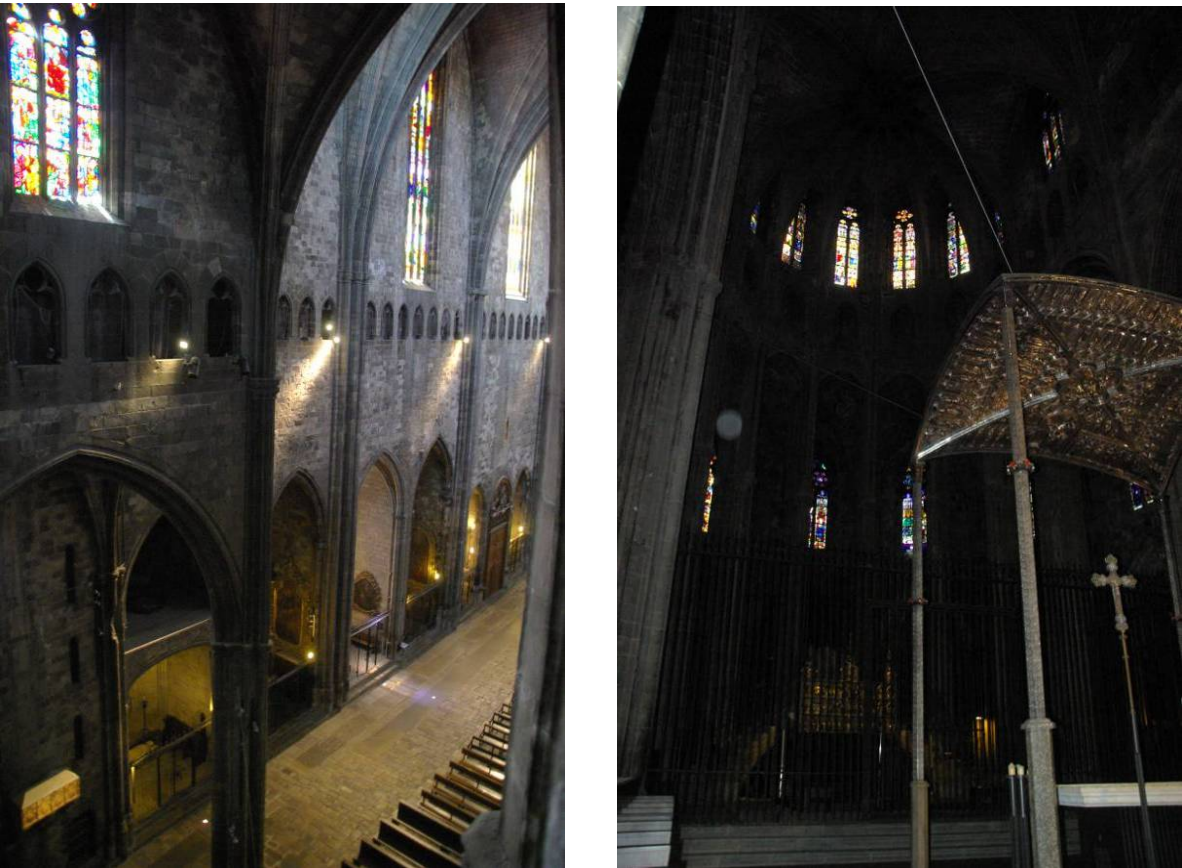


Fig. 6.34 y 6.35. Deambulatorio y presbiterio de la catedral de Gerona con luz artificial y sin ella. 21 de Septiembre de 2012. Autor: Juan M. Medina

		21 DE SEPT. 2012 sin luz artificial			
PUNTO BAJO BÓVEDA		10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL 1	1	13,60	14,70	9,40	10,60
	2	9,30	9,30	26,80	11,30
	3	13,20	11,90	13,80	10,60
	4	4,80	6,70	5,90	5,90
	5	2,10	5,10	4,50	3,43
	6	2,10	5,00	4,50	3,43
GIROLA INTERIOR 7	7	1,40	2,84	2,70	2,60
	8	2	3,55	4	2,7
	9	0,90	2,44	4,30	1,68
	10	0,60	3,42	2,90	1,50
	11	0,70	4,30	2,40	2,50
	12	0,40	1,90	2,10	2,00
	13	0,50	1,90	1,20	0,70
	14	0,60	2,10	1,00	0,60
	15	1,10	2,20	2,00	1,90
	16	1,50	3,08	7,20	2,40
	17	2,20	3,40	6,00	2,60

		21 DE SEPT. 2012 con luz artificial			
PUNTO BAJO BÓVEDA		10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE CENTRAL 1	1	31,00	36,80	10,20	10,60
	2	15,00	17,00	26,00	12,90
	3	16,10	14,00	17,80	68,20
	4	11,20	12,20	10,20	49,00
	5	3,00	20,90	20,90	29,80
	6	3,00	17,60	17,60	29,80
GIROLA INTERIOR 7	7	2,10	10,30	18,40	11,50
	8	2	7	10	4,8
	9	1,50	8,90	6,10	3,50
	10	3,50	14,40	6,80	7,80
	11	9,60	3,70	10,90	9,20
	12	1,90	9,70	3,10	4,00
	13	9,20	8,00	7,30	5,60
	14	7,00	3,60	7,50	6,20
	15	2,50	3,80	3,20	2,10
	16	5,20	8,80	9,60	5,30
	17	14,80	17,60	17,30	12,00

Fig. 6.36 y 6.37. Datos de medición de luz en la catedral de Gerona con luz artificial y sin ella. 21 de Septiembre de 2012. Autor: Juan M. Medina

Con esta medición tendríamos, para los “puntos estables” de la catedral, aquellos que sólo se diferencian de su estado inicial gótico por el hecho de la luz artificial, unos valores que deberían coincidir con los valores de la recreación 3D multiplicados por el factor de escala. (Fig. 6.31)

Una vez hecho el ejercicio de comprobación del factor de escala (factor de filtrado de vidrieras) según los dos sistemas, el de **puntos estables**, y el de la **medición in situ sin luz artificial**, se comprueba que el método empleado para obtener este factor es válido, ya que los valores medios de iluminación de la zona son iguales. (Fig. 6.36 y 6.37)

Si observamos la comparativa entre 1600 y 2008 en términos globales (Fig. 6.38), podemos ver como en 1600, la iluminación a lo largo del día era homogénea y con una cierta tendencia al descenso de las 10:00 horas a las 16:00 horas, pasando de los 11,56 luxes a los 7,66. Sin embargo, en 2012, la medición con luces encendidas, es decir, la medición que acumula todas las distorsiones posibles, la iluminación sigue una gráfica ascendente a lo largo del día, con un inicio en los 19,63 luxes, una cierta homogeneidad en las horas centrales del día y un momento “pico” a las 16:00 horas, donde la iluminación se dispara y es distorsionada totalmente.

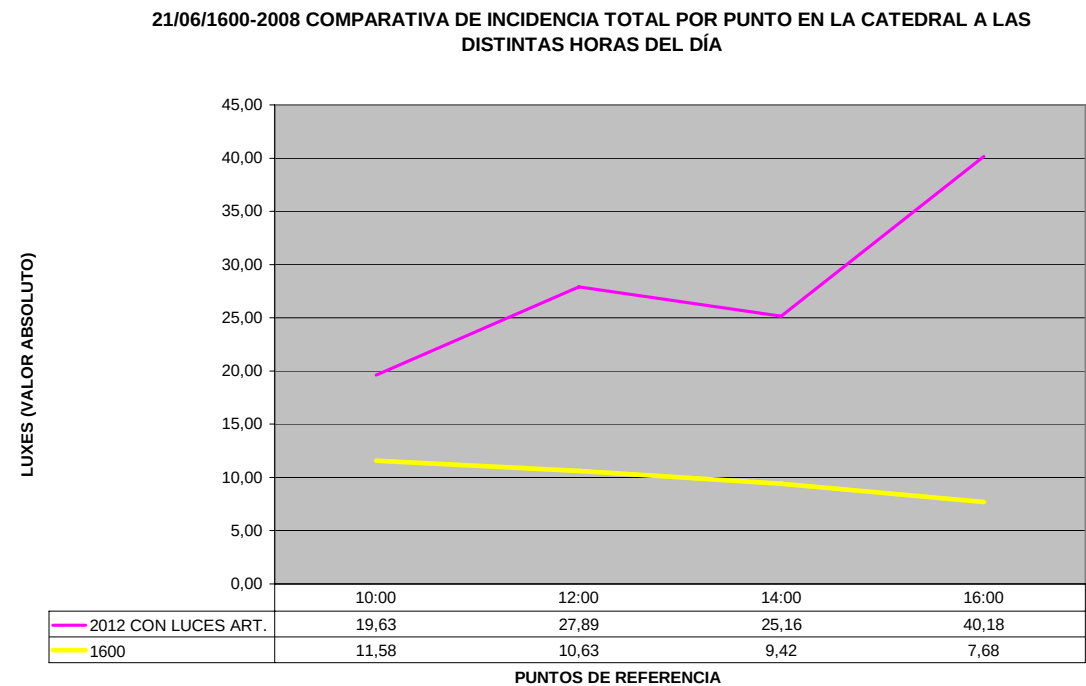
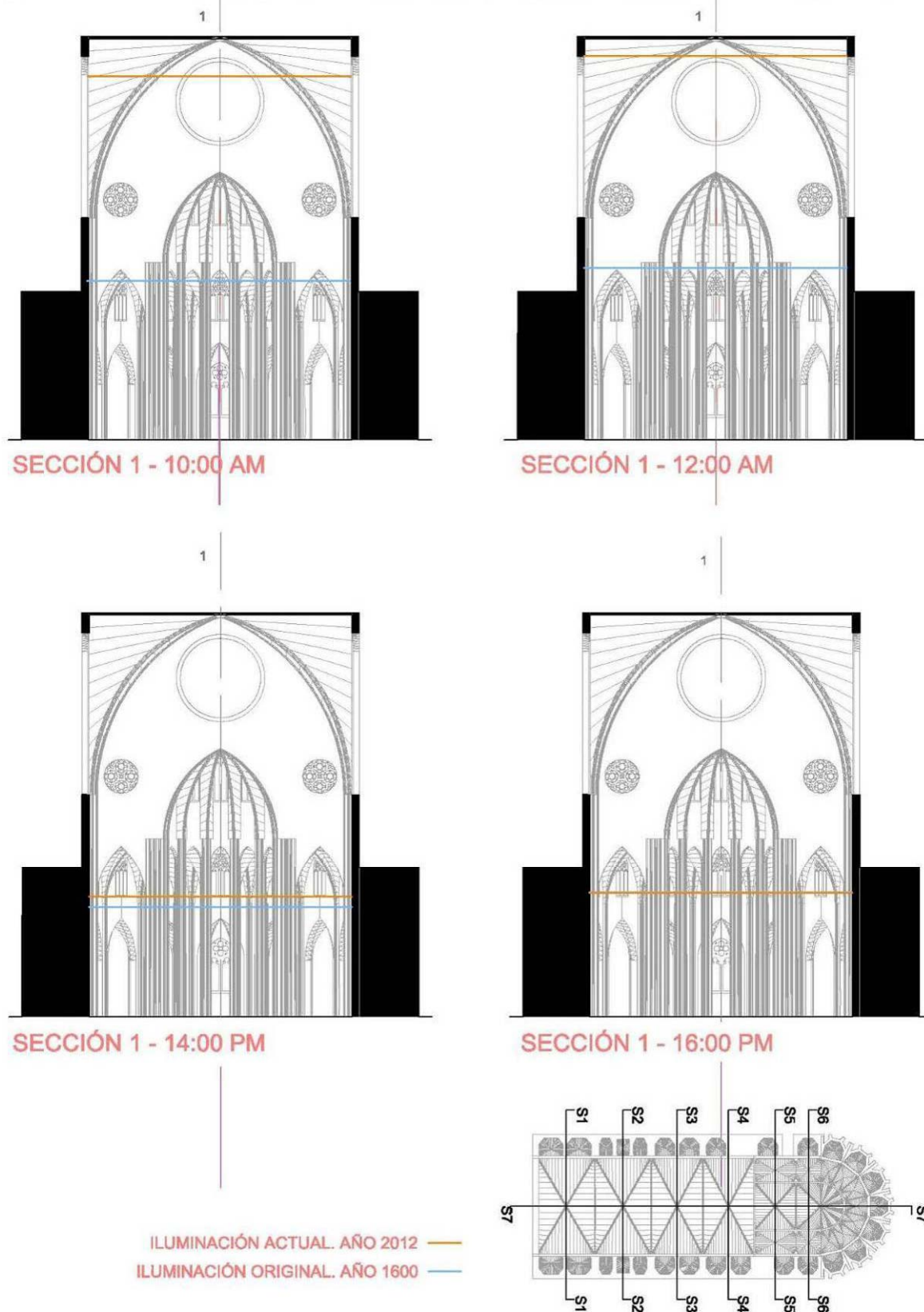


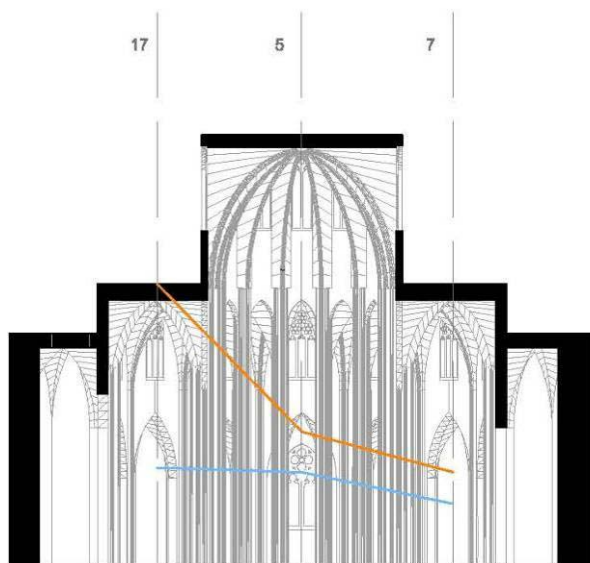
Fig. 6.38. Gráfica comparativa de iluminación total por punto en la catedral de Gerona. 21 de marzo de 1600 y de 2012.

A continuación se incorporan las gráficas comparativas que relacionan la iluminación actual con el estado inicial sobre las secciones de la iglesia.

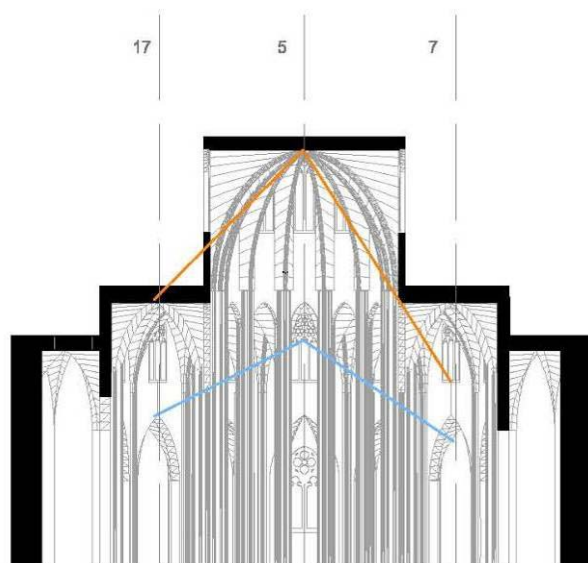
COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL



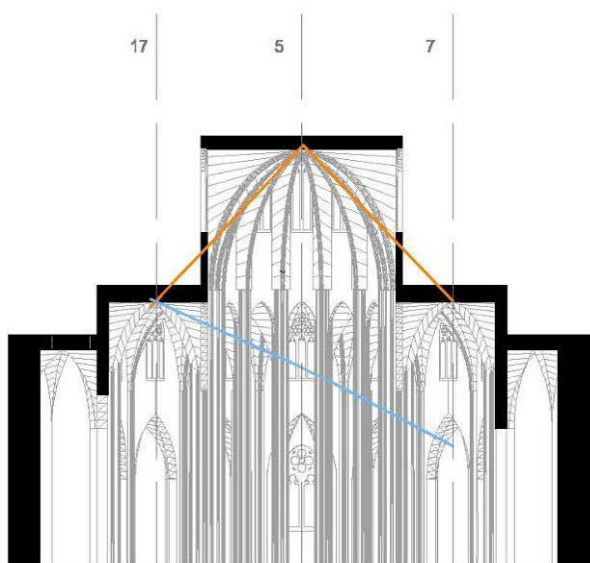
COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL



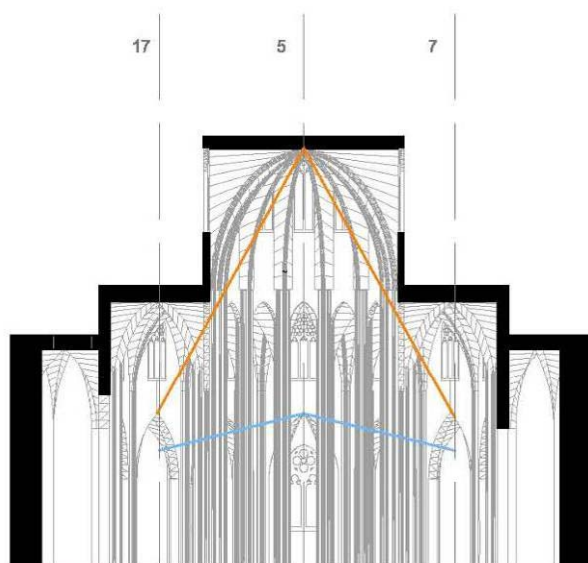
SECCIÓN 5 - 10:00 AM



SECCIÓN 5 - 12:00 AM

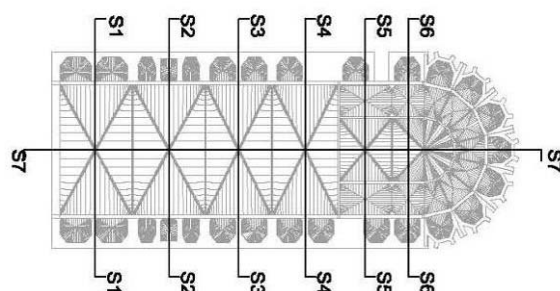


SECCIÓN 5 - 14:00 PM



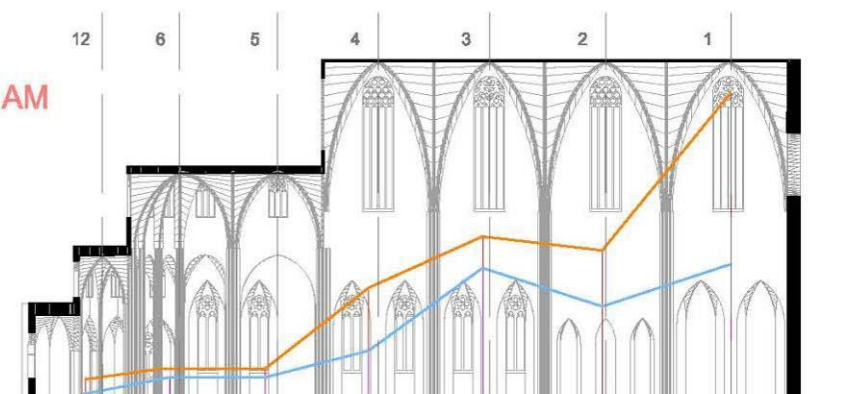
SECCIÓN 5 - 16:00 PM

ILUMINACIÓN ACTUAL. AÑO 2012 —
ILUMINACIÓN ORIGINAL. AÑO 1600 —

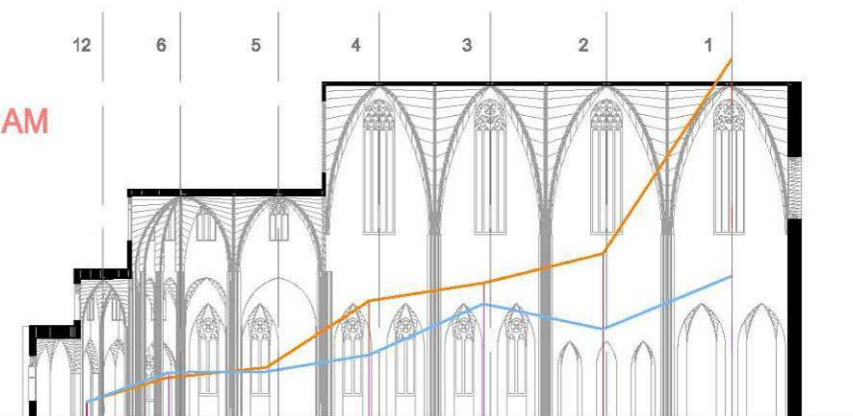


COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL

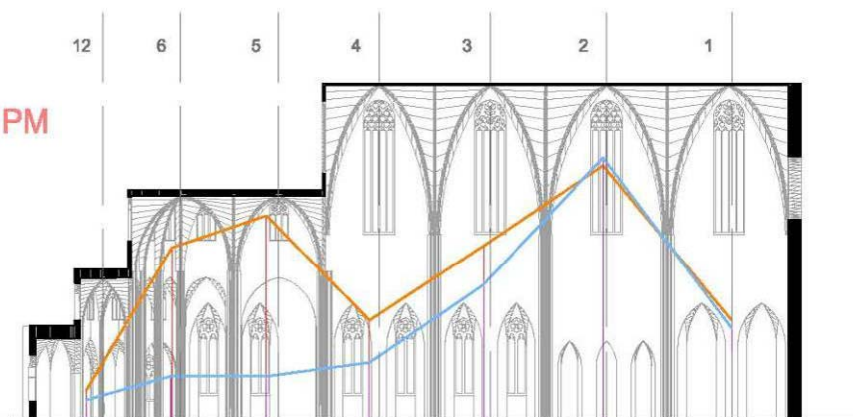
SECCIÓN 7 - 10:00 AM



SECCIÓN 7 - 12:00 AM

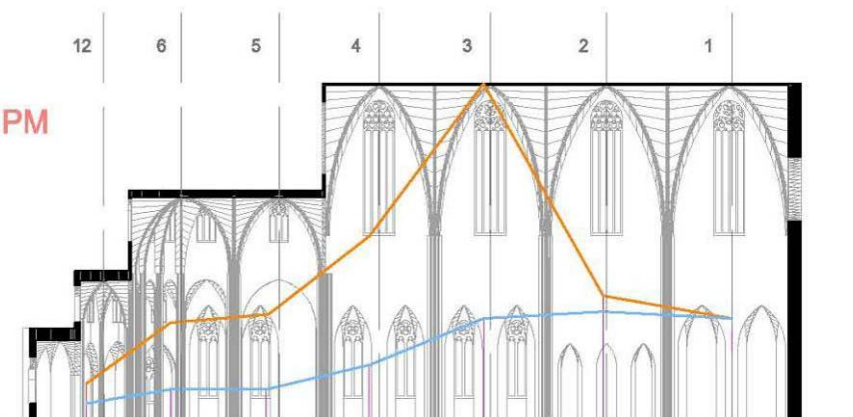


SECCIÓN 7 - 14:00 PM



SECCIÓN 7 - 16:00 PM

AÑO 2012 —
AÑO 1600 —



6.1.9 CATEDRAL DE GERONA. ANÁLISIS DE COLOR.

Para analizar el color de la catedral de Gerona atenderemos, como haremos con las demás muestras, a la composición de una de sus vidrieras más representativas, que represente la época gótica en la que fue construida.

La catedral de Gerona tiene, según la clasificación de Xavier Barral, 4 grandes grupos de vidrieras agrupados según cronologías y estilos.

El primero se sitúa a mediados del S XIV y está formado por las once vidrieras de la nave central que rodean al presbiterio, son las vidrieras más antiguas de la catedral y componen un tema único iconográficamente hablando.

El segundo grupo sería el compuesto por las vidrieras de la girola y de la capilla de San Miguel, importante conjunto artístico en el que trabajó el famoso vidriero Guillem de Letumgard, entre los años 1357 y 1358. Este grupo se trata, y según palabras de Barral *“de uno de los conjuntos más extraordinarios del trabajo de vidriería en Cataluña en época gótica, tanto por lo que se refiere a extensión como a su calidad artística.”* Con un autor principal, Guillem de Letumgard que es considerado *“el introductor en Cataluña del llamado estilo internacional en las vidrieras, que superaba el italianismo que había dominado la pintura y la vidriera del siglo XIII y de la primera mitad del siglo XIV.”*¹⁶¹

El tercer grupo está compuesto por un único ejemplo, conocido como la vidriera de los Apóstoles, que está situada en el lado sur y al principio de la nave. Trabajo del vidriero Antoni Thomás o Tomás, que ejecutó la misma en el año 1347. Esta vidriera, al igual que las del presbiterio, conserva elementos arcaizantes más propios del siglo XV que del S XIV, fecha en la que fue construida.

Por último el cuarto conjunto de vidrieras identificable de la catedral es de las sibilas, los evangelistas y los cuatro doctores de la iglesia. Se trata de una obra ya renacentista, realizada por Jaime Fontanet padre en 1520, alejada de los cánones góticos más tradicionales.

Aún cuando los tres primeros grupos de vidrieras son de alto interés por su desarrollo iconográfico y de composición de color dentro del estilo gótico más antiguo, para el

¹⁶¹ BARRAL, Xavier, *“Vidrieras medievales de Cataluña”*, Ed: Lunwerg Editores e Institut d’Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 202

estudio del color de la catedral hemos seleccionado el primero. Este grupo de vidrieras, llamado "*del Maestro del Presbiterio*", que tal como describíamos pertenecen a mediados del S XIV, posee un elemento diferenciador fundamental que lo hace único en el mundo y es el hecho de que el Museu d'Art de Girona conserva la mesa de vidriero que se empleó en la realización de las vidrieras (Fig. 6.39). Junto con la mesa de la catedral de Brandeburgo, es la única mesa de vidriero que se conserva en Europa y que además se corresponde con la obra conservada en la misma catedral, la vidriera axial del presbiterio. (Fig. 6.40)



Fig. 6.39. Mesa de vidriero del Museu d'Art de Girona.¹⁶²



Fig. 6.40. Vidriera construida con la mesa del vidriero que se conserva intacta.

El conjunto seleccionado representan un ciclo iconográfico completo dedicado a la Virgen María y son todas originales de la época gótica más temprana a excepción de la situada en el extremo más próximo a la fachada norte, obra del siglo XVI.

Abstrayéndonos de la temática iconográfica y centrándonos en su composición de trazado y color, se puede observar que los personajes y las escenas se sitúan en hornacinas sobrepuestas, dos en cada lanceta, con algunas excepciones. Tal como describe Barral

¹⁶² ROCA, Ramón en "*Vidrieras medievales de Catalunya*", Ed: Lunwerg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). p. 209-247.

"Las cuatro ventanas laterales están formadas por tres lancetas y tracería superior con decoración geométrica, y las centrales sólo por dos".

El estilo de las vidrieras se corresponde con el del gótico lineal, con elementos aún más arcaicos propios del siglo XIII, con esquematismo del dibujo y combinados con características también propias del estilo de vidrieras clásicas italianas.

La vidriera seleccionada es la que representa el **Tránsito de la Virgen**, ya que es una de las que mejor conserva su aspecto original. Su composición es la de tres lancetas y una tracería superior. Divididas en tres plafones cada una, las lancetas se configuran casi como un retablo, de manera que el central representa la Virgen yacente acompañada de la figura de Cristo, y en los otros se distribuyen el resto de los personajes de la escena, los apóstoles en grupos de tres. En los tres plafones superiores no existen casi personajes, centrándose la escena en la figura de Cristo que corona a la Virgen arrodillada en el plafón izquierdo, mientras que a la derecha le acompañan las figuras de otros dos ángeles arrodillados. (Fig. 6.41 y Fig. 6.42)

Esta vidriera responde, de manera nítida y como describe Barral *"al estilo lineal, que dibuja las figuras con un trazo grueso y muy enérgico, presentando unas figuras poco volumétricas pero en cambio bien definidas. Los rostros, por tanto, son siempre muy expresivos en su esquematismo, con ojos almendrados, nariz recta y cabellos largos y ondulados, siempre rubios. Los colores utilizados son **luminosos y nítidos**, pero no en exceso, favoreciendo la **claridad y la legibilidad** del dibujo"*.¹⁶³

A continuación se expone el estudio sobre la vidriera seleccionada en la que se definen las proporciones de color que posee así como la proporción de vidrio sobre plomo.

¹⁶³ BARRAL, Xavier, *"Vidrieras medievales de Catalunya"*, Ed: Lunwerg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 203



Fig. 6.41 y 6.42. Vidriera del "tránsito de la Virgen. Fotografías: Ramón Roca Junyent¹⁶⁴

¹⁶⁴ ROCA, Ramón en "*Vidrieras medievales de Catalunya*", Ed: Lunwerg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). p. 209-247.

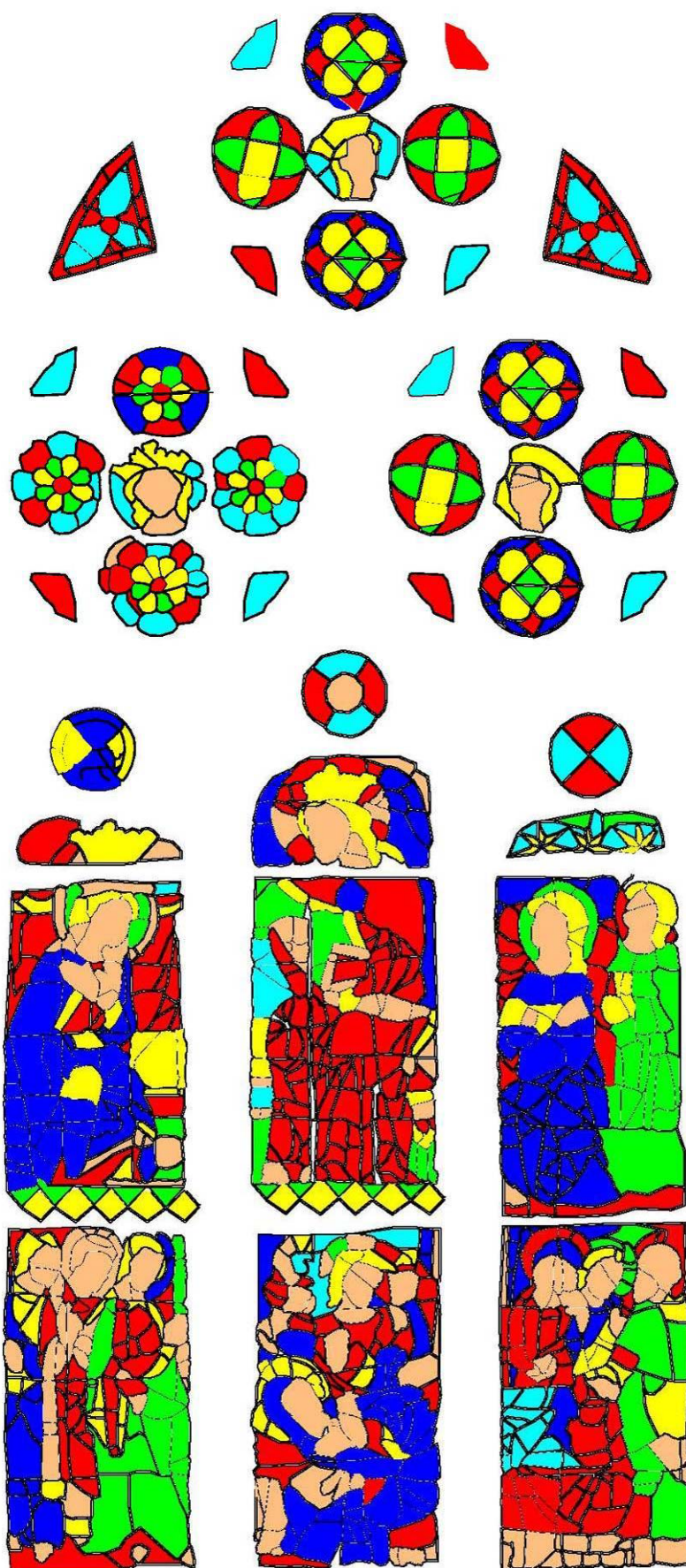
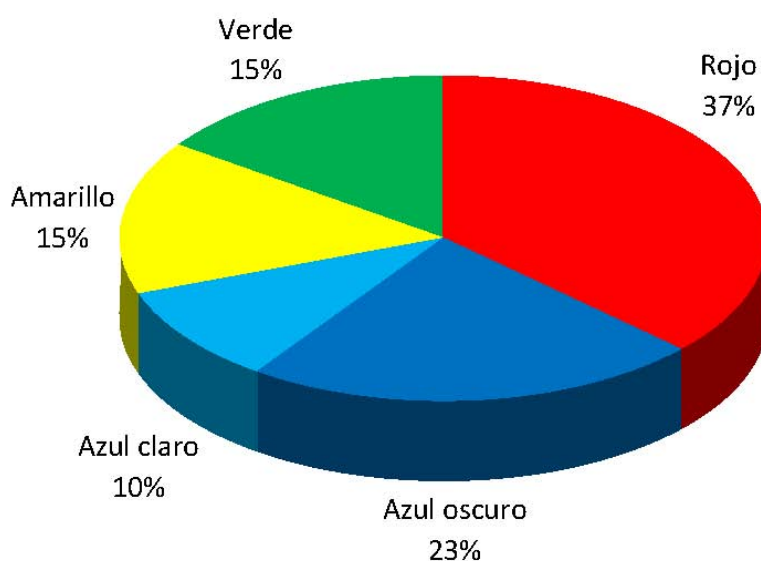
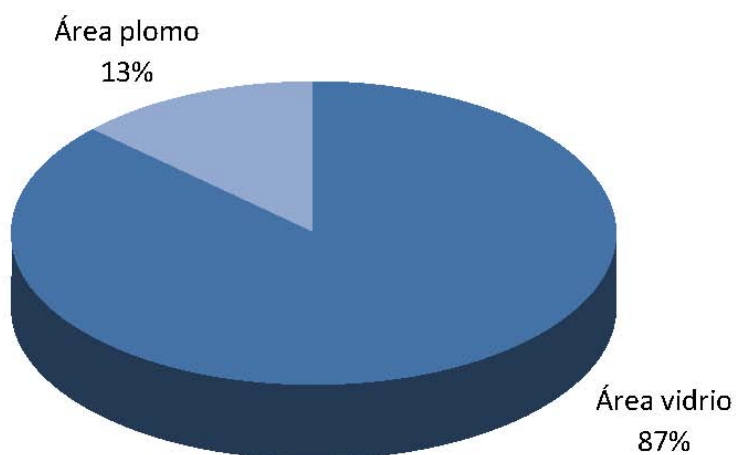


Fig. 6.43. Distribución del color de la vidriera del "tránsito de la Virgen". Autor: Juan M. Medina.

Distribución de colores de vidriera. Gerona



Factor de emplomado. Vidriera de Gerona



6.2 SANTA MARÍA DEL MAR.



Fig. 6.44. Modelo 3D. Basílica de santa María del Mar. Autor: Juan M. Medina.

6.2.1 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES



Fig. 6.45. Santa María del Mar, Barcelona. Fotografía: Juan M. Medina.

La fundación del primer lugar de culto en el espacio hoy ocupado por la catedral de Santa María del Mar se remonta a la época romana. En el año 303 existió en ese lugar una necrópolis cristiana donde se dice que fue enterrada la mártir Santa Eulalia, este debió ser el lugar de la primera capilla dedicada al efecto, en esa época llamada Santa María de las Arenas.

Este lugar religioso fue ampliándose a lo largo del tiempo. Ya en el siglo VII el templo se llamaba Santa María del Mar, y fue pasando por los diversos estilos hasta llegar al románico y, finalmente, a su proyecto actual gótico.

La singularidad de su ubicación y el carácter de religiosidad “popular” que el templo ha tenido siempre, hizo que en su período gótico, el templo fuera construido con la ayuda y colaboración de todos los agentes de la ciudad. Por un lado las autoridades eclesiásticas que propulsaron la iniciativa, pero por otro la estrecha ayuda y empuje de los mercaderes de la zona y los obreros de carga y descarga de los barcos y la gente sencilla del barrio que prestaron su esfuerzo para transportar las piedras necesarias desde la Montaña de

Montjuic, después de que el rey Pere III diera su permiso para extraerla y dedicarla a la construcción de la basílica. (Fig. 6.46)



Fig. 6.46. Imagen de un "bastaixo" o descargador del puerto de Barcelona. Portada de la Catedral de Santa María del Mar. Fotografía: Juan M. Medina.

Los autores del proyecto fueron los maestros Berenguer de Montagut y Ramón Despuig. La obra se comenzó en 1329 en la época de Ponc de Gualbes bajo las órdenes del archidiácono Bernat Llull y se construyó con continuidad hasta su terminación en tan sólo 55 años y medio, hasta su final consagración por el obispo de Barcelona Pere de Planella en 1384, el día de la Asunción de la Virgen a los cielos, el 15 de agosto.

El hecho de que el templo se construyera sin interrupción, tal como describe Taulé, *"siguiendo el mismo diseño inicial durante un periodo que podemos considerar breve para este tipo de construcciones, le da a la basílica una unidad y una belleza arquitectónicas sin igual. Por ello es considerado el mejor ejemplar existente del gótico catalán."*¹⁶⁵

¹⁶⁵ TAULÉ, Alberto, *"Santa María del Mar. Pasado y presente."*, Edición La hormiga de Oro, Barcelona, 2009. ISBN: 84-85028-98-8. p. 4

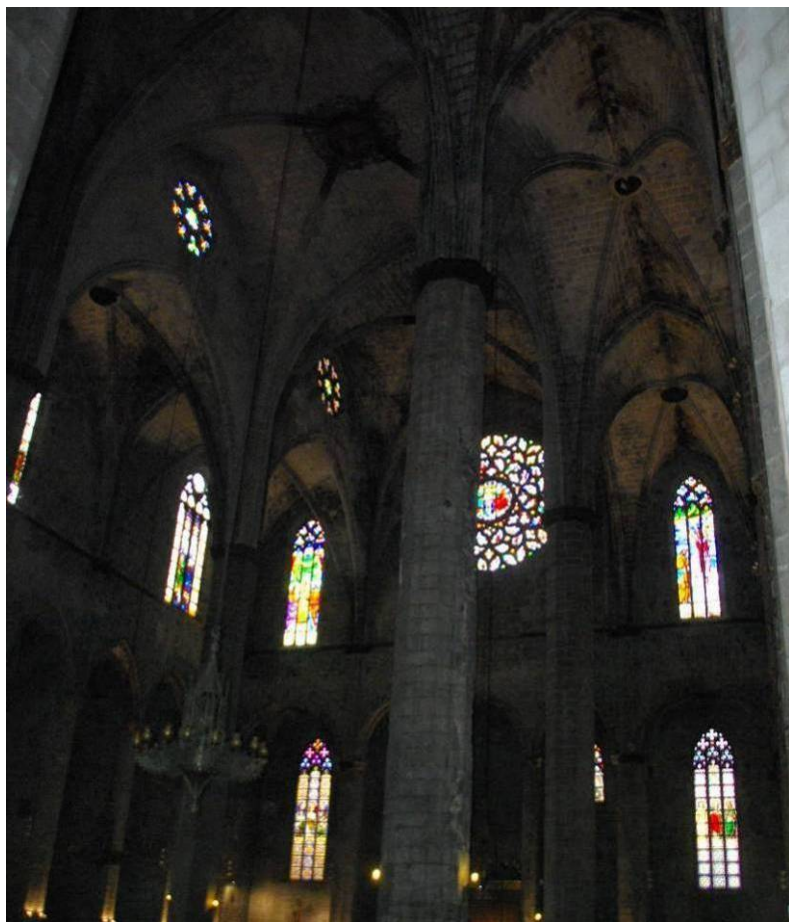


Fig. 6.47. Catedral de Santa María del Mar. Fotografía; Juan M. Medina. 21 de marzo de 2012

Si bien el edificio gótico se construyó, tal como hemos comentado, de una sola vez y con unidad de estilo, la iglesia ha sufrido variaciones sustanciales en su interior, sobre todo en lo que se refiere al mobiliario y las vidrieras. Varios incendios y conflictos bélicos han causado la práctica desaparición de las vidrieras góticas iniciales. El primero de ellos fue un incendio acaecido en 1378, cuando las obras todavía no estaban terminadas, que acabó con parte del mobiliario interior. Posteriormente un terremoto el 2 de febrero de 1427 provocó el derrumbamiento del rosetón, ocasionando 25 muertos, repuesto en 1429. También se tiene conocimientos de desperfectos en vitrales en 1697 y en 1842 por conflictos bélicos, pero el hecho más importante tuvo lugar el 19 de Julio de 1936 cuando, como causa de la Guerra Civil española, la iglesia estuvo ardiendo durante once días seguidos, acabando con la totalidad del mobiliario interior (coros, altar, órgano...) y en lo que a nosotros más afecta, todas las **vidrieras**, que fueron destruidas totalmente, exceptuando las más altas a las que no alcanzó el fuego. (Fig. 6.48 y 6.49)



Fig. 6.48. Nave principal de la catedral de Santa María del Mar antes del 19 de julio de 1936. Vista del altar barroco.¹⁶⁶



Fig. 6.49. Nave principal de la catedral de Santa María del Mar después del incendio.

¹⁶⁶ GASSIOT, José, *"Apuntes para el estudio de la persecución religiosa en España"*, Ediciones Gráficas Salesianas, Barcelona, 1961.

6.2.2 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. MODELOS 2D Y 3D

La toma de datos necesaria para la recreación de los modelos en 2D y posteriormente la generación del modelo 3D fue realizada el **21 de marzo de 2011**; equinoccio de primavera.

En la toma de datos se tomaron medidas geométricas de la catedral que permitían el levantamiento de la misma así como la **toma de datos de iluminación actual** descrita en el método de análisis de la tesis, es decir, tomando referencia de lúmenes debajo de cada bóveda de crucería de las distintas naves de la catedral para las cuatro horas del día censadas (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00). Estos datos nos servirán para la comparativa entre el estado original y el actual de la iluminación en la catedral que será desarrollado con amplitud en el capítulo designado al efecto.

El resultado gráfico interpretado de lo que sería el proyecto original gótico representa la **denominación de las naves**, la **memoria de vidrieras** de la planta y la **posición de los puntos de muestreo** utilizados para la medición lumínica debajo de cada bóveda. La representación final es la siguiente:

Planta:

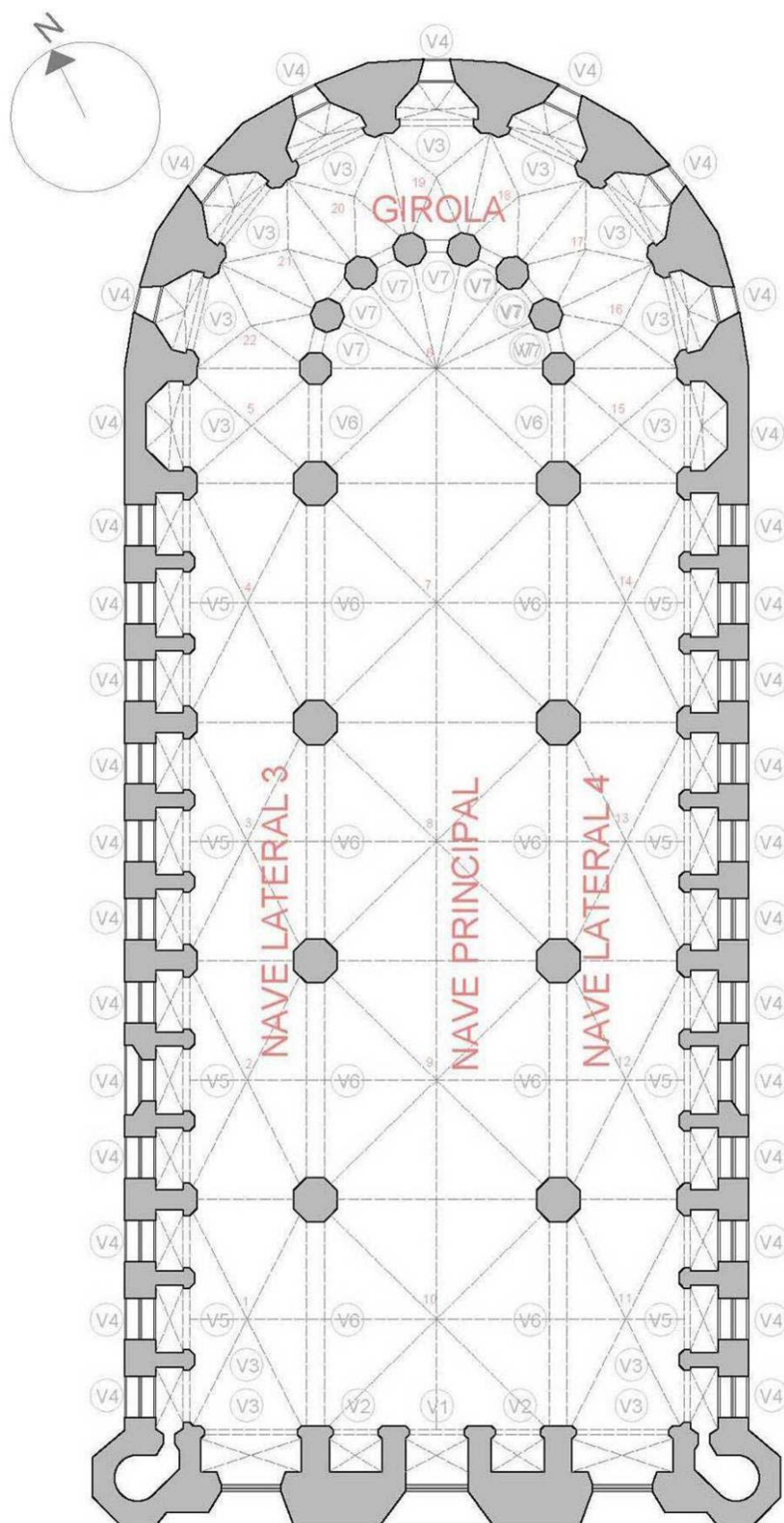


Fig. 6.50. Planta de Santa María del Mar. Autor: Juan M. Medina.

Secciones:

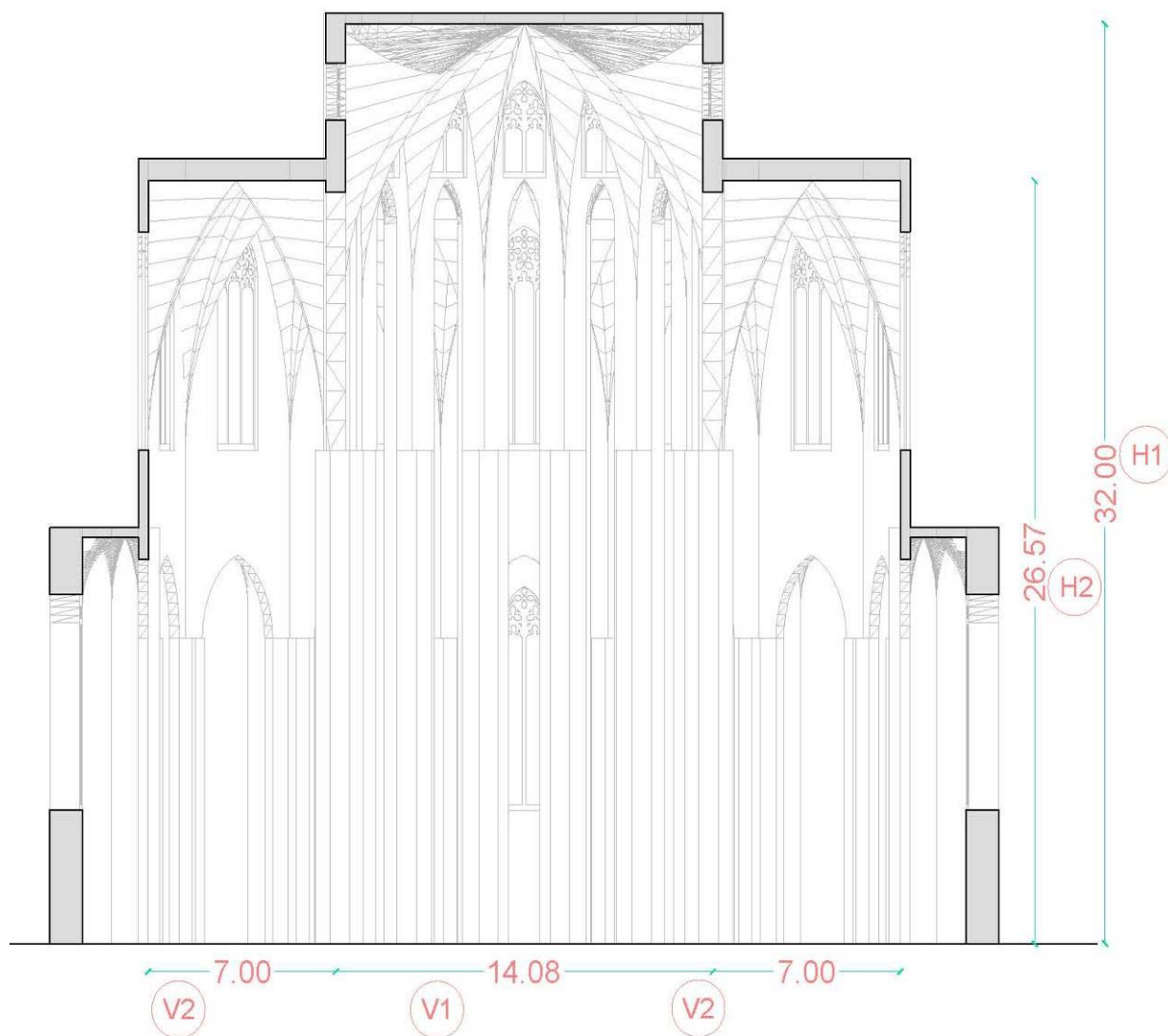


Fig. 6.51. Sección transversal. Basílica de Santa María del Mar. Autor: Juan M. Medina.

Vidrieras:

VIDRIERAS CATEDRAL SANTA MARÍA DEL MAR

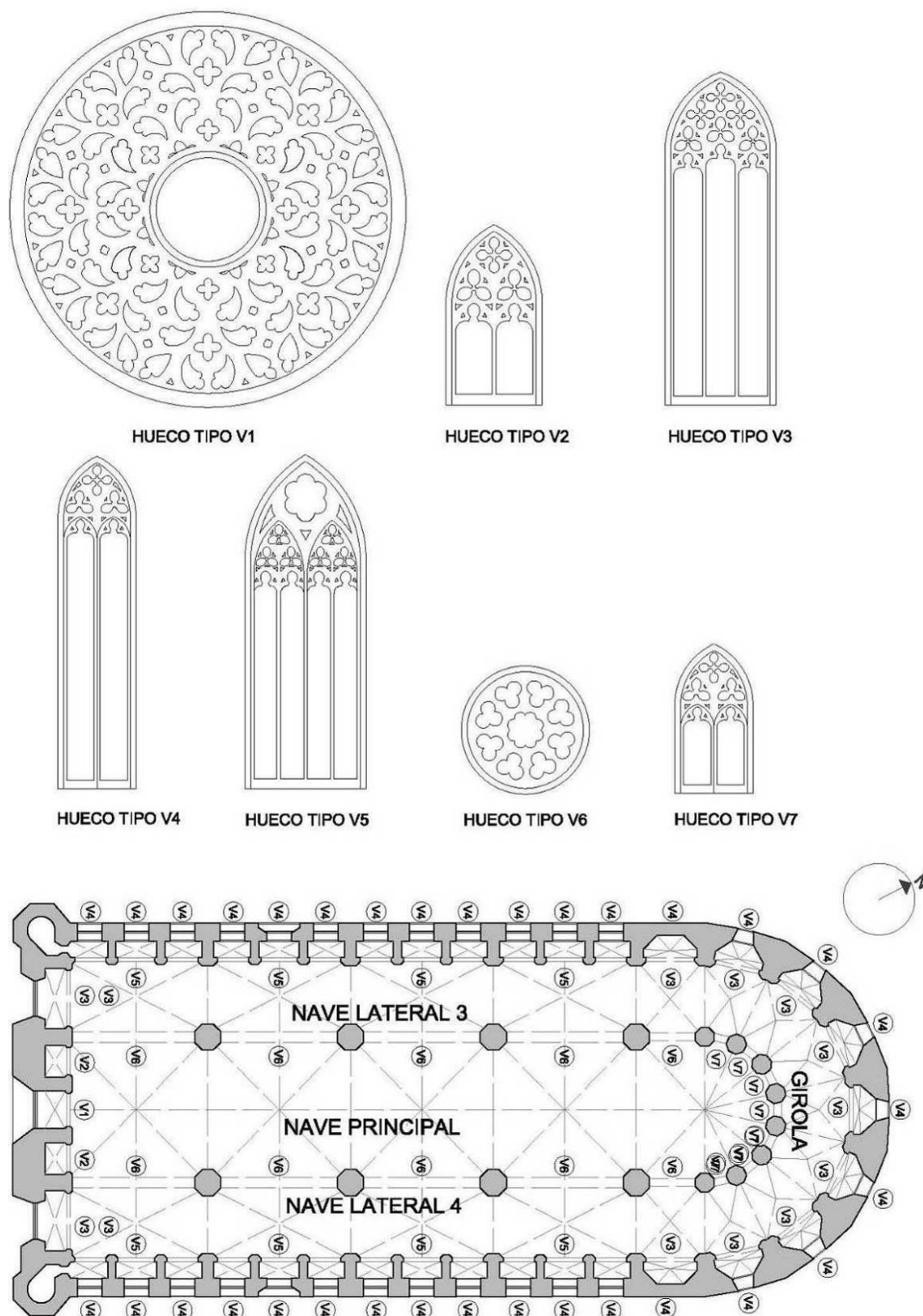


Fig. 6.52. Catálogo de vidrieras. Santa María del Mar. Autor: Juan M. Medina.

Modelo 3D:

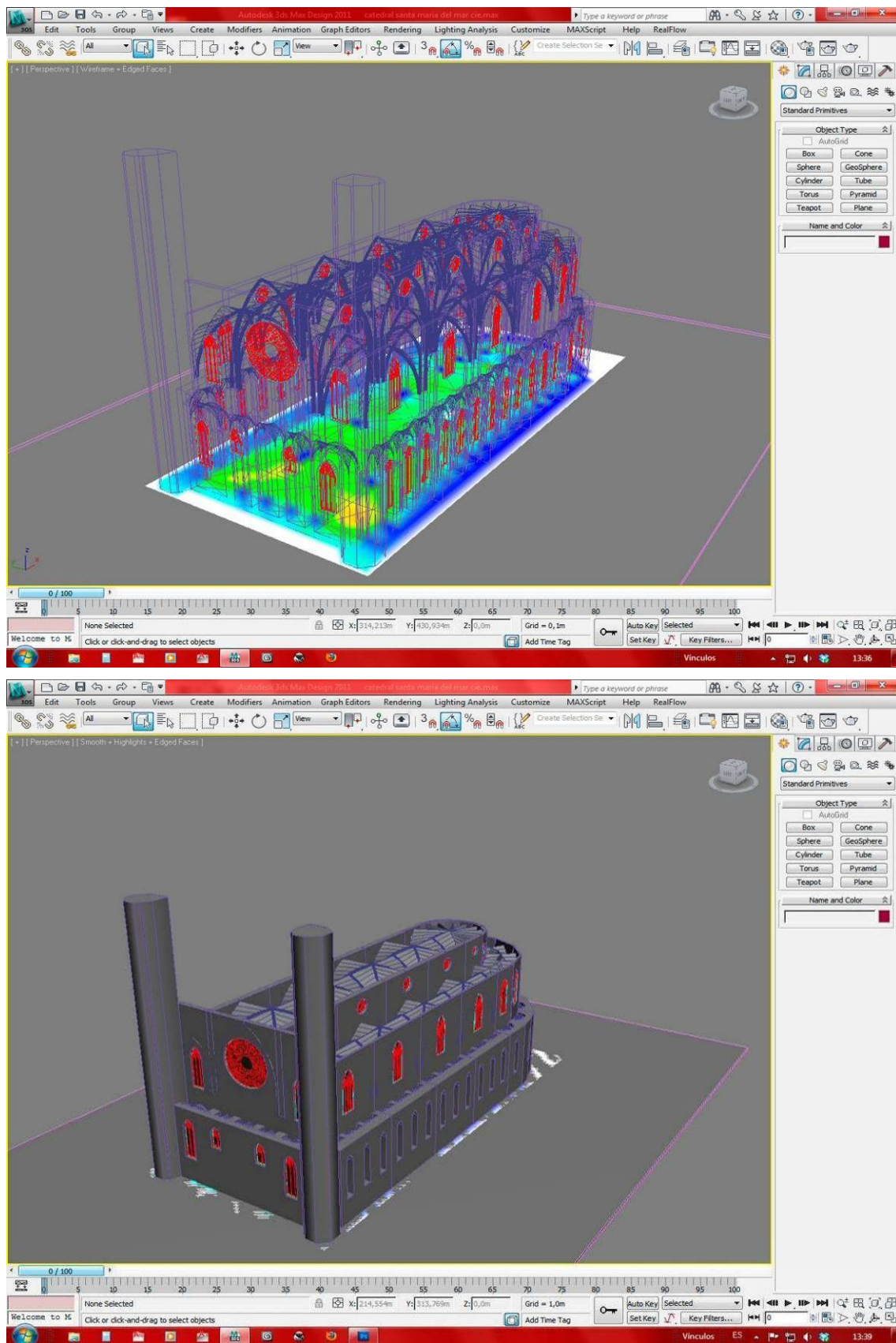


Fig. 6.53. Modelo 3D. Catedral de Gerona. Autor: Juan M. Medina.

Modelo 3D Renderizado:

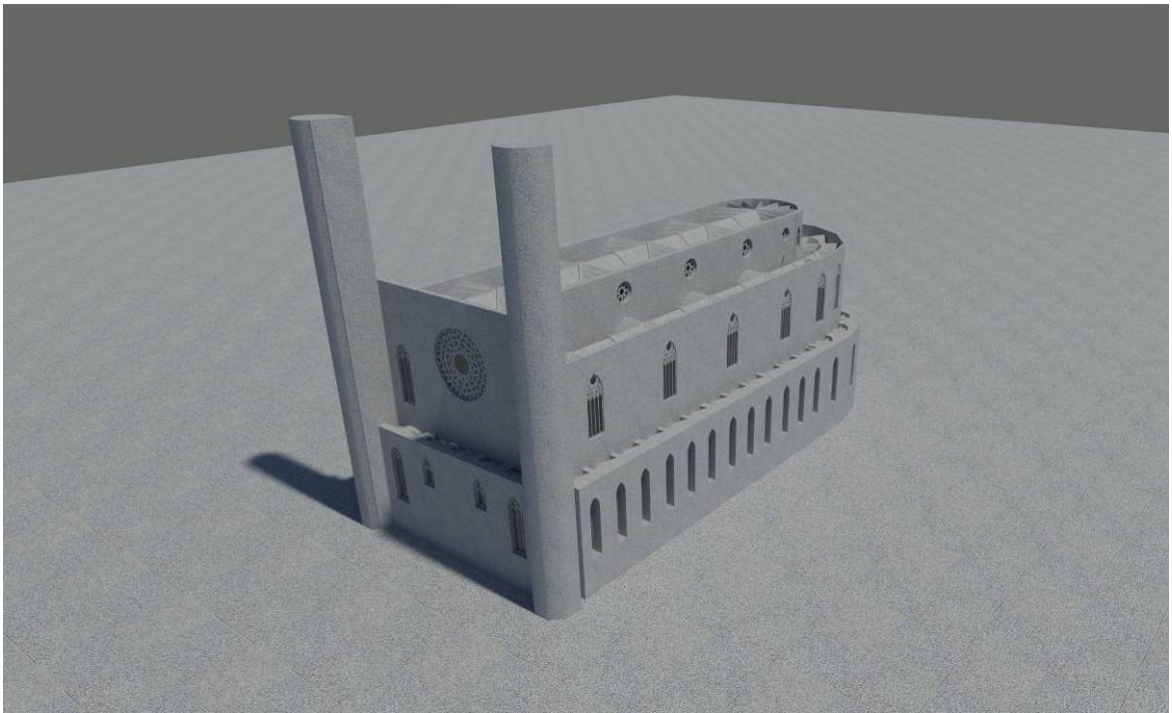


Fig. 6.54. Modelo 3D. Santa María del Mar. Autor: Juan M. Medina.

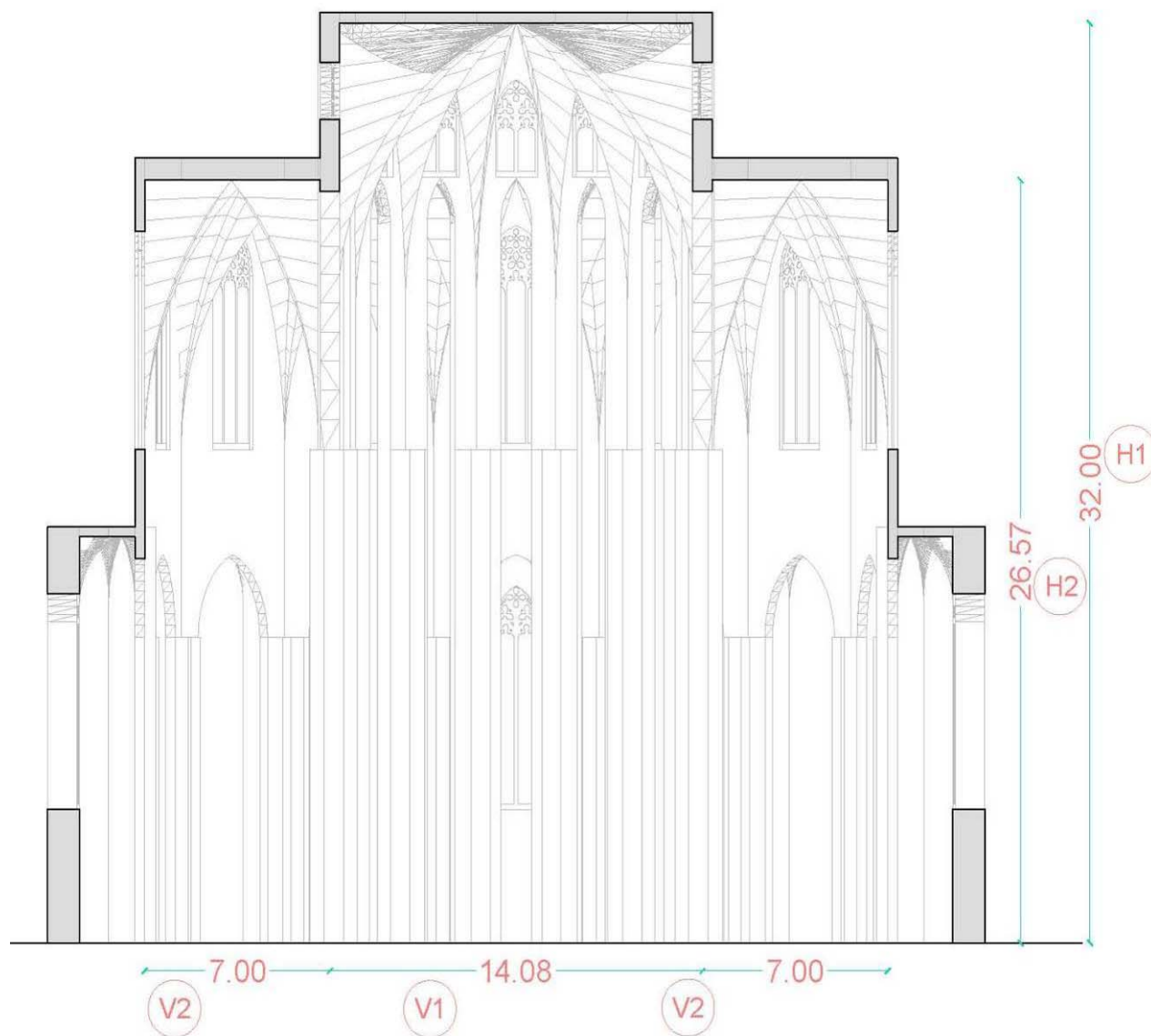
6.2.3 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. ANÁLISIS DE LA SECCIÓN: FACTOR DE ESBELTEZ Y FACTOR DE TRANSPARENCIA.

Para establecer las relaciones volumétricas necesarias para comprender la influencia que la sección de la catedral tiene sobre la iluminación en su interior, hemos establecido un factor comparable entre todas las catedrales y es su **factor de esbeltez** de nave, que viene definido por la división de la anchura de vano de cada nave con respecto su altura, valores V y H.

En cuanto a las relaciones de apertura de vanos en los muros de cerramiento, el presente estudio analiza una crujía tipo de la catedral entre dos pilares consecutivos de un tramo de la nave central. De ella se extrae un valor comparable entre catedrales que divide la cantidad de vanos incluidos en el muro entre la cantidad de cerramiento macizo de la crujía, **factor de transparencia**.

Los dibujos que demuestran estos dos factores son los que se muestran a continuación.

Factor de esbeltez:

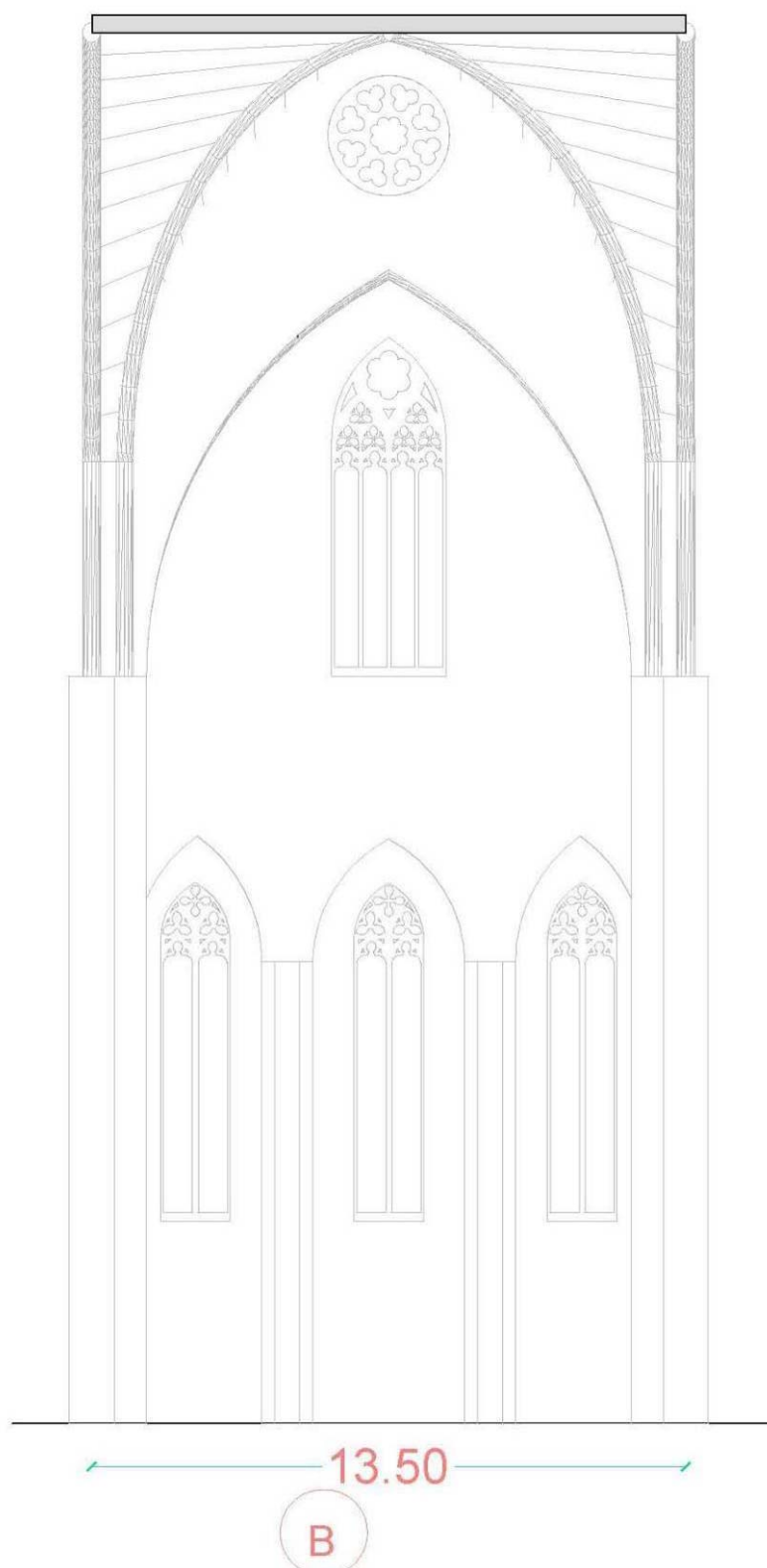


NAVE CENTRAL 1: FACTOR DE ESBELTEZ ($H1/V1$); **Fe1= 2,27**

NAVE LATERAL 2: FACTOR DE ESBELTEZ ($H2/V2$); **Fe2= 3,80**

Fig. 6.55. Sección transversal de la Catedral de Gerona. Factor de esbeltez. Autor: Juan M. Medina.

Factor de transparencia:



NAVE CENTRAL: FACTOR TRANSPARENCIA (VANO/MURO) $F_{tm} = 11,88$

NAVE CENTRAL: FACTOR TRANSPARENCIA TOTAL (VANO/VOLUMEN) $F_{tT} = 0,72$

Fig. 6.56. Sección transversal de Gerona. Factor de Transparencia. Autor: Juan M. Medina.

6.2.4 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. OBTENCIÓN DE DATOS LUMÍNICOS

Los datos obtenidos para la catedral en los distintos días del año 1600 son los que arroja el programa informático para cada punto censado y a las 4 horas del día.

Los valores obtenidos corresponden a una iluminación, tal como ya describimos, con cielo CIE, con valor de iluminación difusa correspondiente a la latitud en la que se encuentra la catedral y con un factor de filtrado del vidrio "a priori" del 40% para poder tener unos valores uniformes entre las distintas catedrales uniformes entre las distintas catedrales y poder compararlas entre sí.

Posteriormente, y para obtener datos ciertos de iluminación con las vidrieras que realmente existen que podamos **comparar con la iluminación actual de la catedral**, tomamos las medidas de ciertos puntos de la misma que consideramos "estables" a lo largo del tiempo y que no habían sufrido variaciones por las intervenciones acaecidas en su interior. Comparamos los valores de iluminación de esos puntos tomados in situ el día de la medición actual con los que nos arrojaba el programa informático. Esta sencilla división nos facilita un **factor de escala** que equivale al **factor de filtrado** real de la luz por culpa de las vidrieras y que, aplicado de manera general al resto de puntos de la catedral nos da el valor real de iluminación en cada punto censado.

Los puntos escogidos en esta catedral como "puntos estables" fueron los siguientes:

1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y el factor de escala (factor de filtrado) obtenido **0.076**.

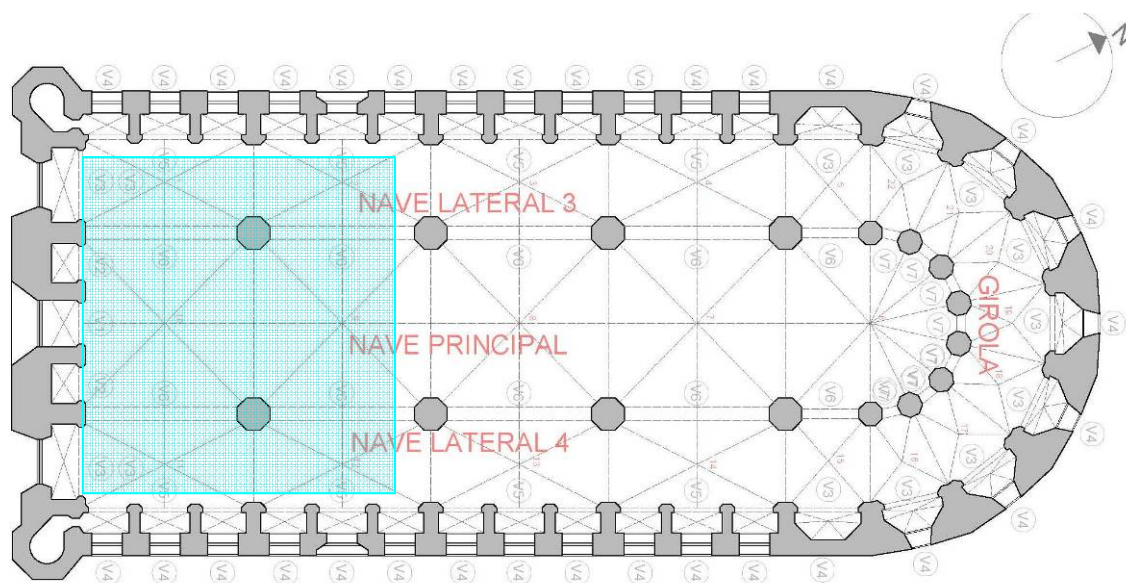


Fig. 6.57. Puntos estables de la Basílica de Santa María del Mar, tomados para la obtención del factor de escala. Autor: Juan M. Medina

21 MARZO 1600									
F.ESCALA 0,07625	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escala do	12:00	Escala do	14:00	Escala do	16:00	Escala do
NAVE 2 (NORTE)	1	268,00	20,51	297,00	22,72	297,00	22,72	308,00	23,57
	2	191,00	14,61	196,00	15,00	214,00	16,37	248,00	18,97
	3	191,00	14,61	197,00	15,07	217,00	16,60	232,00	17,75
	4	178,00	13,62	183,00	14,00	202,00	15,46	219,00	16,76
	5	182,00	13,93	190,00	14,54	214,00	16,37	249,00	19,05
NAVE CENTRAL 1	6	380,00	29,07	375,00	28,69	367,00	28,08	393,00	30,07
	7	243,00	18,59	233,00	17,83	220,00	16,83	220,00	16,83
	8	219	16,76	210	16,07	198	15,15	197	15,07
	9	265,00	20,28	258,00	19,74	250,00	19,13	260,00	19,89
	10	230,00	17,60	257,00	19,66	237,00	18,13	247,00	18,90
NAVE SUR (3)	11	340,00	26,01	339,00	25,94	313,00	23,95	305,00	23,34
	12	260,00	19,89	246,00	18,82	211,00	16,14	193,00	14,77
	13	248,00	18,97	234,00	17,90	195,00	14,92	180,00	13,77
	14	251,00	19,20	235,00	17,98	190,00	14,54	168,00	12,85
	15	294,00	22,49	226,00	17,29	179,00	13,70	163,00	12,47
GIROLA INTERIOR 7	16	248,00	18,97	214,00	16,37	170,00	13,01	148,00	11,32
	17	217,00	16,60	182,00	13,93	148,00	11,32	130,00	9,95
	18	243,00	18,59	216,00	16,53	190,00	14,54	180,00	13,77
	19	254,00	19,43	222,00	16,99	209,00	15,99	231,00	17,67
	20	229,00	17,52	166,00	12,70	167,00	12,78	196,00	15,00
	21	176,00	13,47	173,00	13,24	187,00	14,31	204,00	15,61
	22	133,00	10,18	141,00	10,79	163,00	12,47	189,00	14,46

Fig. xxx. Valores de iluminación de la Sta María. 21 de marzo de 1600. Autor: Juan M. Medina.

21 JUNIO 1600									
F.ESCALA 0,07625	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escala do	12:00	Escala do	14:00	Escala do	16:00	Escala do
NAVE 2 (NORTE)	1	243,00	18,59	296,00	22,65	313,00	23,95	328,00	25,10
	2	193,00	14,77	216,00	16,53	240,00	18,36	263,00	20,12
	3	195,00	14,92	214,00	16,37	244,00	18,67	259,00	19,82
	4	185,00	14,15	199,00	15,23	225,00	17,22	249,00	19,05
	5	197,00	15,07	209,00	15,99	230,00	17,60	267,00	20,43
NAVE CENTRAL 1	6	394,00	30,15	383,00	29,30	379,00	29,00	382,00	29,23
	7	241,00	18,44	238,00	18,21	236,00	18,06	238,00	18,21
	8	216	16,53	217	16,60	218	16,68	216	16,53
	9	255,00	19,51	268,00	20,51	264,00	20,20	266,00	20,35
	10	209,00	15,99	250,00	19,13	249,00	19,05	250,00	19,13
NAVE SUR (3)	11	238,00	18,21	348,00	26,63	329,00	25,17	308,00	23,57
	12	245,00	18,75	249,00	19,05	212,00	16,22	195,00	14,92
	13	247,00	18,90	241,00	18,44	211,00	16,14	194,00	14,84
	14	246,00	18,82	240,00	18,36	208,00	15,91	184,00	14,08
	15	253,00	19,36	230,00	17,60	190,00	14,54	168,00	12,85
GIROLA INTERIOR 7	16	258,00	19,74	222,00	16,99	180,00	13,77	164,00	12,55
	17	256,00	19,59	196,00	15,00	160,00	12,24	148,00	11,32
	18	273,00	20,89	232,00	17,75	204,00	15,61	240,00	18,36
	19	274,00	20,96	243,00	18,59	225,00	17,22	293,00	22,42
	20	206,00	15,76	191,00	14,61	187,00	14,31	216,00	16,53
	21	199,00	15,23	195,00	14,92	212,00	16,22	232,00	17,75
	22	153,00	11,71	163,00	12,47	186,00	14,23	220,00	16,83

Fig. 6.58. Valores de iluminación de la Sta María. 21 de junio de 1600. Autor: Juan M. Medina.

21 SEPTIEMBRE 1600									
F.ESCALA 0,07625	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escala do	12:00	Escala do	14:00	Escala do	16:00	Escala do
NAVE 2 (NORTE)	1	261,00	19,97	303,00	23,18	299,00	22,88	304,00	23,26
	2	187,00	14,31	202,00	15,46	215,00	16,45	243,00	18,59
	3	186,00	14,23	195,00	14,92	210,00	16,07	232,00	17,75
	4	173,00	13,24	180,00	13,77	202,00	15,46	219,00	16,76
	5	182,00	13,93	187,00	14,31	210,00	16,07	240,00	18,36
NAVE CENTRAL 1	6	415,00	31,75	371,00	28,39	363,00	27,77	388,00	29,69
	7	261,00	19,97	228,00	17,44	217,00	16,60	224,00	17,14
	8	236	18,06	207	15,84	194	14,84	200	15,30
	9	282,00	21,58	260,00	19,89	257,00	19,66	261,00	19,97
	10	243,00	18,59	260,00	19,89	241,00	18,44	241,00	18,44
NAVE SUR (3)	11	345,00	26,40	341,00	26,09	323,00	24,71	300,00	22,95
	12	253,00	19,36	242,00	18,52	251,00	19,20	192,00	14,69
	13	252,00	19,28	233,00	17,83	188,00	14,38	180,00	13,77
	14	258,00	19,74	228,00	17,44	183,00	14,00	165,00	12,62
	15	292,00	22,34	230,00	17,60	173,00	13,24	167,00	12,78
GIROLA INTERIOR 7	16	314,00	24,02	209,00	15,99	165,00	12,62	149,00	11,40
	17	218,00	16,68	174,00	13,31	141,00	10,79	135,00	10,33
	18	244,00	18,67	209,00	15,99	185,00	14,15	183,00	14,00
	19	252,00	19,28	216,00	16,53	205,00	15,68	219,00	16,76
	20	214,00	16,37	162,00	12,39	165,00	12,62	190,00	14,54
	21	178,00	13,62	169,00	12,93	184,00	14,08	203,00	15,53
	22	137,00	10,48	138,00	10,56	159,00	12,17	188,00	14,38

Fig. 6.59. Valores de iluminación de la Sta María. 21 de septiembre de 1600. Autor: Juan M. Medina.

21 DICIEMBRE 1600									
F.ESCALA 0,07625	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escala do	12:00	Escala do	14:00	Escala do	16:00	Escala do
NAVE 2 (NORTE)	1	255,00	19,51	280,00	21,42	283,00	21,65	288,00	22,04
	2	225,00	17,22	203,00	15,53	228,00	17,44	203,00	15,53
	3	236,00	18,06	191,00	14,61	226,00	17,29	193,00	14,77
	4	214,00	16,37	161,00	12,32	168,00	12,85	175,00	13,39
	5	204,00	15,61	189,00	14,46	179,00	13,70	187,00	14,31
NAVE CENTRAL 1	6	396,00	30,30	381,00	29,15	386,00	29,53	347,00	26,55
	7	245,00	18,75	215,00	16,45	224,00	17,14	202,00	15,46
	8	224	17,14	193	14,77	208	15,91	182	13,93
	9	270,00	20,66	265,00	20,28	249,00	19,05	246,00	18,82
	10	222,00	16,99	245,00	18,75	243,00	18,59	267,00	20,43
NAVE SUR (3)	11	339,00	25,94	337,00	25,78	311,00	23,80	369,00	28,23
	12	259,00	19,82	241,00	18,44	232,00	17,75	198,00	15,15
	13	253,00	19,36	219,00	16,76	219,00	16,76	169,00	12,93
	14	259,00	19,82	216,00	16,53	181,00	13,85	183,00	14,00
	15	251,00	19,20	214,00	16,37	178,00	13,62	167,00	12,78
GIROLA INTERIOR 7	16	272,00	20,81	204,00	15,61	166,00	12,70	180,00	13,77
	17	195,00	14,92	165,00	12,62	139,00	10,64	132,00	10,10
	18	223,00	17,06	206,00	15,76	178,00	13,62	178,00	13,62
	19	243,00	18,59	217,00	16,60	196,00	15,00	197,00	15,07
	20	184,00	14,08	180,00	13,77	149,00	11,40	155,00	11,86
	21	201,00	15,38	173,00	13,24	169,00	12,93	166,00	12,70
	22	167,00	12,78	142,00	10,86	130,00	9,95	141,00	10,79

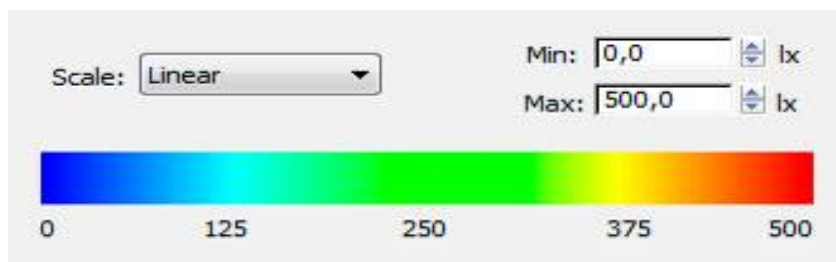
Fig. 6.60. Valores de iluminación de la Sta María. 21 de diciembre de 1600. Autor: Juan M. Medina.

6.2.5 CATEDRAL DE SANTA MARÍA DEL MAR. TRASLACIÓN DE DATOS A GRÁFICAS LUMÍNICAS: ILUMINACIÓN INDIRECTA.

La aplicación del programa informático sobre el modelo en 3D de la catedral original gótica nos permite obtener, además de valores puntuales en cada punto censado, unas interesantes gráficas de color que representan la iluminación general de la catedral en un momento dado, pudiendo establecer un análisis a simple vista de lo que ocurre en cada lugar de la misma.

En este caso no se toman los valores “escalados” de iluminación sino los correspondientes a la aplicación del programa con el vidrio “tipo”, con la selección de un vidrio traslúcido igual para todas las catedrales, para de ese modo poder posteriormente compararlas entre sí.

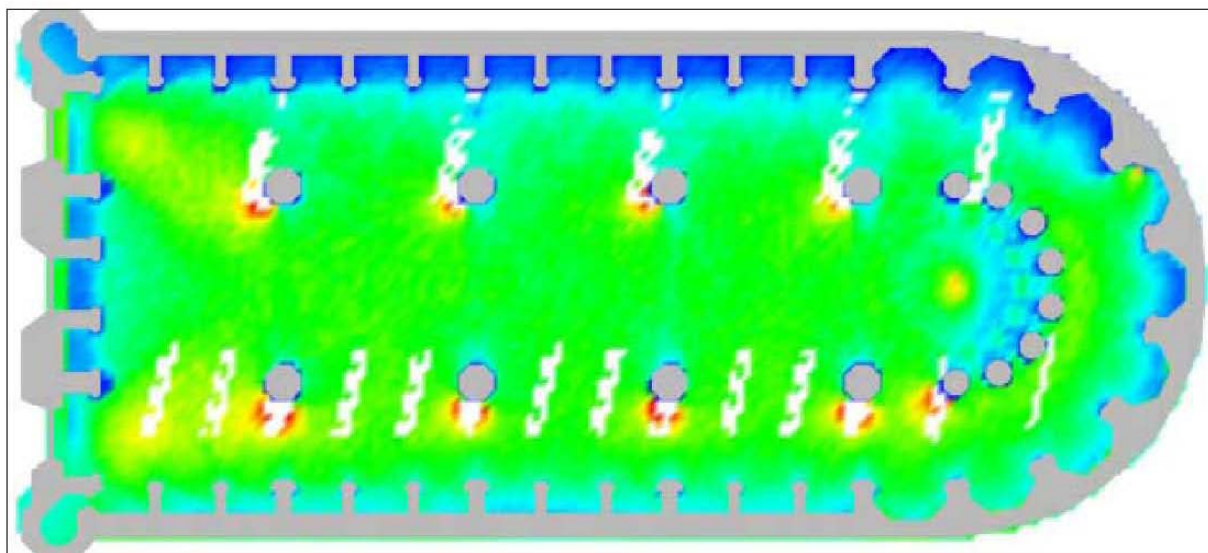
Para la catedral de Sevilla se ha tomado una escala de graduación de color que va desde los 0 luxes y los 500 luxes. (Fig. 6.61)



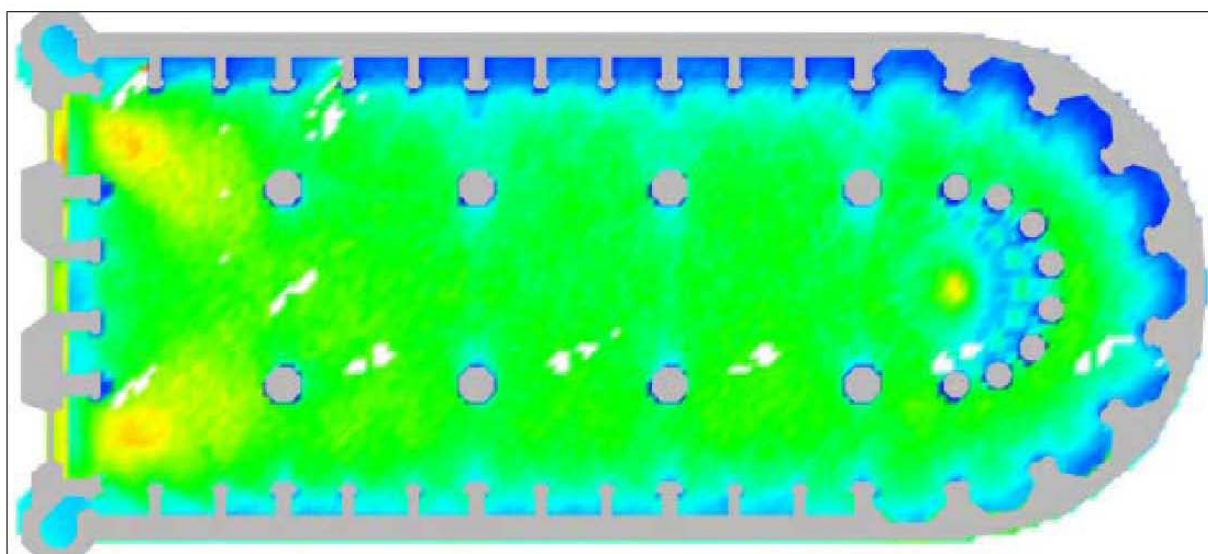
F. 6.61. Gradiente de color utilizado para la basílica de Santa María del Mar.

Las gráficas lumínicas resultantes para los cuatro días del año y las cuatro horas del día son las siguientes:

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



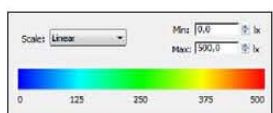
PLANTA 10:00



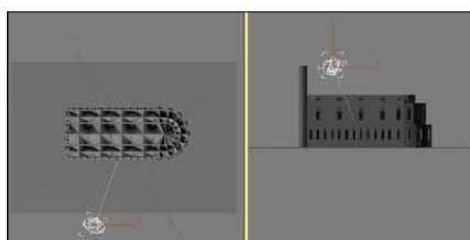
PLANTA 12:00

21 DE MARZO 10:00 HORAS

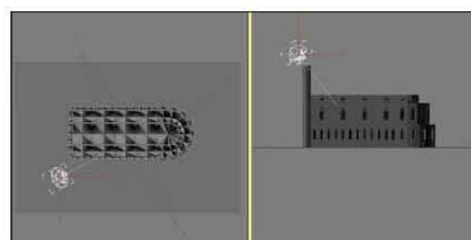
21 DE MARZO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

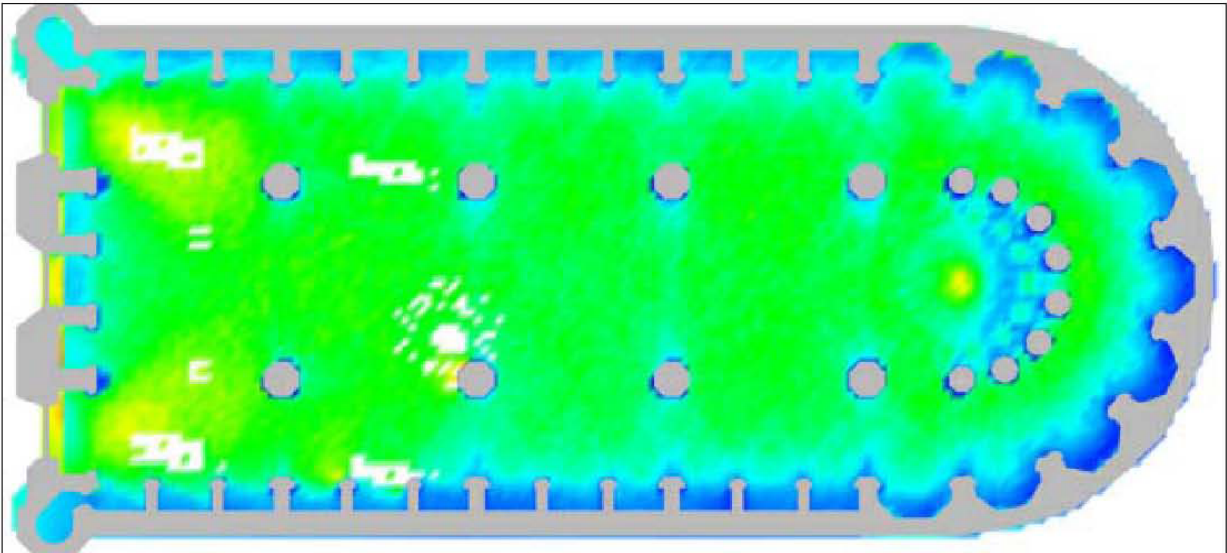
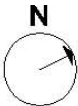


SITUACIÓN SOLAR

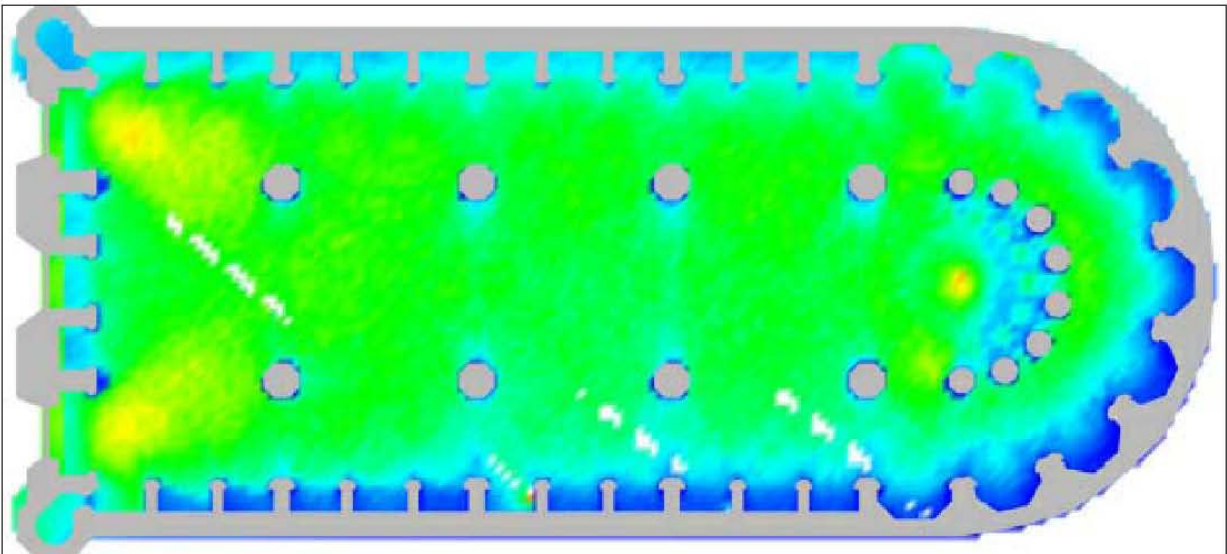


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



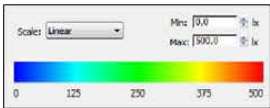
PLANTA 14:00



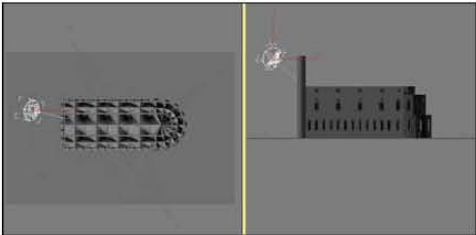
PLANTA 16:00

21 DE MARZO 14:00 HORAS

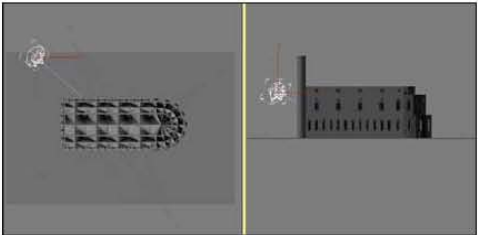
21 DE MARZO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

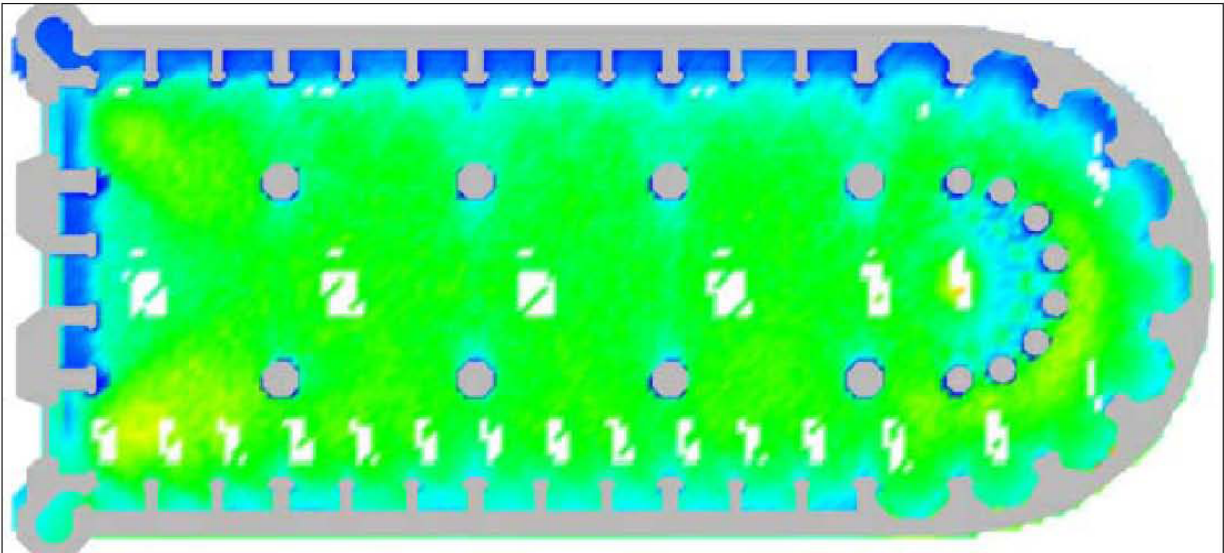
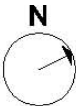


SITUACIÓN SOLAR

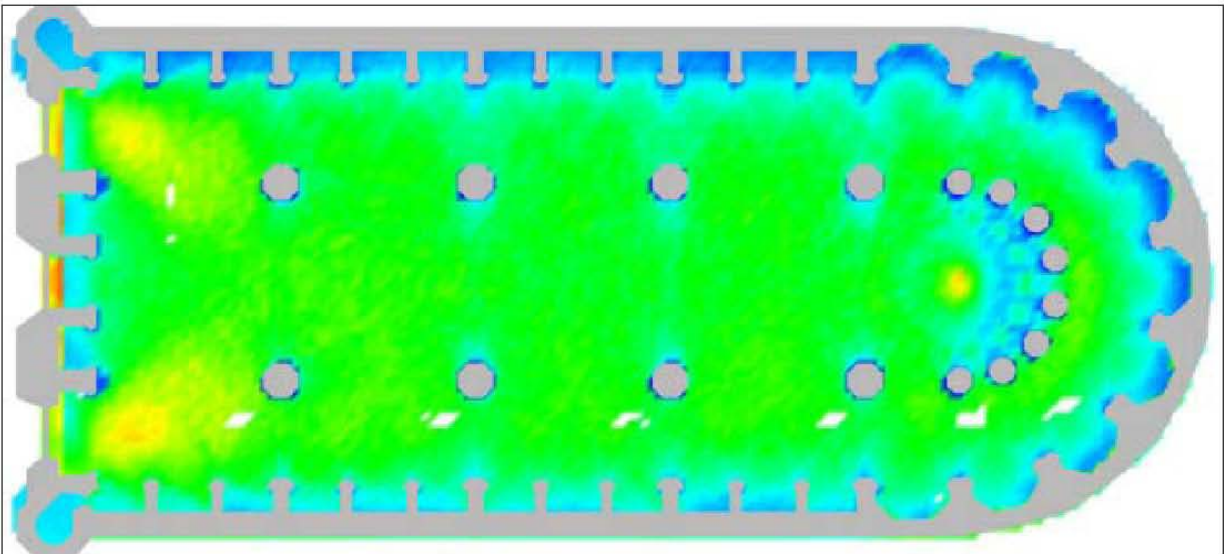


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



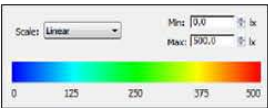
PLANTA 10:00



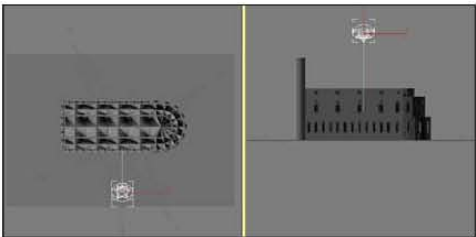
PLANTA 12:00

21 DE JUNIO 10:00 HORAS

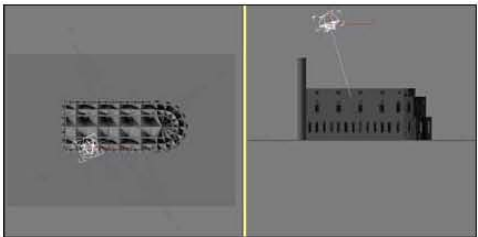
21 DE JUNIO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

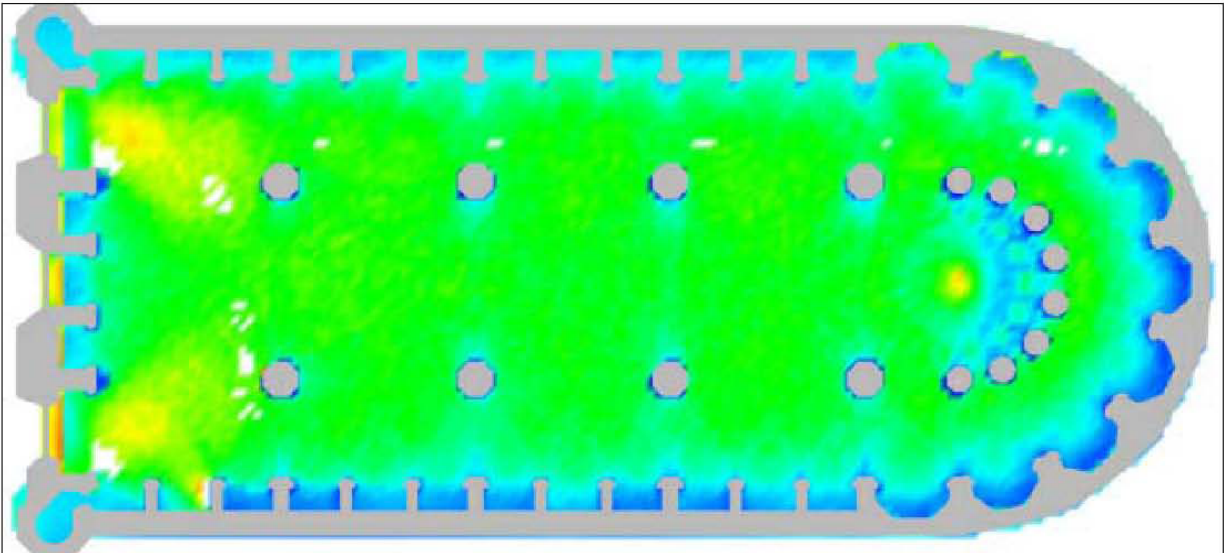
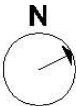


SITUACIÓN SOLAR

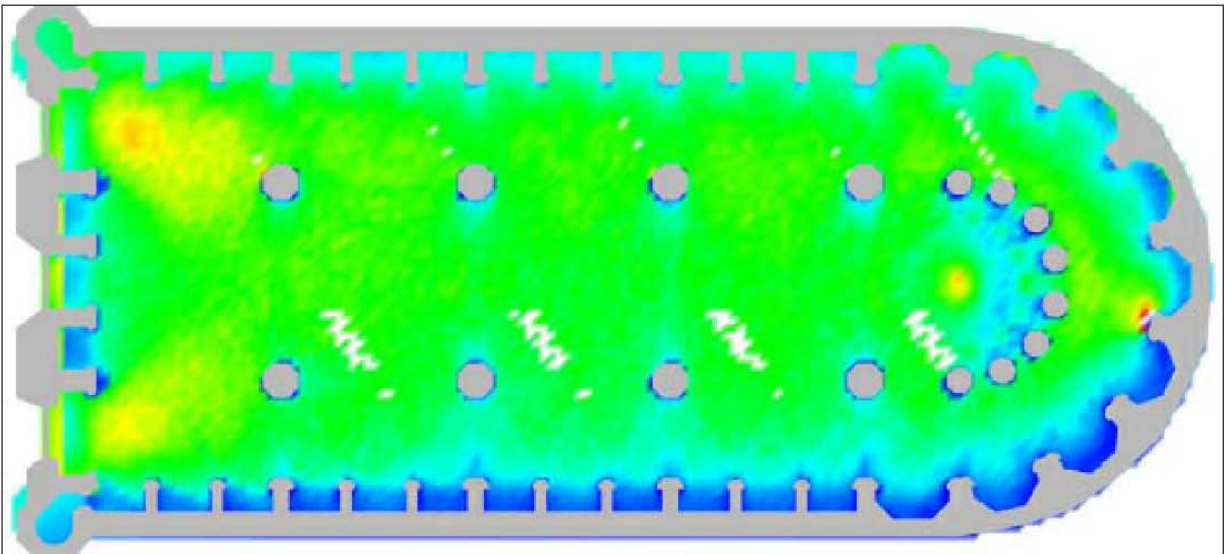


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



PLANTA 14:00



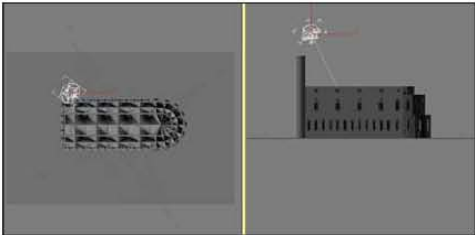
PLANTA 16:00

21 DE JUNIO 14:00 HORAS

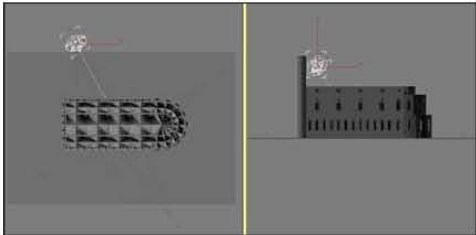
21 DE JUNIO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

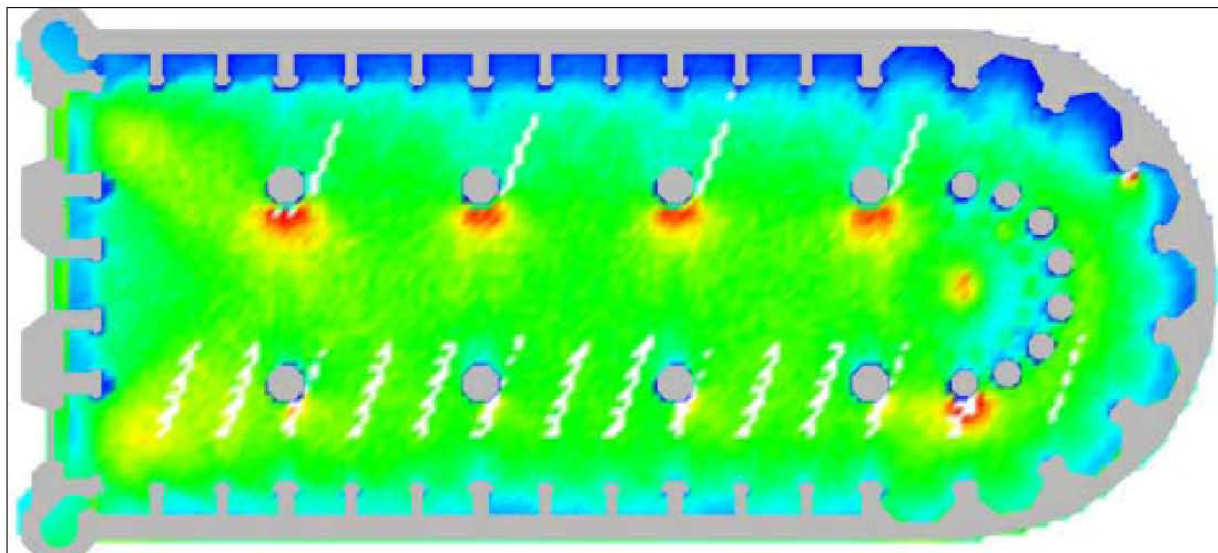


SITUACIÓN SOLAR

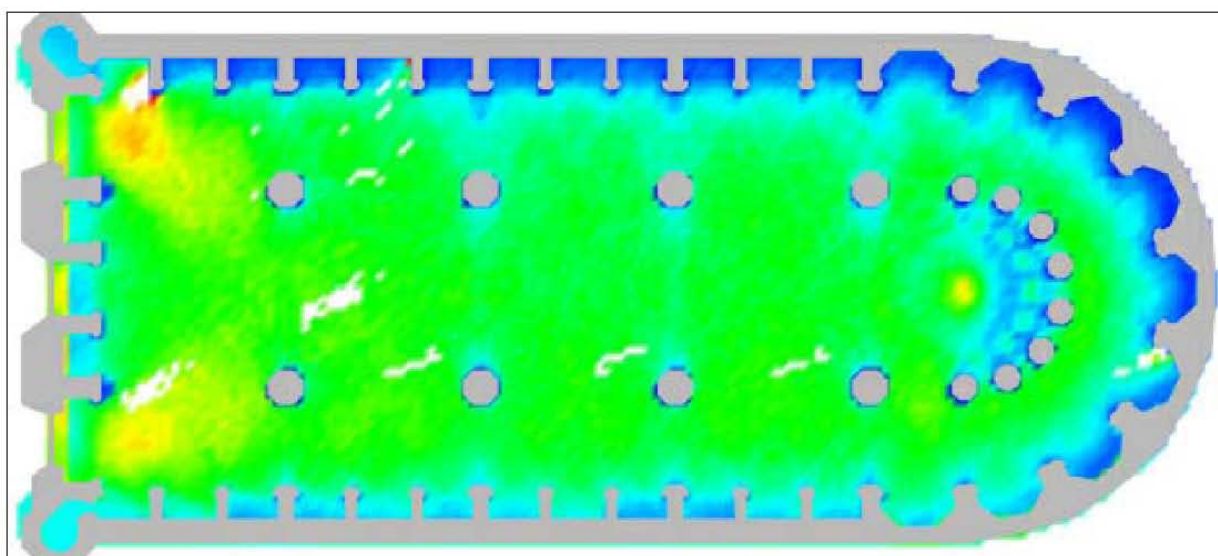


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



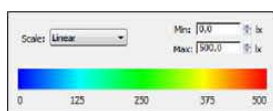
PLANTA 10:00



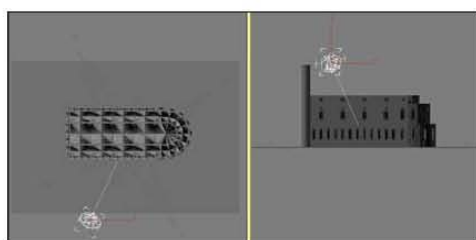
PLANTA 12:00

21 DE SEPT. 10:00 HORAS

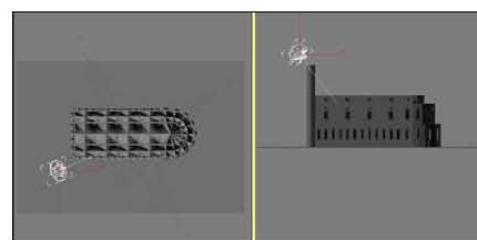
21 DE SEPT. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

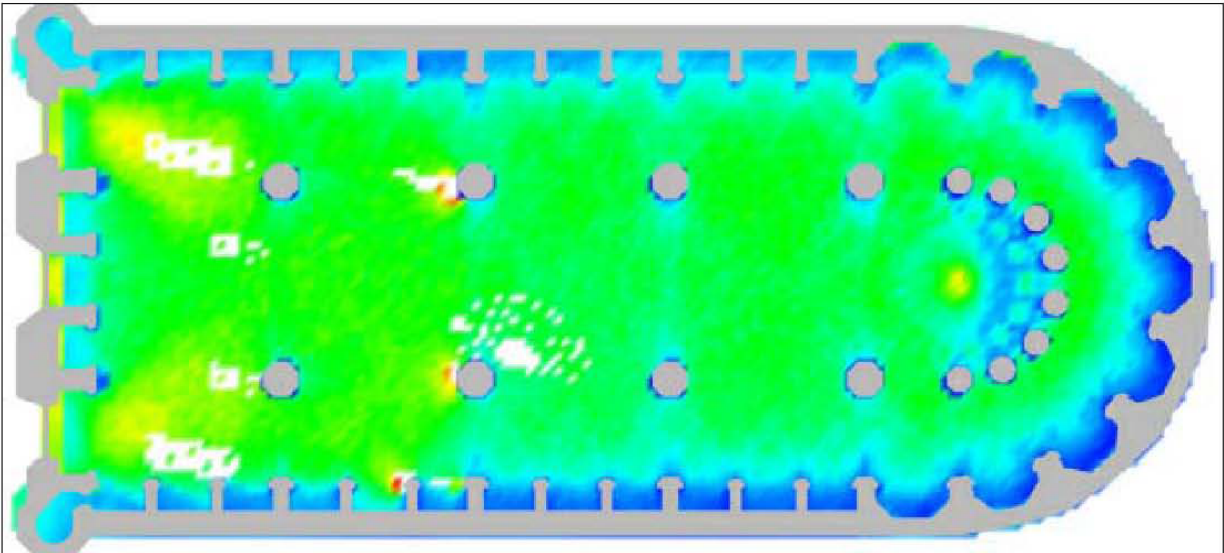
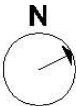


SITUACIÓN SOLAR

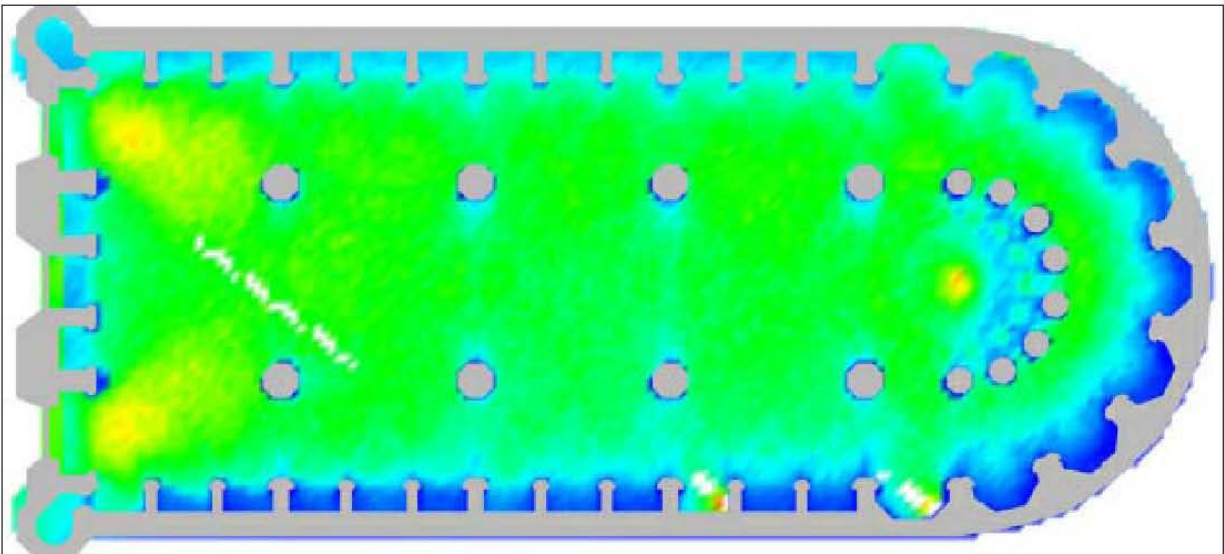


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



PLANTA 14:00



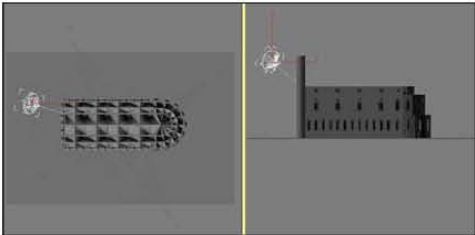
PLANTA 16:00

21 DE SEPT. 14:00 HORAS

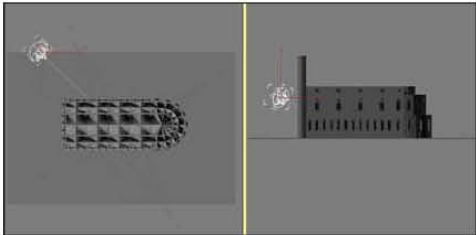
21 DE SEPT. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

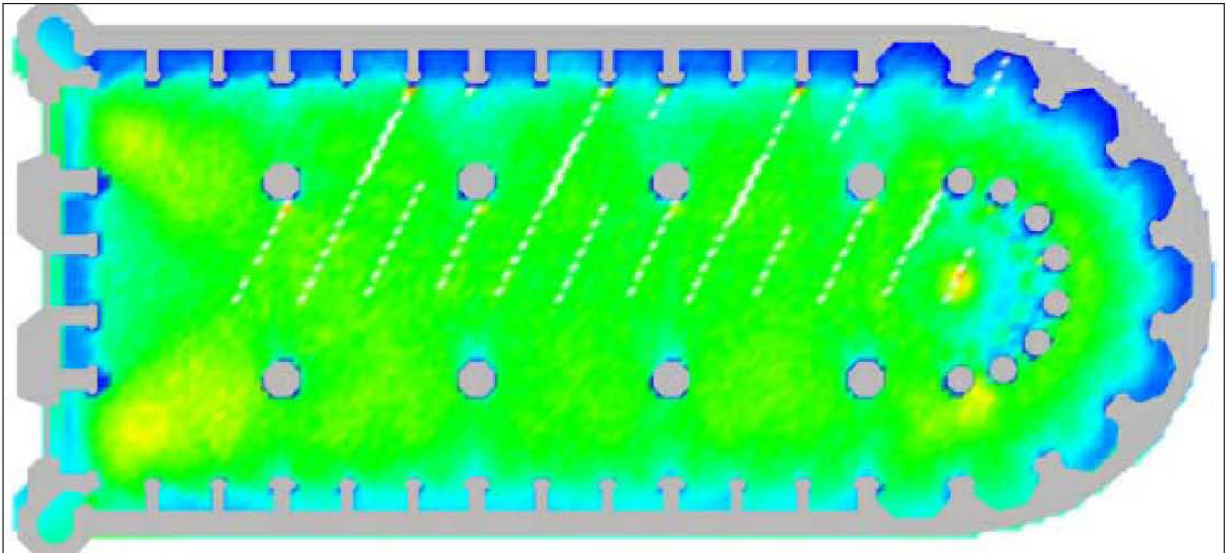
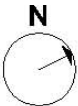


SITUACIÓN SOLAR

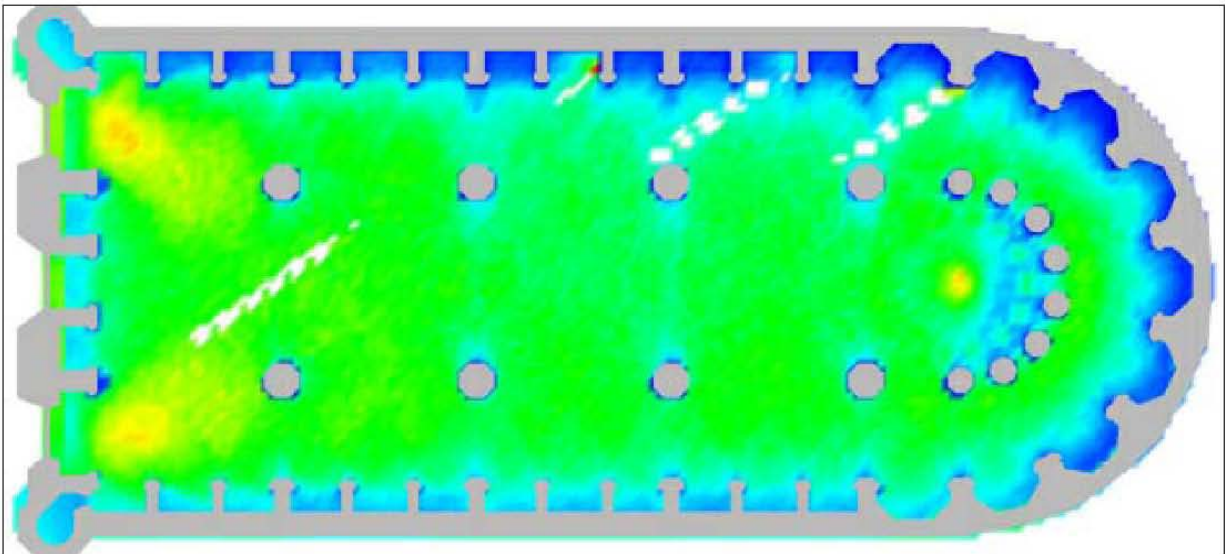


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



PLANTA 10:00



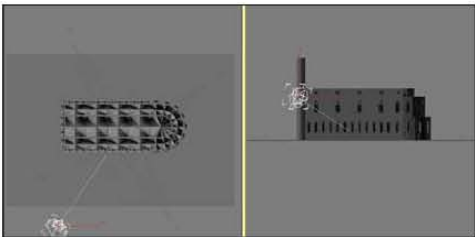
PLANTA 12:00

21 DE DIC. 10:00 HORAS

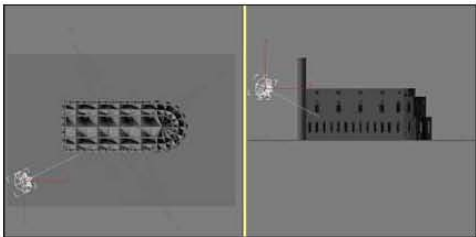
21 DE DIC. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

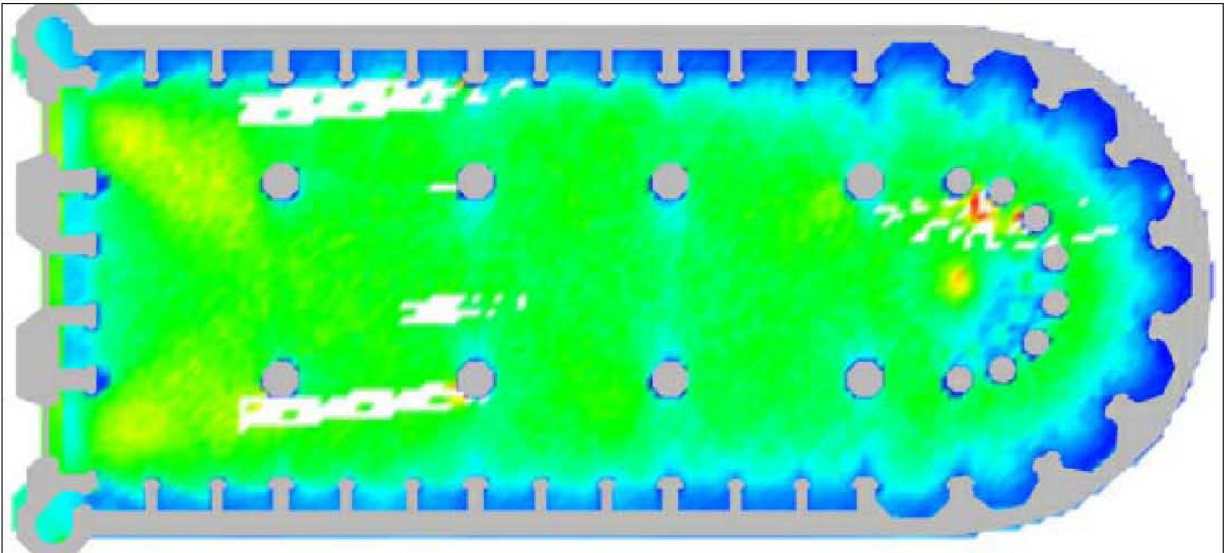
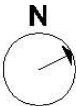


SITUACIÓN SOLAR

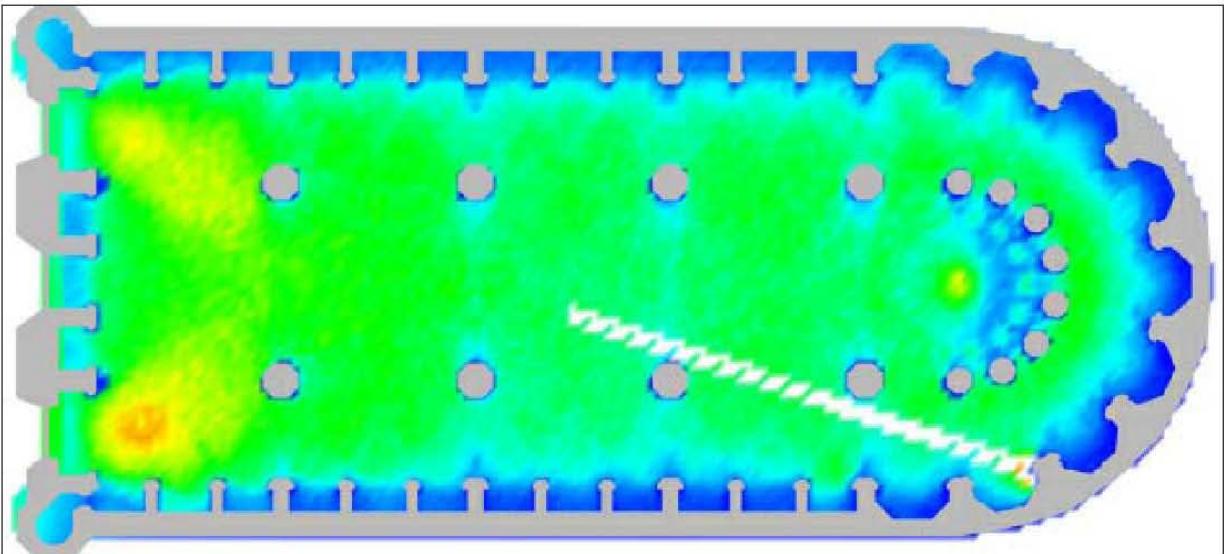


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



PLANTA 14:00



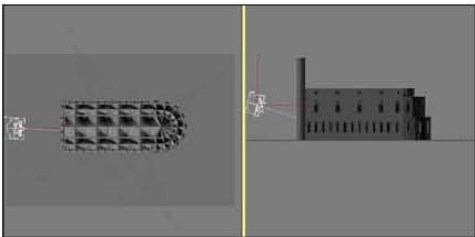
PLANTA 16:00

21 DE DIC. 14:00 HORAS

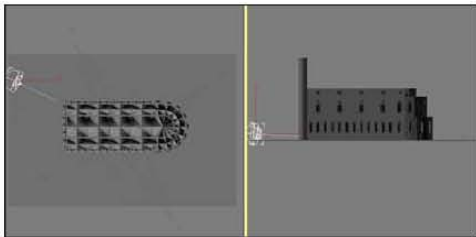
21 DE DIC. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES



SITUACIÓN SOLAR



SITUACIÓN SOLAR

6.2.6 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN GENERAL DE LA CATEDRAL. ILUMINACIÓN INDIRECTA.

En este apartado estudiaremos los valores numéricos obtenidos en los distintos puntos de la catedral con su factor de escalado y las gráficas que se han extractado a partir de estos para, de ese modo, poder analizar de manera pormenorizada la iluminación en cada nave de la catedral y la comparación entre estas.

6.2.6.1 NAVE CENTRAL.

Nave de iluminación extremadamente constante en primavera en lo referente a la iluminación general por punto a lo largo del día, determinada fundamentalmente por la constancia de iluminación general por punto a lo largo del día, ya que los valores de iluminación media por punto dentro de la nave, es decir, la suma de iluminación total en la nave dividido por el número de puntos que esta posee oscila entre los 19,46 luxes de las 14:00 horas como punto más bajo y los 20,46 de las 10:00.

En verano se repite el esquema general de iluminación de primavera, con valores de 10:00 a 16:00 entre 20,21 y 20,75, volviendo a mostrar una constancia en términos de iluminación media inusitada.

En otoño e invierno el esquema es muy parecido a los anteriores, con oscilaciones de apenas 2 luxes entre los valores medios más altos y los más bajos pero con curiosidades como que el momento de mayor iluminación media de todos se produce a las 10:00 de la mañana del 21 de diciembre, con 21,99 luxes. En todo caso, las diferencias de iluminación global se pueden considerar despreciables y no marcan más tendencia que la de la homogeneidad de iluminación media a lo largo de los distintos momentos del año.

21 de marzo: La gráfica de primavera (fig. 6.62) a las 10:00 horas nos muestra como la iluminación no es tan homogénea si la estudiamos en su desarrollo de los pies hacia el presbiterio. Se inicia con valores de entre 17,00 y 19,00 luxes a los pies y se mantiene de manera estable a lo largo de la nave hasta alcanzar el presbiterio, en ese momento sufre un brusco repunte que le lleva hasta prácticamente los 30 luxes de iluminación puntual.

Este esquema de gráfica se repite de manera prácticamente idéntica para las otras 4 horas del día mostrando la homogeneidad a lo largo del día que ya habíamos descrito en el punto anterior.

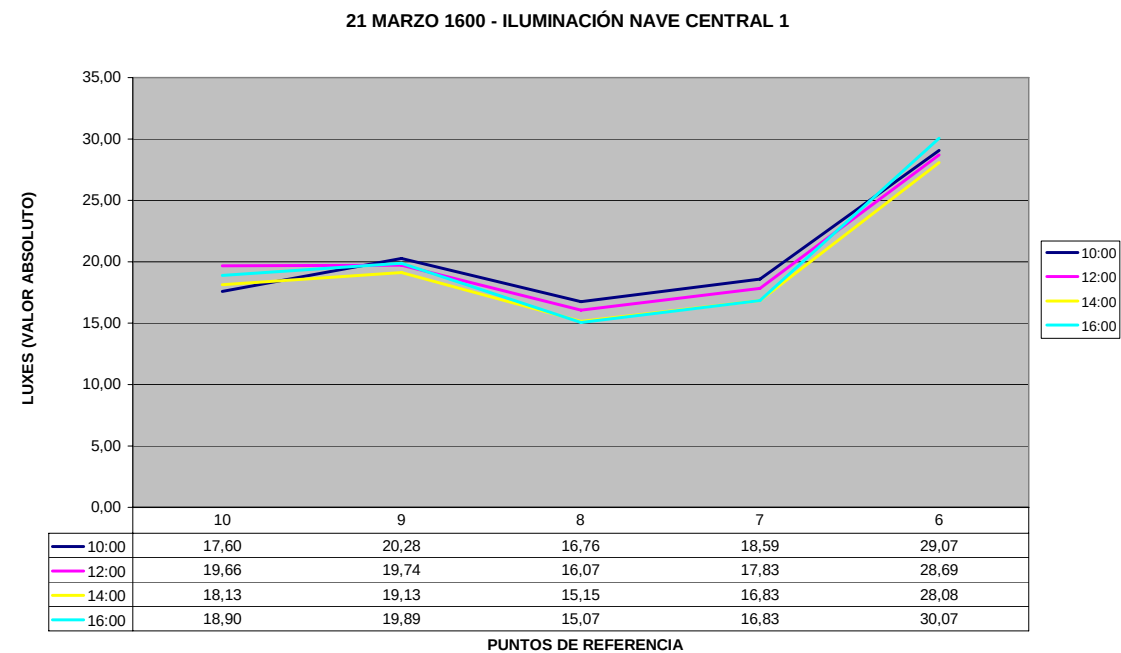


Fig. 6.62. Gráfica de la nave 1. 21 marzo 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de junio: Gráfica que se comporta de manera similar a la de primavera en lo que se refiere a su intensidad según el desarrollo longitudinal de la nave. Con valores pico en el crucero de 30 luxes.

En esta gráfica podemos comprobar cómo el hecho de la homogeneidad a lo largo del día se polariza hasta juntar las cuatro gráficas en una sola.

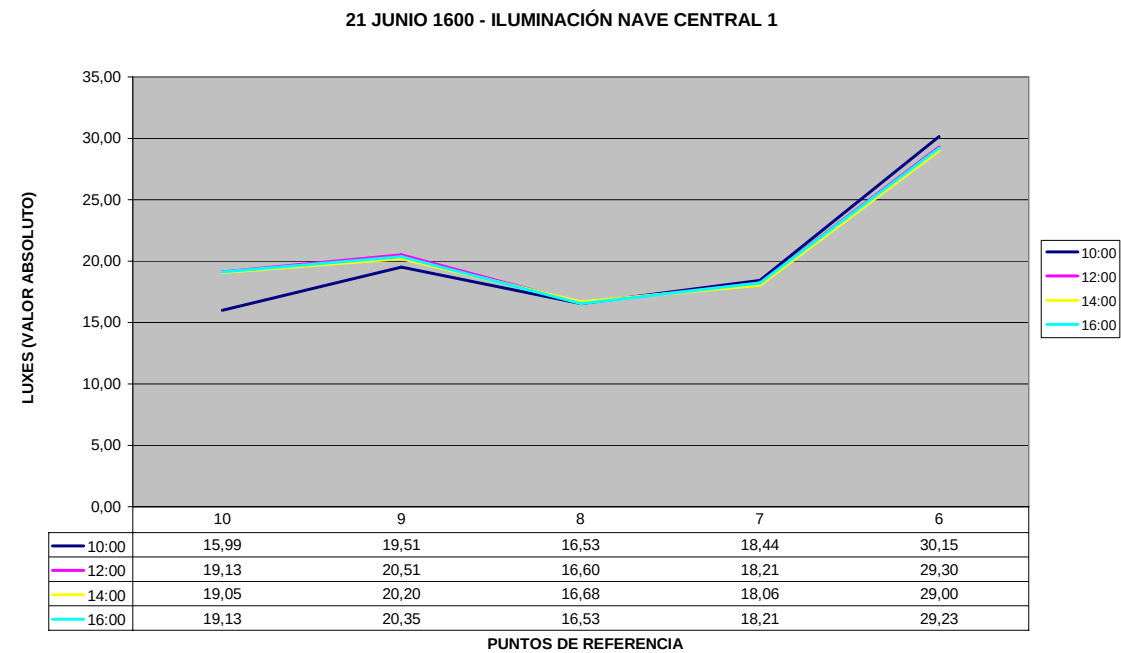


Fig. 6.63. Gráfica de la nave 1. 21 junio 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de septiembre: La gráfica de otoño (Fig. 6.64) es prácticamente idéntica a la de primavera por lo que la descripción de valores se podría asemejar a esta en todos los extremos siendo de nuevo los valores más representativos los que se producen en el presbiterio.

Las líneas de tendencia, al igual que en el resto de meses, siguen estables y juntas con lo que la iluminación general del espacio sigue siendo igual de 10:00 a 16:00 horas.

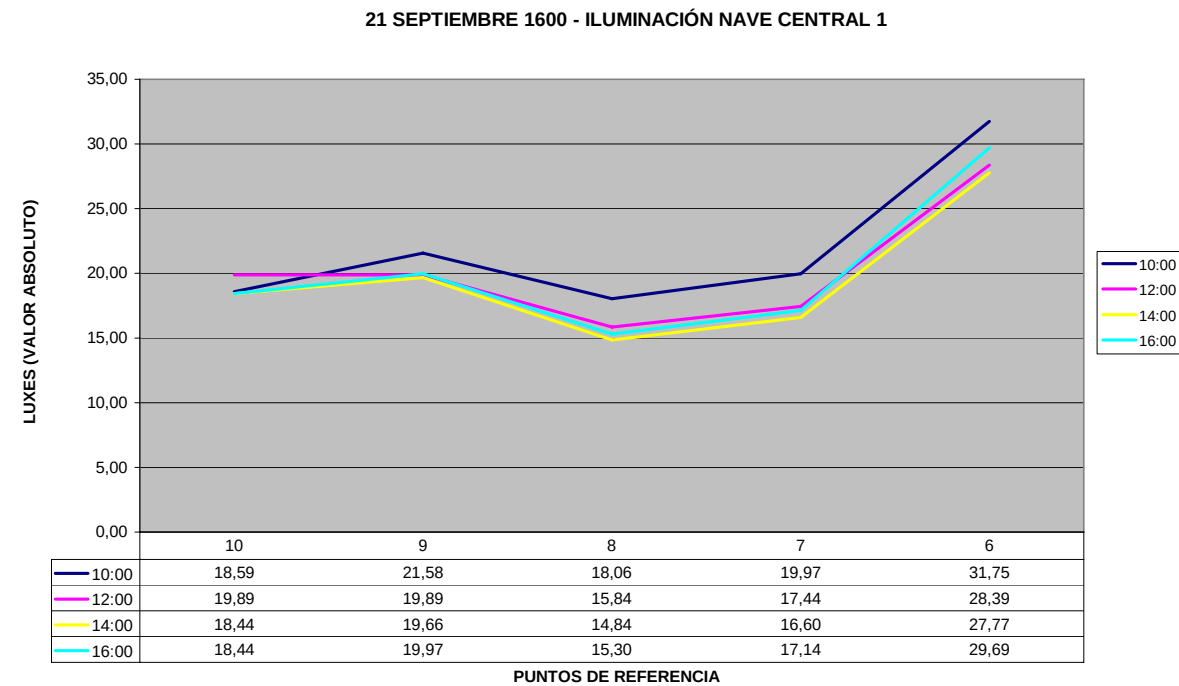


Fig. 6.64. Gráfica de la nave 1. 21 septiembre 1600. Autor: Juan M. Medina

21 de diciembre: La gráfica de invierno (Fig. 6.65) se comporta como las de primavera y otoño con la diferencia de que los valores son ligeramente más bajos en general.

Sigue el patrón de aumentos de los pies hacia el crucero con el punto singular del presbiterio como máximo exponente de la iluminación de la nave. Parece que el esquema de sección de la catedral favorece esa manifestación particular de la zona más importante de la catedral que, como veremos más adelante, no es el sitio de iluminación más preponderante en todas las muestras.

A las distintas horas del día tenemos de nuevo líneas de comportamiento idénticas.

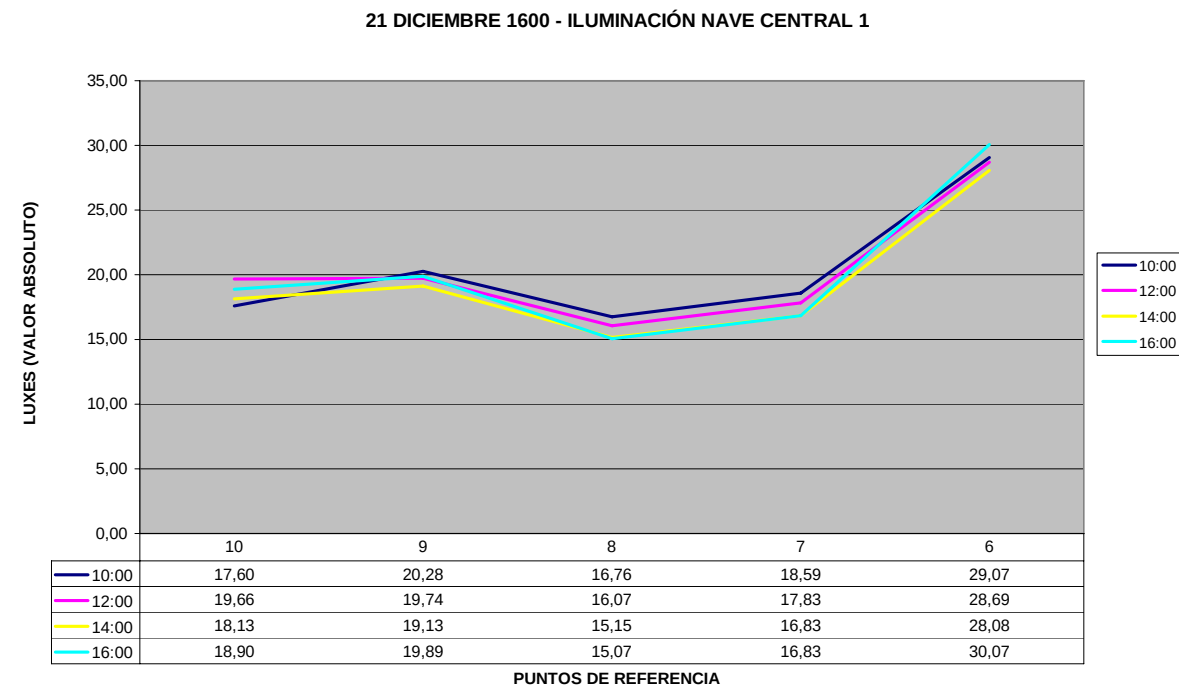


Fig. 6.65. Gráfica de la nave 1. 21 diciembre 1600. Autor: Juan M. Medina

6.2.6.2 RESTO DE NAVES LONGITUDINALES.

Si comparamos el resto de naves longitudinales de la catedral (Fig. 6.66 a Fig. 6.69), podemos observar patrones de comportamiento claros en lo que se refiere a la distribución de la intensidad lumínica a lo largo de los distintos espacios.

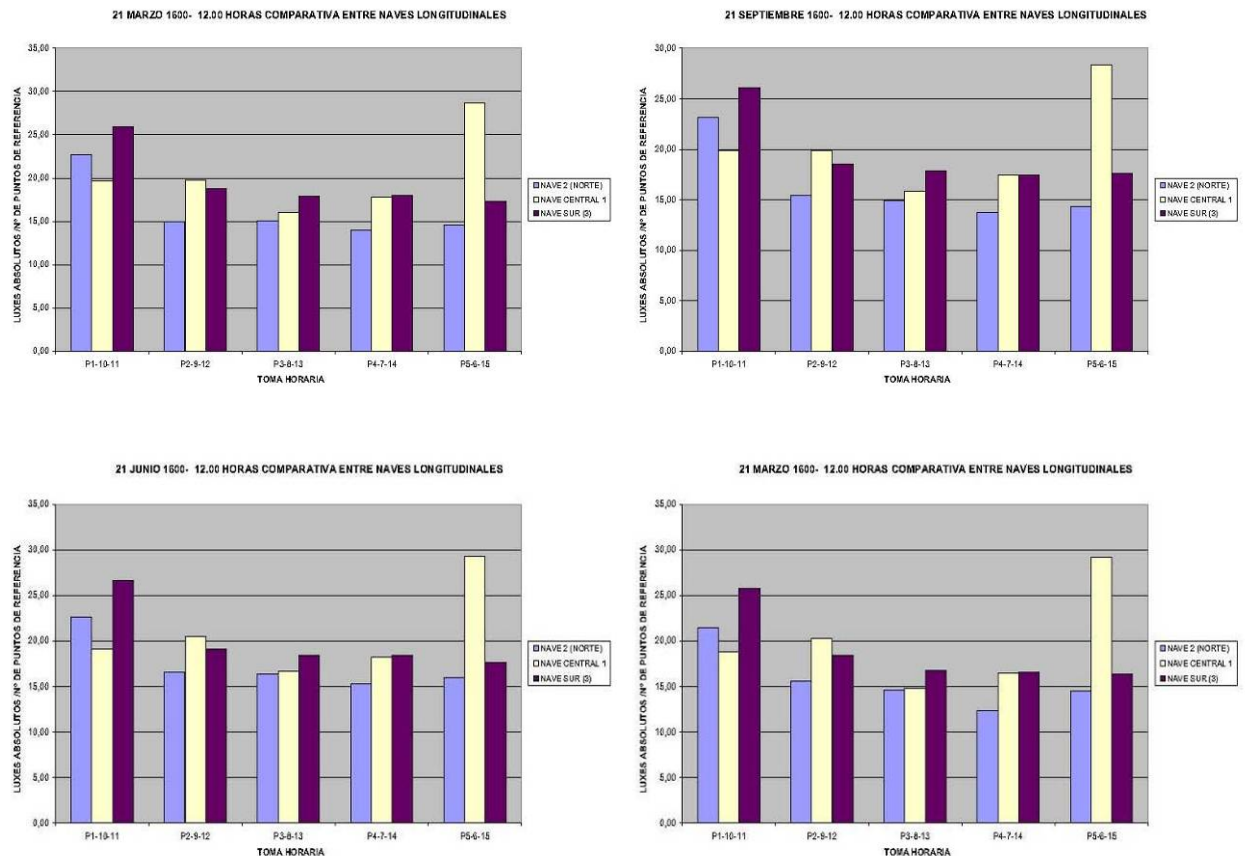


Fig. 66 a Fig. 6.69. Comparativa de valores de iluminación media por punto en las 3 naves longitudinales más importantes de la basílica de Santa María del Mar para los cuatro días del año y las 4 horas del día. Autor: Juan M. Medina

Si comenzamos el recorrido de los pies hacia el presbiterio, la nave sur es la que tiene más iluminación al principio del recorrido. Sin embargo, a medida que las naves van avanzando hacia el ábside, estas se van equilibrando en un camino casi paralelo, para encontrarse de manera casi igualada a mitad de nave. Es al final de este recorrido, en el presbiterio, donde la nave central alcanza un pico de iluminación extraordinario mientras que las otras dos naves permanecen en los valores medios que habían alcanzado con anterioridad.

Se podría decir que la estructura de la Basílica permite diferenciar este punto tan importante, magnificándolo y significándolo del resto de las naves longitudinales contiguas,

gracias a la configuración de nave sin crucero diferenciado tan propio del gótico catalán y de las estructuras sísmicas.

La nave norte, obtiene los valores globales más bajos de las longitudinales, mientras que la nave sur, hasta el pico final producido en la nave central, es la más iluminada de las tres.

Si particularizamos para cada nave longitudinal encontramos los siguientes gráficos:

Nave 2 (oeste):

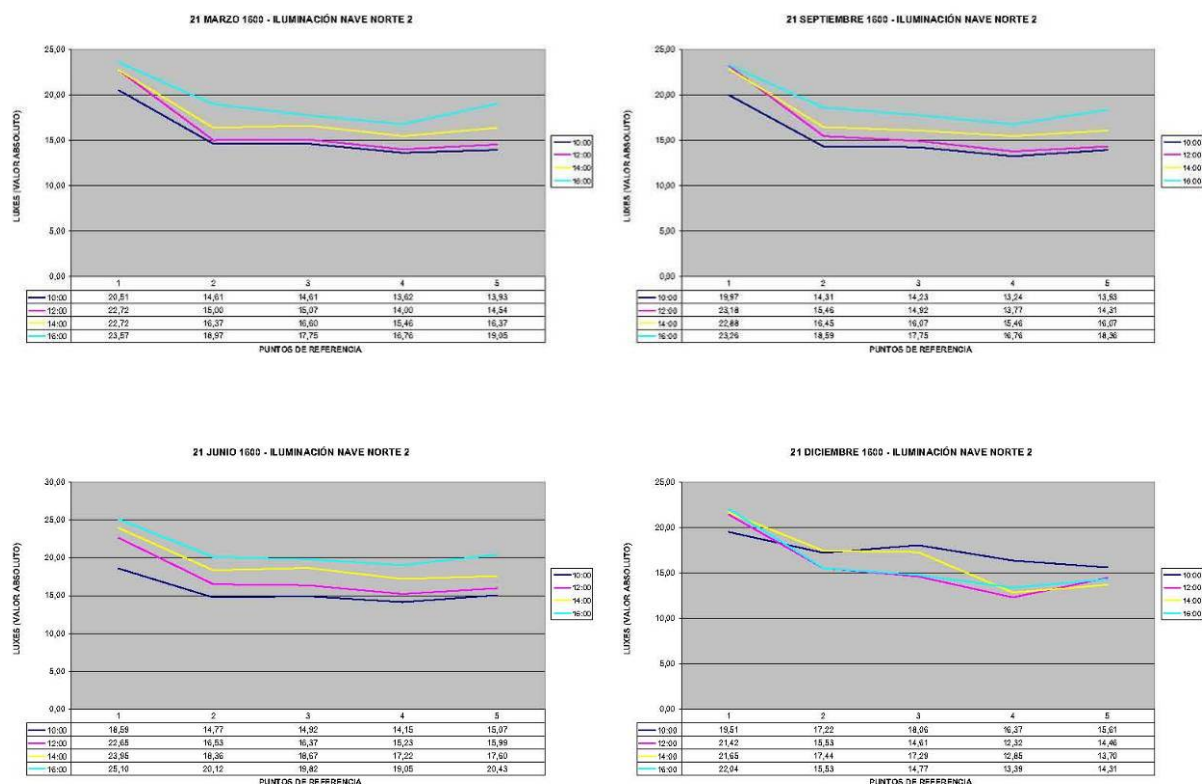


Fig. 6.70 a 6.73. Gráfica de iluminación de la nave 2. Autor: Juan M. Medina

En esta nave se detecta la particularidad que explicábamos en la comparación precedente. Mientras que la nave central avanza con ligeros ascensos hacia el presbiterio y sufre un brusco ascenso en este, en esta nave la iluminación se distribuye de forma templada y homogénea, naciendo de los pies de la iglesia con los valores más altos de iluminación, influenciada por los huecos situados en esta fachada, para desarrollarse de manera homogénea y continua hasta el punto situado al norte del presbiterio (punto 5), que no sufre ascenso brusco de ningún tipo sino todo lo contrario.

Algo significativo de esta nave es que la orientación de su ábside casi a un norte puro permite mayor iluminación por su fachada oeste que las que se encuentran orientadas al

este puro. Por esta razón, la nave lateral 2 (oeste) tiene valores de iluminación más representativos a medida que avanza el día y el sol tiende a ponerse (valores generales más acusados a las 16:00 horas).

Nave 3 (este):

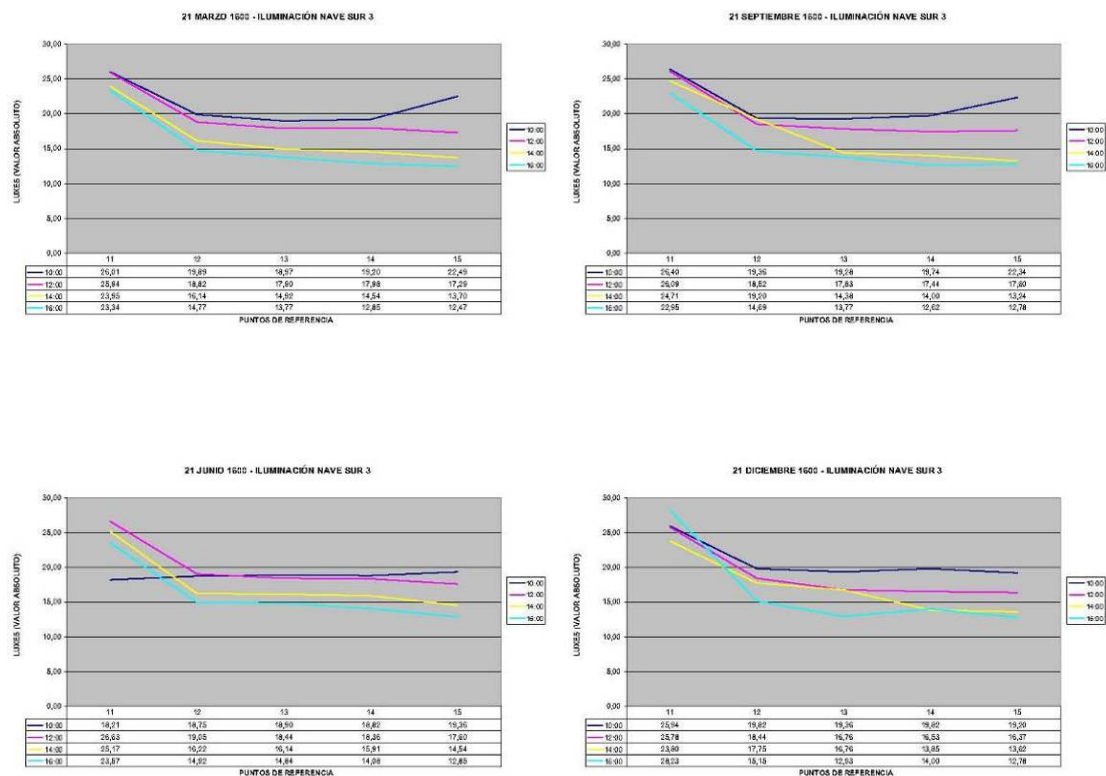


Fig. 6.74 a 6.77. Gráfica de iluminación de la nave 4. Autor: Juan M. Medina

En esta nave se puede observar la misma particularidad que explicábamos en la comparación precedente. Mientras que la nave central avanza con ligeros ascensos hacia el presbiterio y sufre un brusco ascenso en este, en esta nave la iluminación se distribuye de forma templada y homogénea, naciendo de los pies de la iglesia con los valores más altos de iluminación, influenciada por los huecos situados en esta fachada, para desarrollarse de manera homogénea y continua hasta el punto situado al este del presbiterio (punto 15), que no sufre ascenso brusco de ningún tipo sino todo lo contrario.

El patrón de iluminación es constante a lo largo de las 4 estaciones y tan sólo varía en la intensidad global de cada día, repitiéndose de nuevo la máxima de iluminación mayor en verano, iluminación con valores similares en los equinoccios y una menor intensidad en el período invernal.

Lo interesante de esta nave, en comparación con la nave oeste es la constatación de que en este caso, el momento más iluminado del día es el de las 10:00 de la mañana, a la salida del sol.

6.2.6.3. ILUMINACIÓN TOTAL POR ZONAS.

Para determinar en términos globales el régimen de iluminación general de los distintos espacios de la catedral entre sí, establecemos una comparación de iluminación total de cada nave a las 4 horas del día censadas. Esto lo haremos para las cuatro estaciones y estableciendo valores medios de iluminación por punto en cada nave, es decir, sumando la iluminación total que recibe la nave en ese momento dado y dividiéndola por el número de puntos que tiene la nave.

21 de marzo:

La gráfica de primavera (Fig. 6.78) nos muestra como la nave más iluminada es, tal como describimos anteriormente, la nave central, influenciada sobre todo por su repunte en la zona del presbiterio, antes descrito de manera pormenorizada.

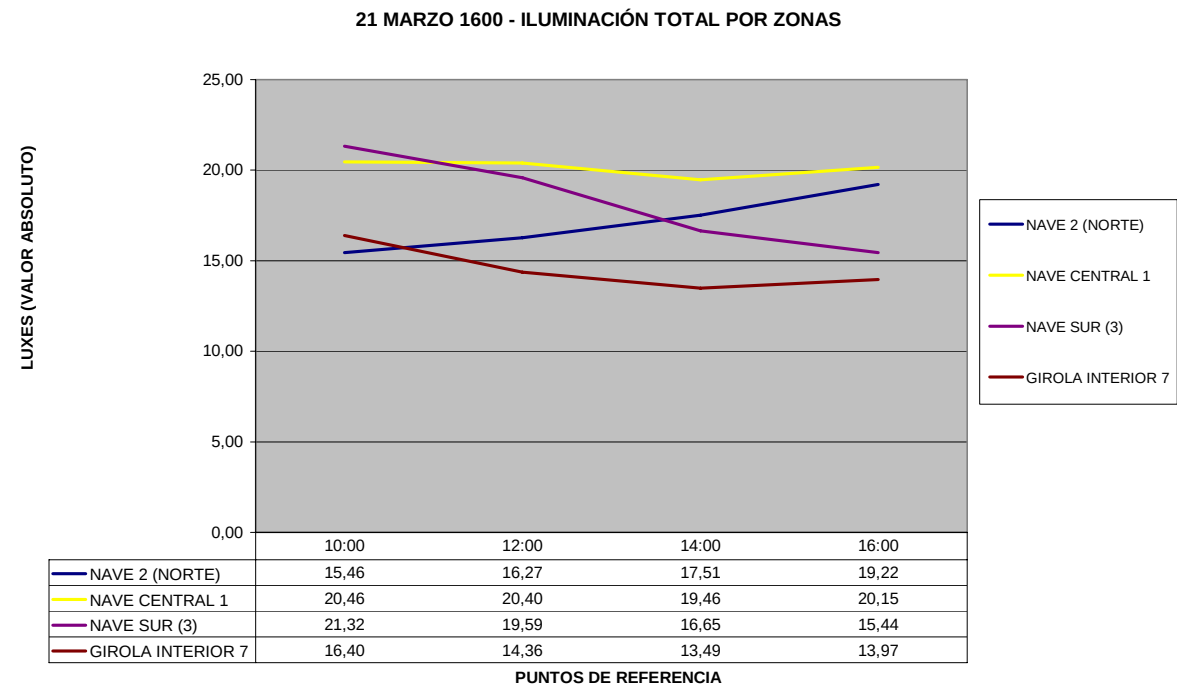


Fig. 6.78. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de marzo. Autor: Juan M. Medina

En segundo lugar tendríamos la nave sur, que en realidad es prácticamente este y que en el inicio del día (10:00 horas) se encuentra más iluminada incluso que la central y que a medida que avanza el día va perdiendo protagonismo.

Para terminar encontramos la nave norte (en realidad oeste), que debido a su direccionalidad algo escorada a poniente, empieza el día con los valores más bajos para ir ganando intensidad mientras la nave sur (este) la pierde y terminar con valores de iluminación considerables a las 16:00 horas, en el ocaso del día.

En cuanto a la girola podemos observar como su iluminación es algo mayor a primera hora del día y va descendiendo a medida que pasa el día pero siempre con valores globales más bajos que los del resto de naves.

21 de junio:

La gráfica de verano (Fig. 6.79) muestra como las naves más iluminadas vuelven a ser las mismas que en marzo, la nave central en primer lugar, seguidas de las naves laterales que alternan su protagonismo según el día está en sus inicios o si se aproxima al ocaso, y cediendo el último puesto en cuanto a iluminación global se refiere a la girola.

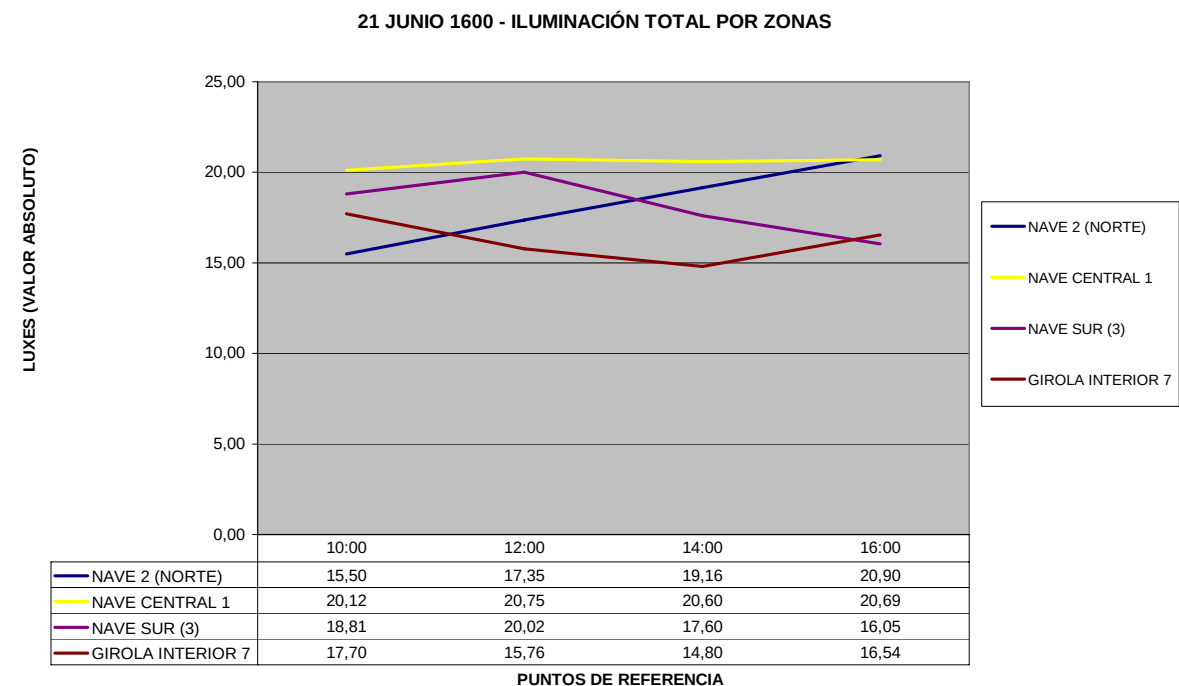


Fig. 6.79. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de junio. Autor: Juan M. Medina

Al igual que en la gráfica anterior pero de manera más acusada si cabe, podemos observar cómo la iluminación a las 16:00 horas tiende a igualarse entre las naves norte (oeste) y central y entre las naves sur (este) y la girola.

21 de septiembre:

En otoño (Fig. 6.80) se repite de manera casi exacta el patrón de iluminación del equinoccio de primavera.

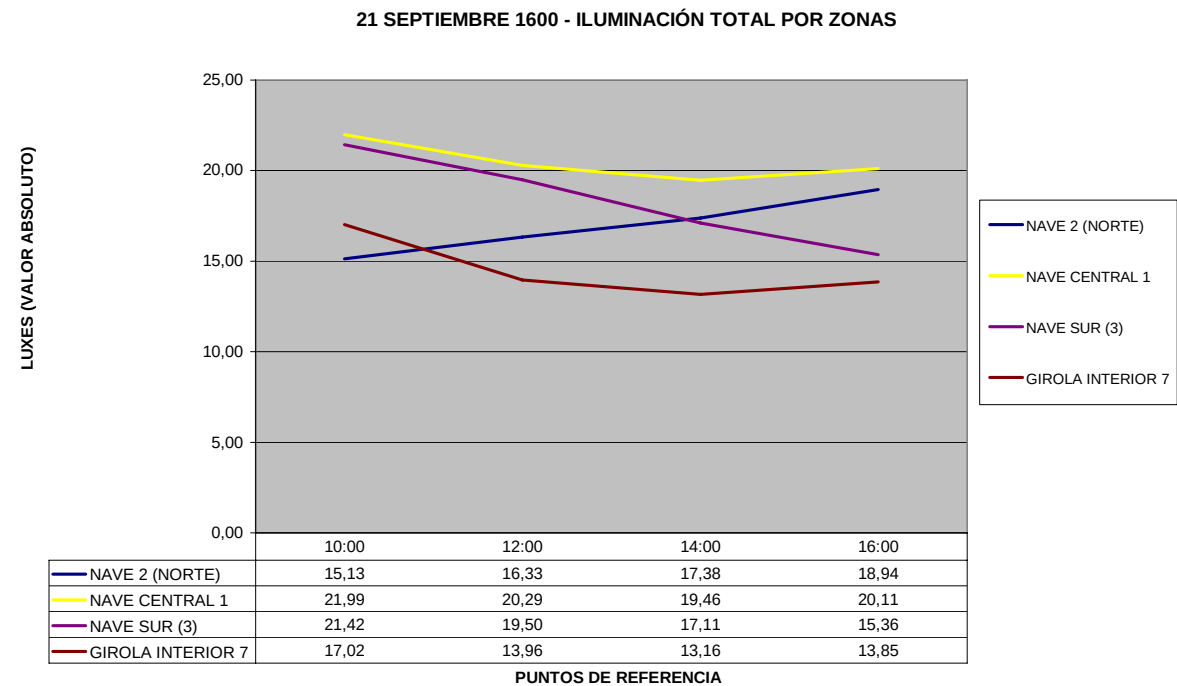


Fig. 6.80. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de septiembre. Autor: Juan M. Medina

Vuelve a destacar la iluminación constante de la nave central contra la iluminación descendente y la ascendente de las naves norte y sur. Por su lado la iluminación de la girola sigue siendo constante y baja comparada con el resto de la basílica.

21 de diciembre:

En invierno (Fig. 6.81) observamos como las diferencias se polarizan ligeramente entre naves con saltos de iluminación media mayor y con distribuciones que tienden en todos los casos a descender a medida que avanza el día.

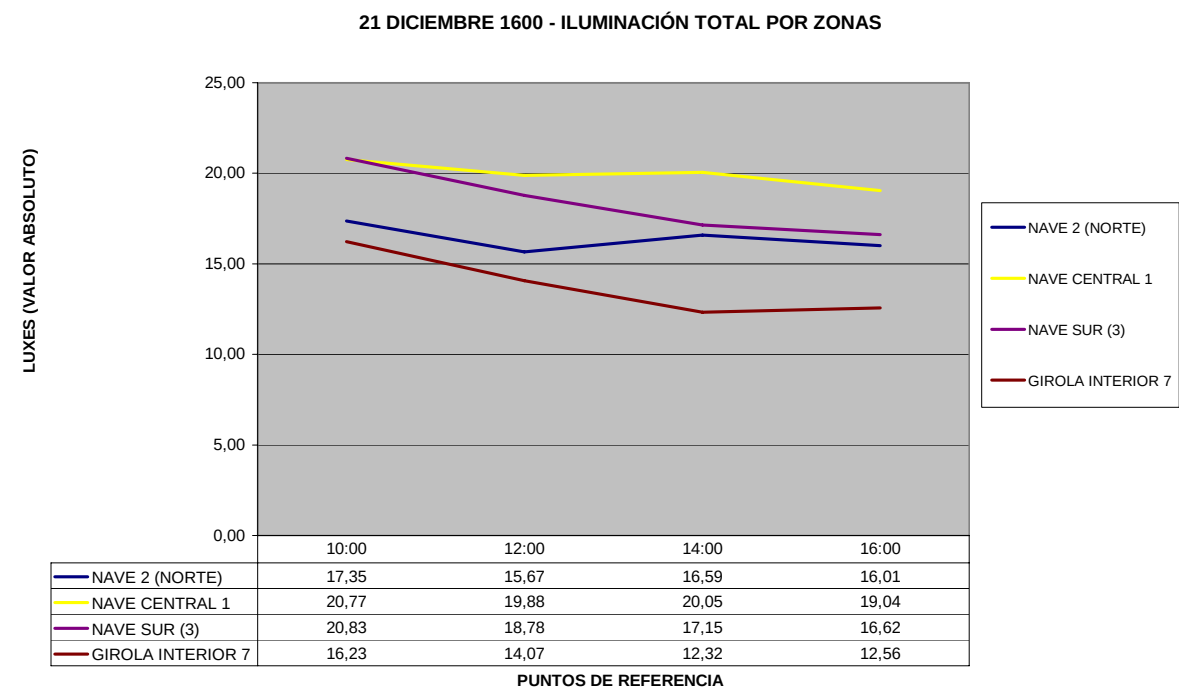


Fig. 6.81. Gráfica comparativa de la iluminación total por zonas. 21 de diciembre. Autor: Juan M. Medina.

La nave más iluminada sigue siendo la principal pero sin embargo la nave norte (oeste en realidad), que antes tenía un desarrollo claramente ascendente a lo largo del día, en este caso permanece estable desde las 10:00 hasta las 16:00.

Las otras dos naves, la 3 y la girola, mantienen su comportamiento de otros meses sin consideraciones especiales.

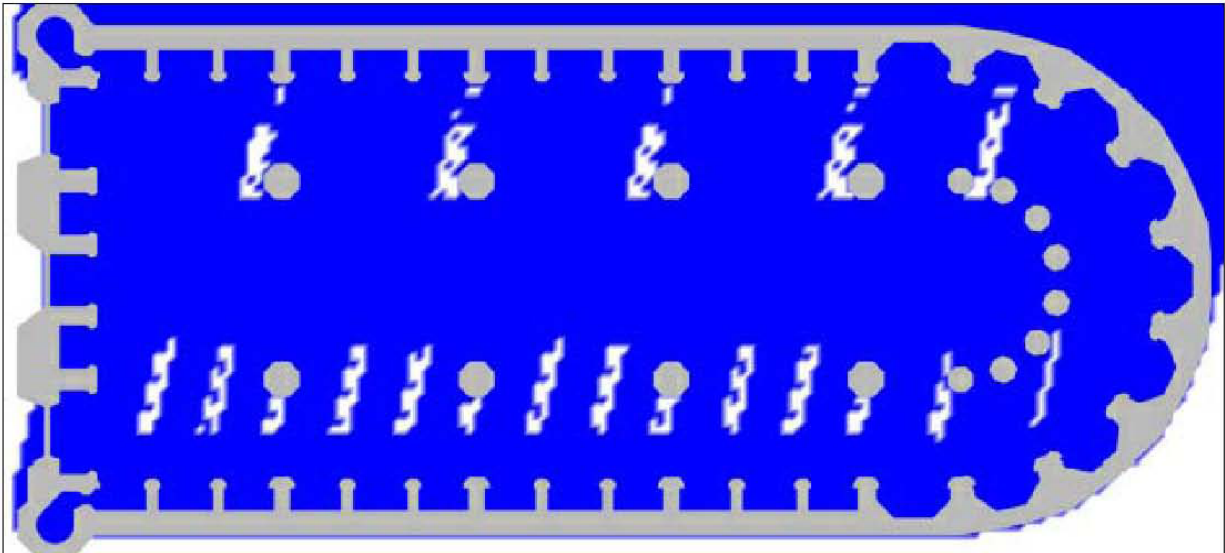
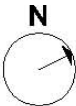
6.2.7 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN DIRECTA. RECORRIDO DE VIDRIERAS.

El presente capítulo pretende dar respuesta a la pregunta de la profesora Cassinello sobre cual sería el **“recorrido de vidrieras”** que se establece en una catedral gótica.

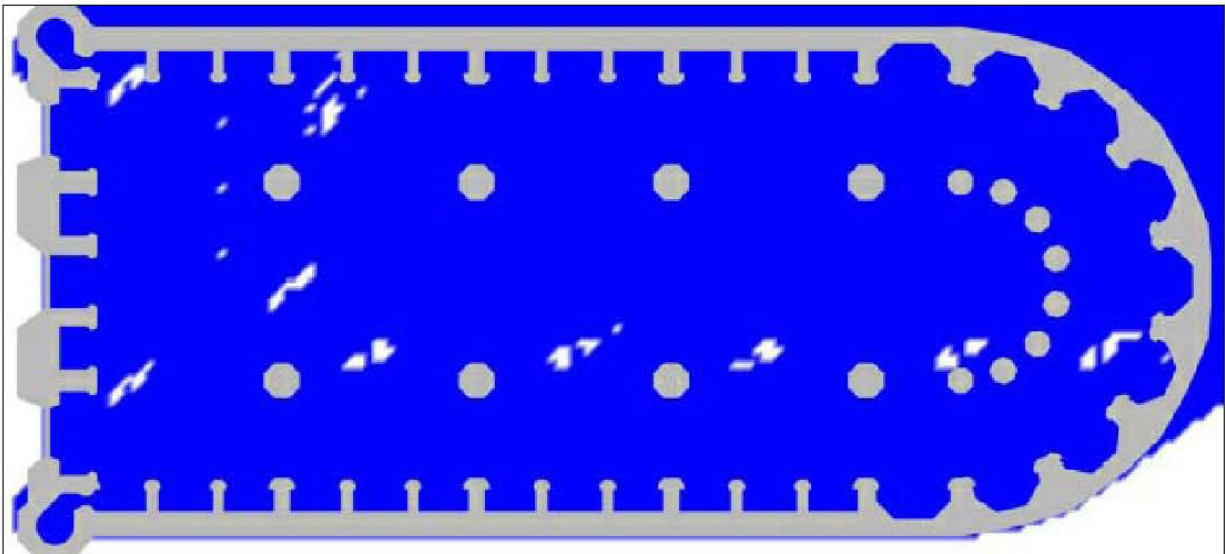
La iluminación directa en el interior de la catedral muestra cómo las vidrieras impactan con toda su fuerza simbólica sobre el espectador, como colorean no sólo el ambiente general de la catedral sino de manera puntual los distintos elementos del templo sobre los que se proyectan, dibujando en definitiva, el “mensaje” simbólico pretendido sobre el suelo de la catedral.

Cada nave tiene su momento de esplendor en términos de iluminación indirecta pero sin duda tienen también momentos de esplendor diferenciados en función del impacto de la “lux vera” sobre los fieles, y estas gráficas muestran en **blanco sobre azul** cuales son cada uno de esos momentos y a lo largo de toda la catedral.

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



PLANTA 10:00



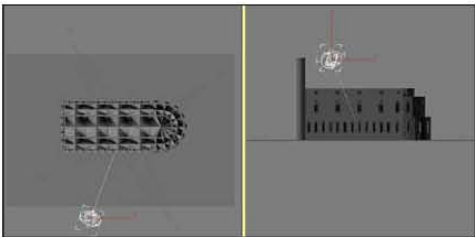
PLANTA 12:00

21 DE MARZO 10:00 HORAS

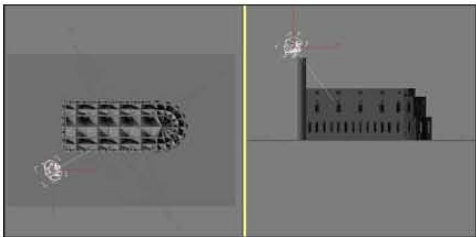
21 DE MARZO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

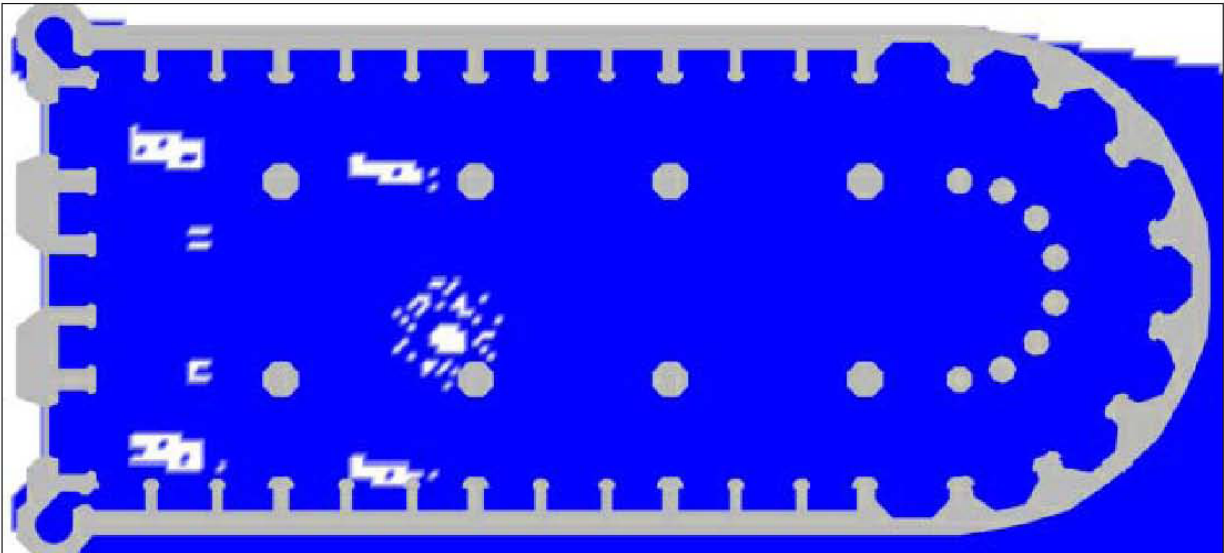
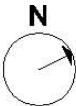


SITUACIÓN SOLAR

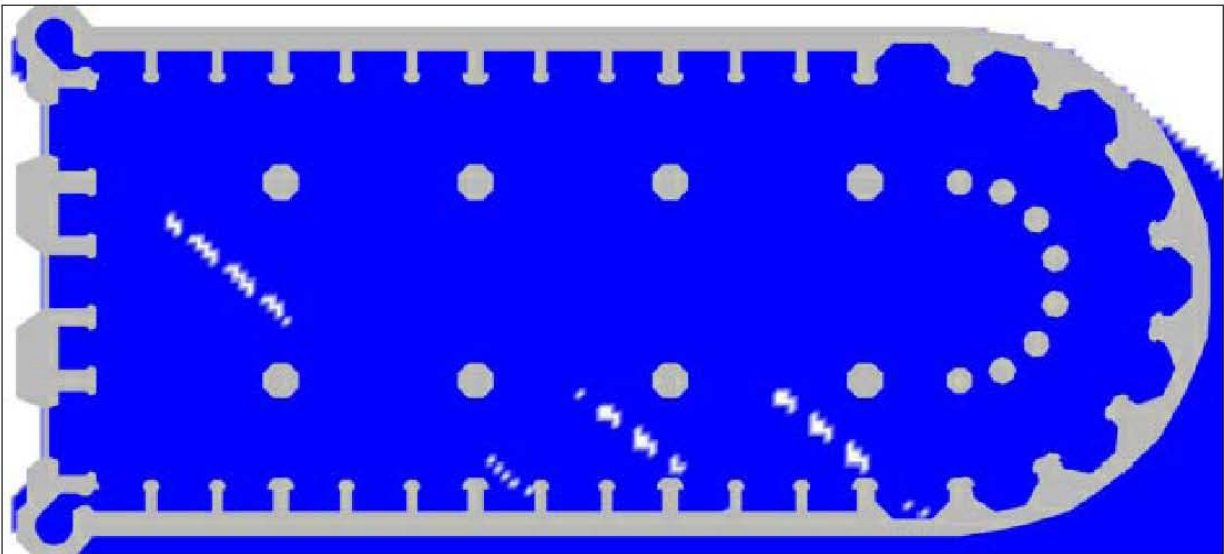


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 MARZO DE 1600



PLANTA 14:00



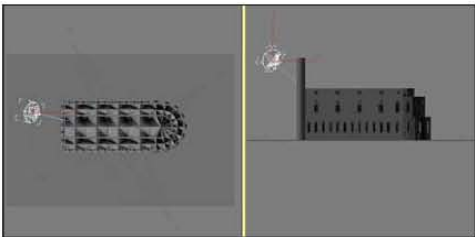
PLANTA 16:00

21 DE MARZO 14:00 HORAS

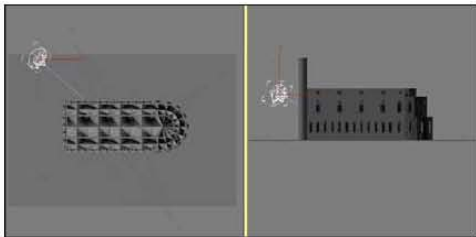
21 DE MARZO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

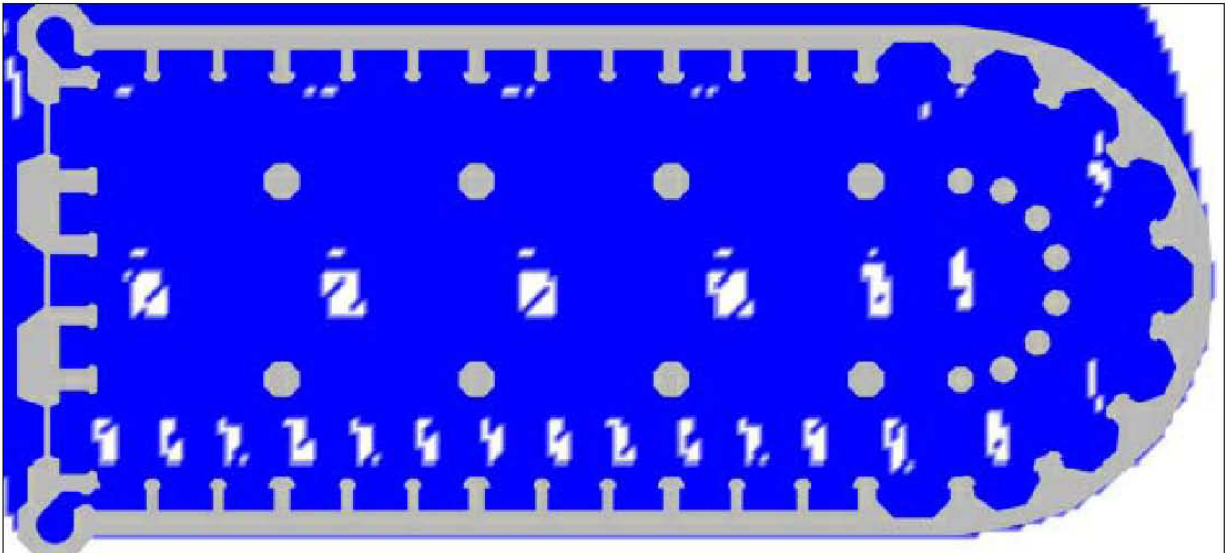
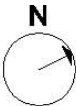


SITUACIÓN SOLAR

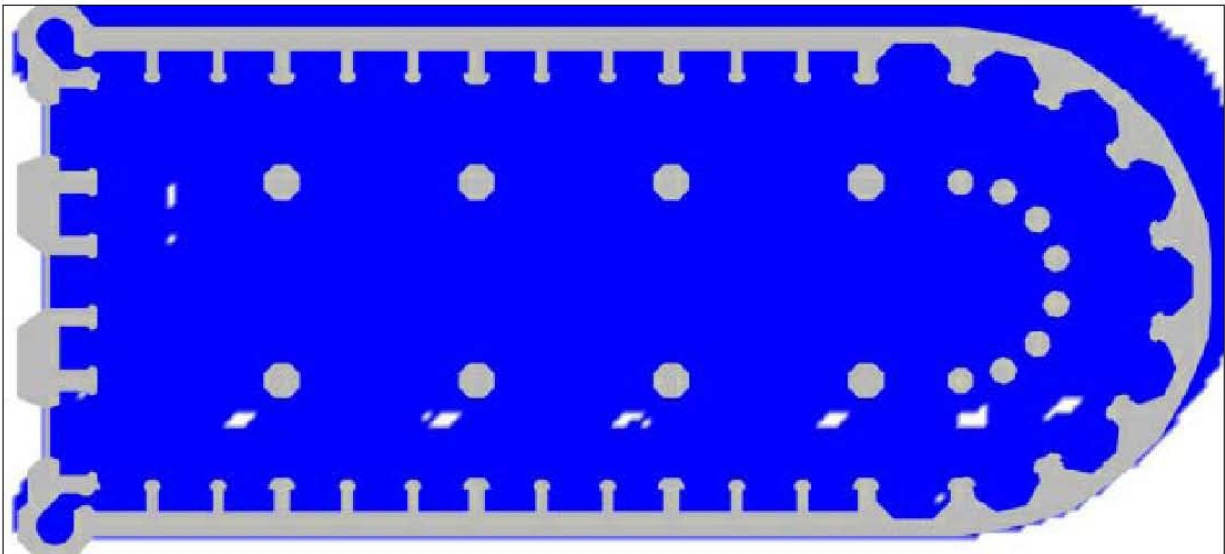


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



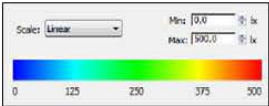
PLANTA 10:00



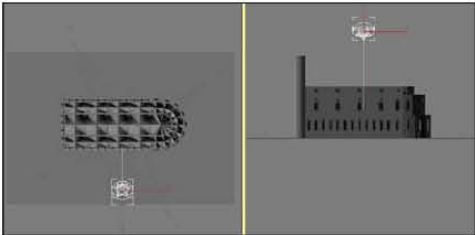
PLANTA 12:00

21 DE JUNIO 10:00 HORAS

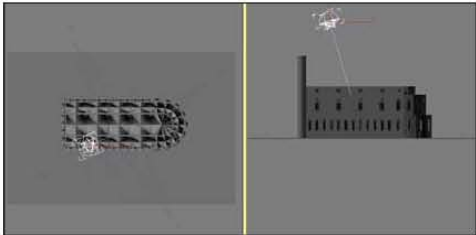
21 DE JUNIO 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

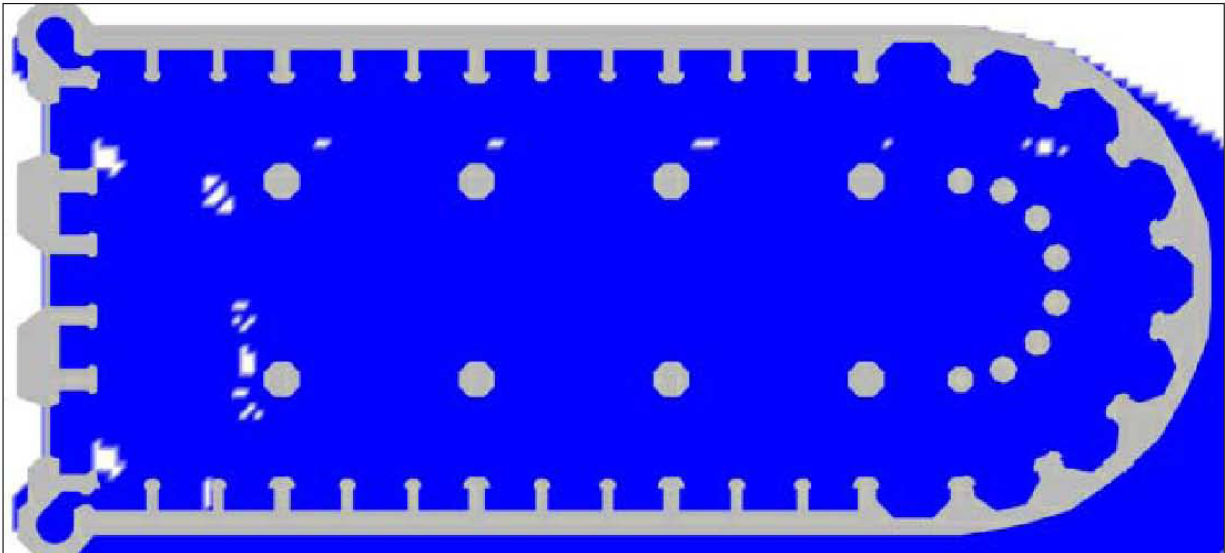
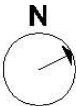


SITUACIÓN SOLAR

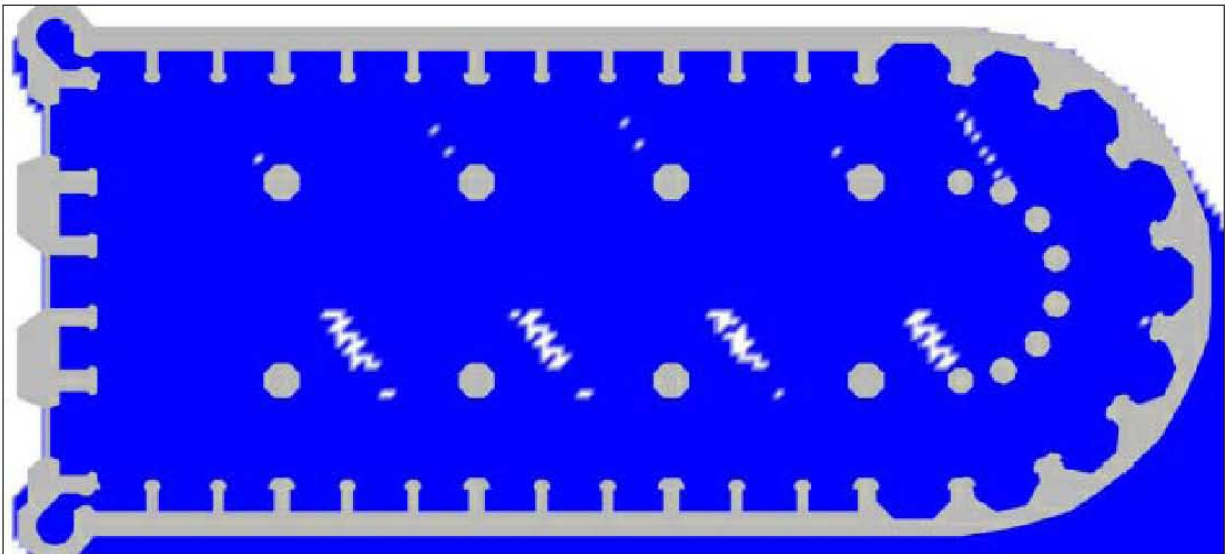


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 JUNIO DE 1600



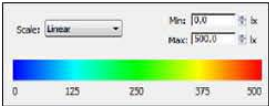
PLANTA 14:00



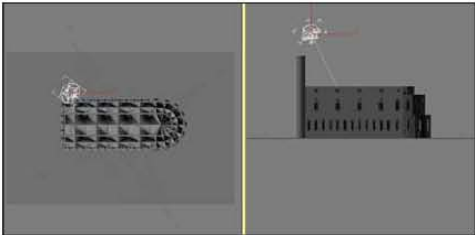
PLANTA 16:00

21 DE JUNIO 14:00 HORAS

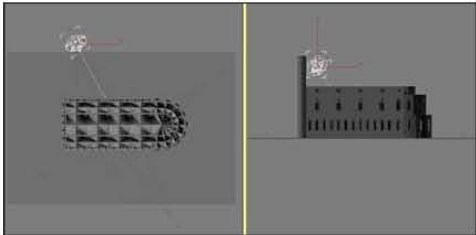
21 DE JUNIO 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

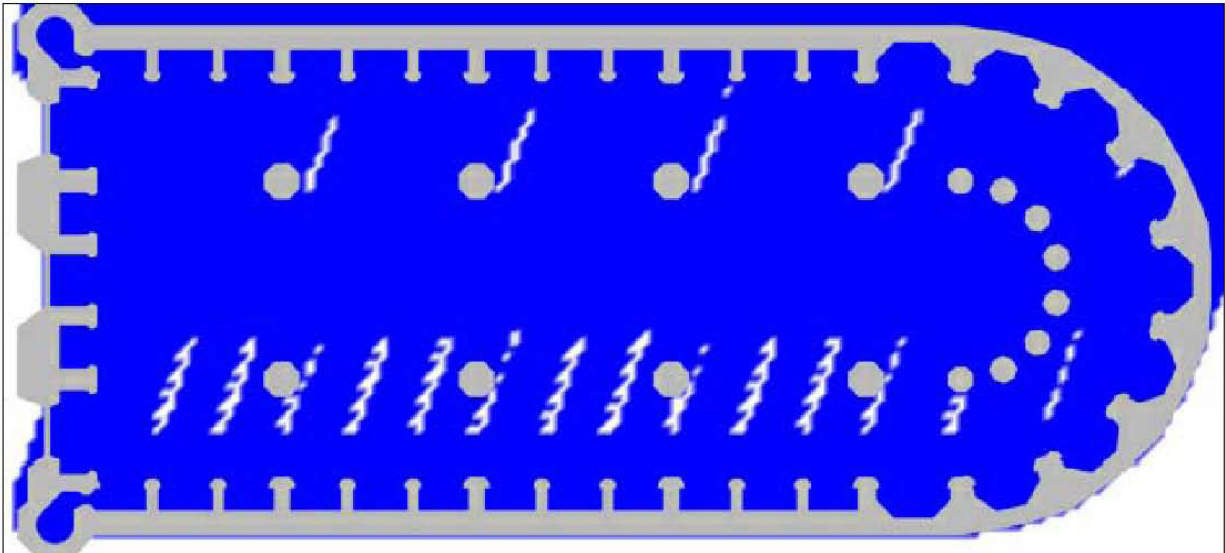
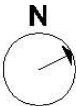


SITUACIÓN SOLAR

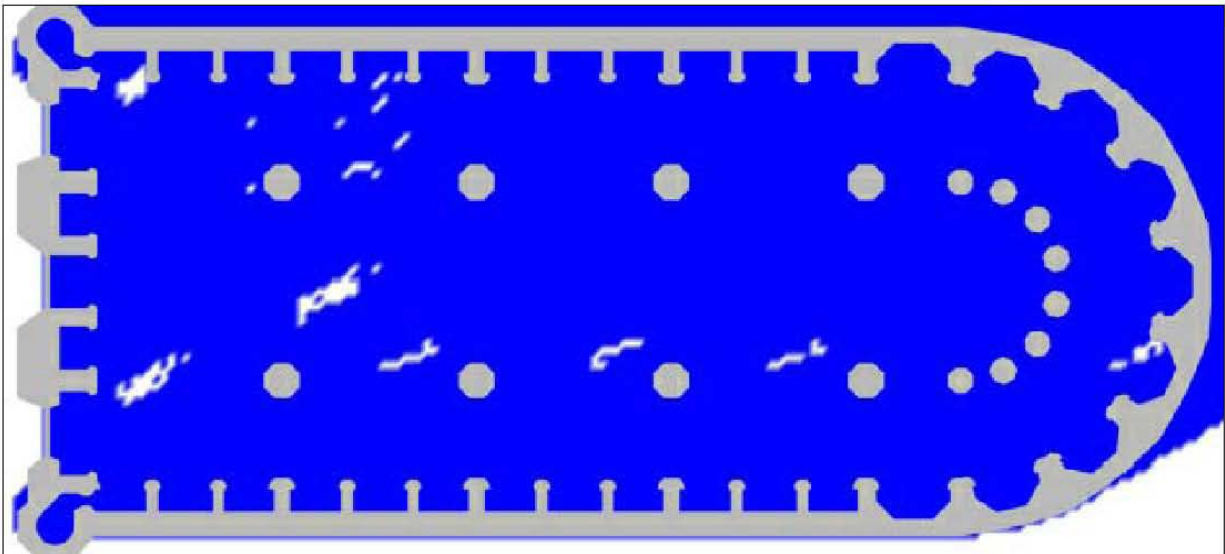


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



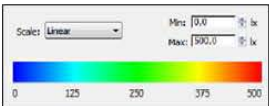
PLANTA 10:00



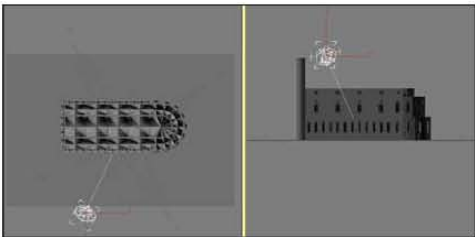
PLANTA 12:00

21 DE SEPT. 10:00 HORAS

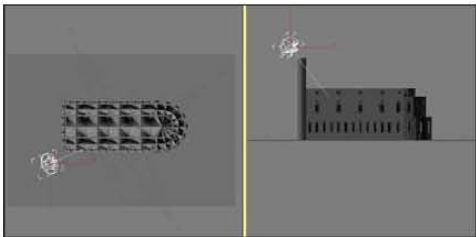
21 DE SEPT. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

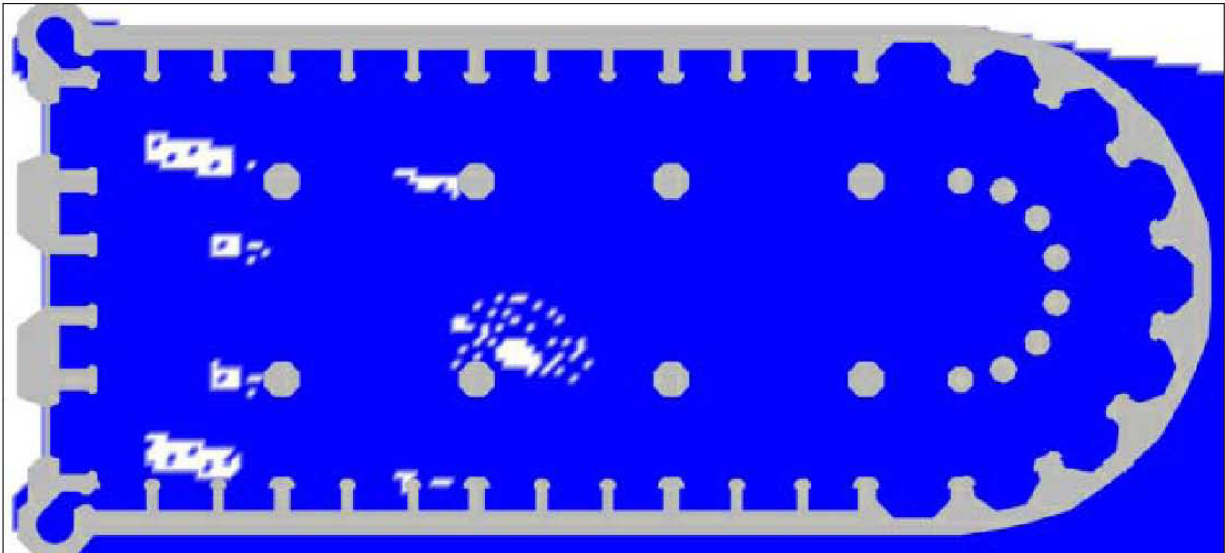
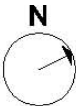


SITUACIÓN SOLAR

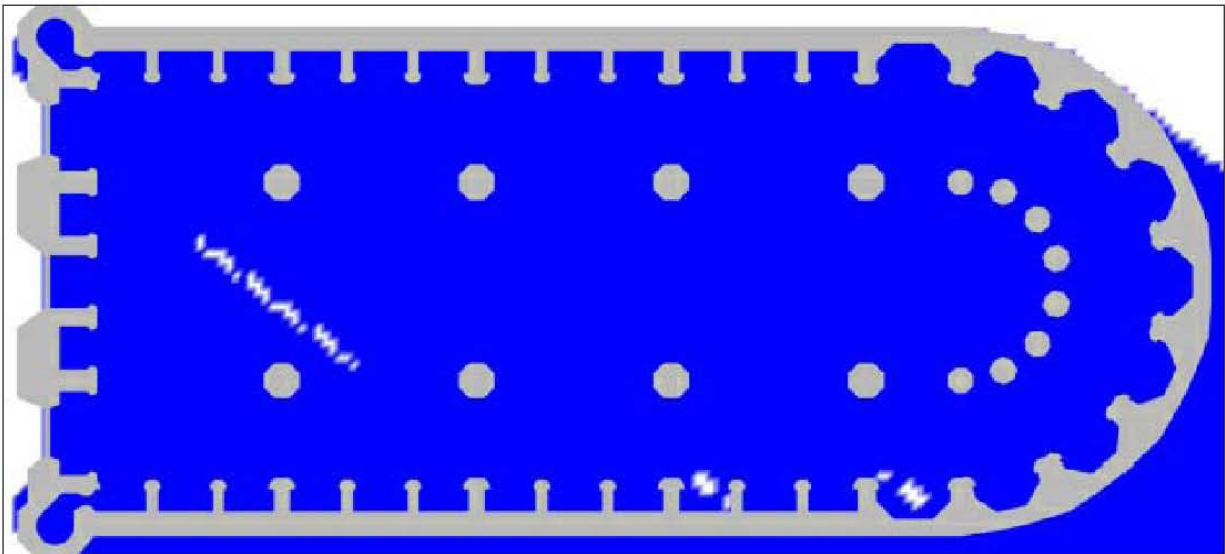


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 SEPTIEMBRE DE 1600



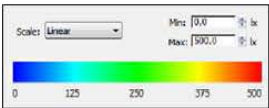
PLANTA 14:00



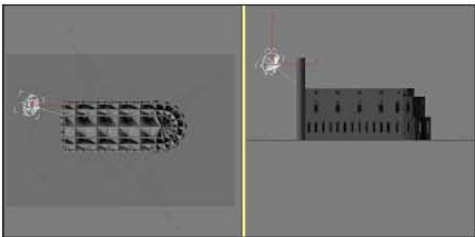
PLANTA 16:00

21 DE SEPT. 14:00 HORAS

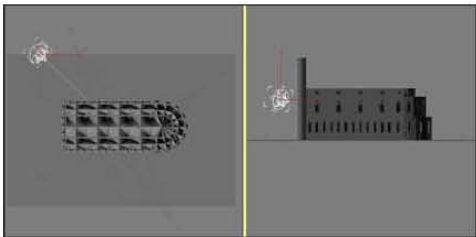
21 DE SEPT. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

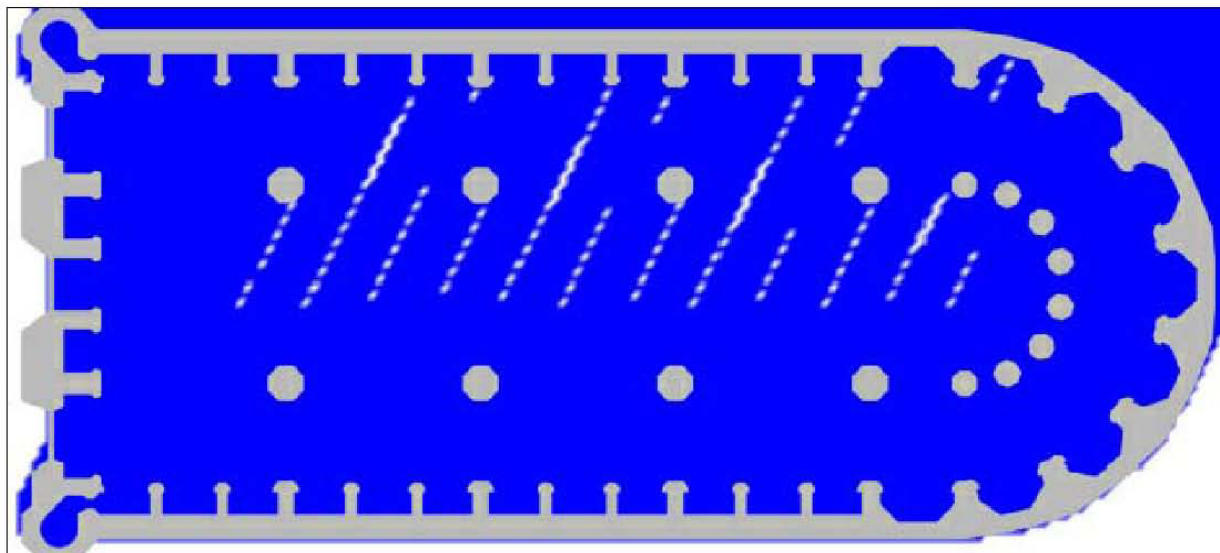
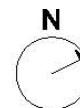


SITUACIÓN SOLAR

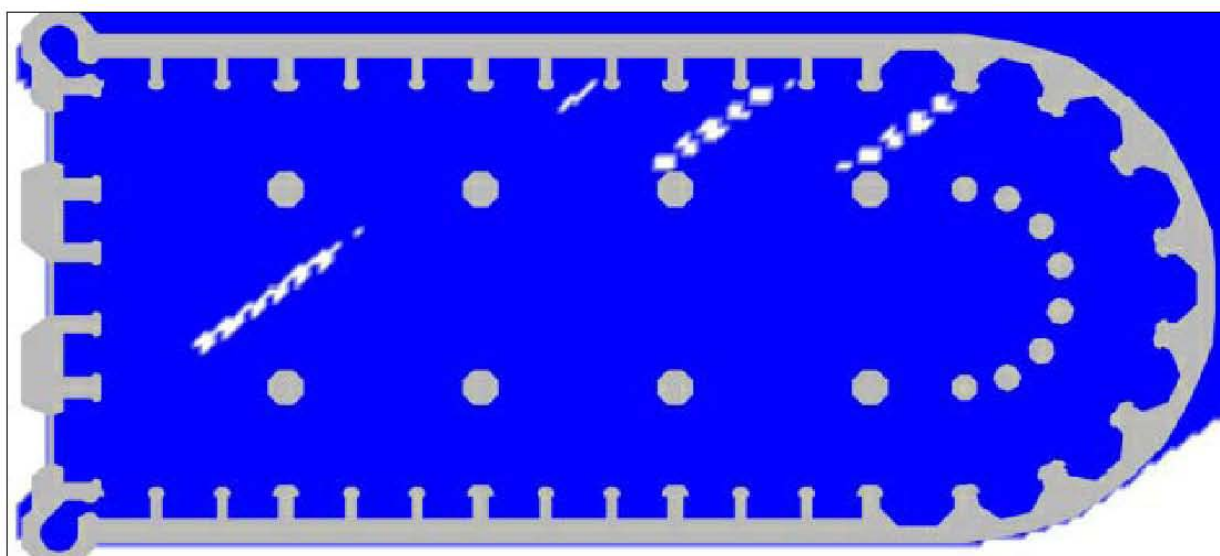


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



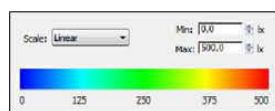
PLANTA 10:00



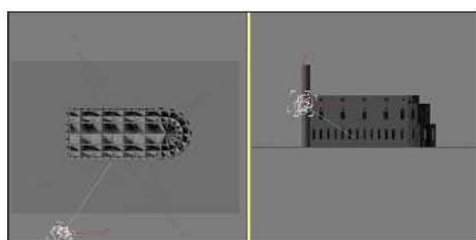
PLANTA 12:00

21 DE DIC. 10:00 HORAS

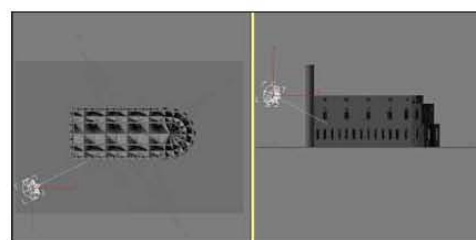
21 DE DIC. 12:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES

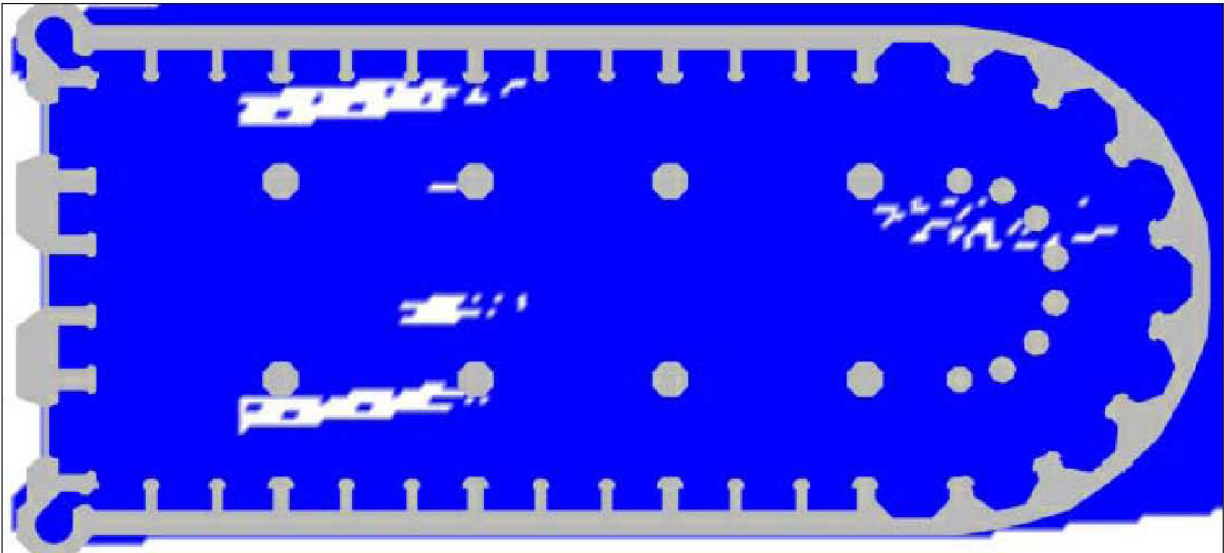
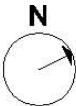


SITUACIÓN SOLAR

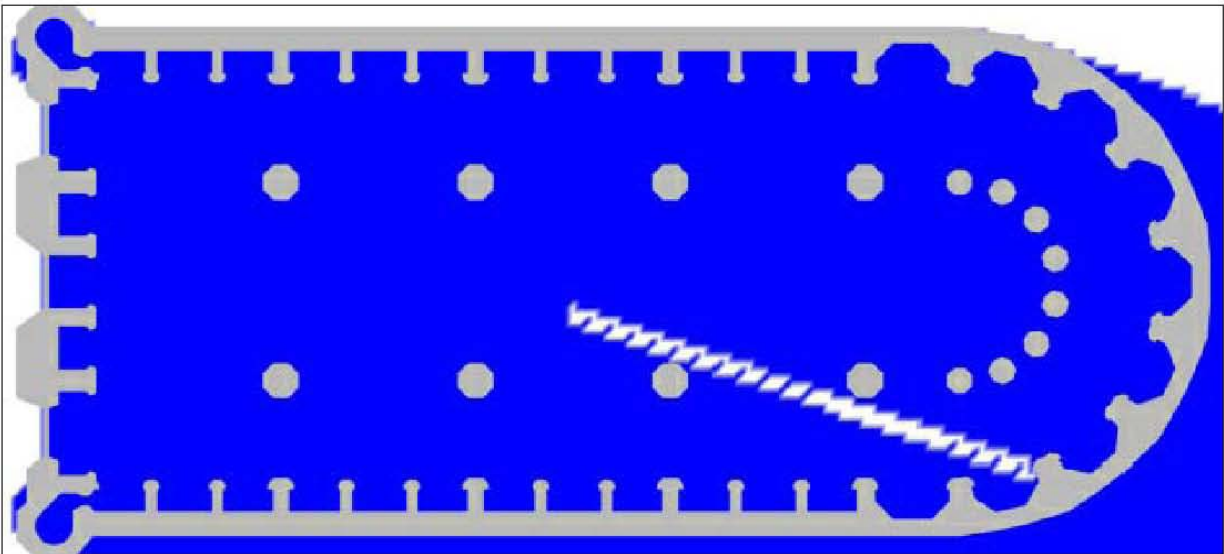


SITUACIÓN SOLAR

BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR
REPRESENTACIÓN EN PLANTA DE LA LUMINOSIDAD EL 21 DICIEMBRE DE 1600



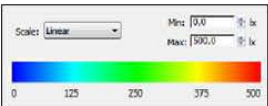
PLANTA 14:00



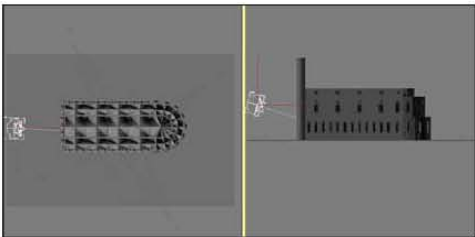
PLANTA 16:00

21 DE DIC. 14:00 HORAS

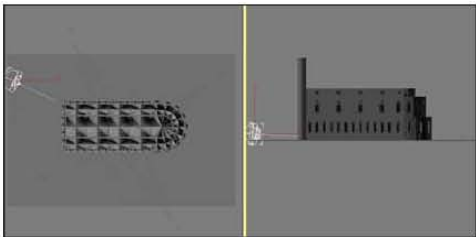
21 DE DIC. 16:00 HORAS



ESCALA DE COLORES/LÚMENES



SITUACIÓN SOLAR



SITUACIÓN SOLAR

6.2.8 BASÍLICA DE SANTA MARÍA DEL MAR. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL.

Como complemento ineludible de la Tesis Doctoral, dentro de este apartado se estudia la **situación actual de la iluminación en la catedral**.

Para poder estudiar el estado actual de la iluminación y ver si esta es coincidente o divergente con respecto a la iluminación primitiva gótica se realizó una medición en un día coincidente con uno de los días estudiados por la recreación en 3D, concretamente el día **21 de marzo de 2011**.

La medición se realiza para todos los puntos muestra de la catedral (uno debajo de cada bóveda) y para las cuatro horas en que hemos dividido el día (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00) , con un luxómetro de mano de sensibilidad de 0 a 20.000 luxes y bajo condiciones de iluminación exterior nubladas.

Una vez recogidos los valores de iluminación referidos, fueron comparados con los que se extraen de la medición realizada sobre el modelo 3D para el mismo día y a la misma hora, y puestos en comparación a través de secciones por la catedral.

Para que esta comparación fuera viable, había que descartar dos efectos incontrolables: en primer lugar, la **iluminación del día** preciso en que se toman los datos, ya que esta podía ser más o menos intensa que la que proponíamos en la modelización 3d, y en segundo lugar, el **factor de filtrado de las vidrieras**, otro valor desconocido puesto que las vidrieras varían su factor de filtrado en función de cada color y cada grosor de vidrio diferentes.

Para salvar estos dos obstáculos, se cogieron los valores de ciertos puntos de la catedral que consideramos "estables" a lo largo del tiempo y que no habían sufrido variaciones por las intervenciones acaecidas en su interior. A continuación igualamos los valores de iluminación de esos puntos tomados in situ el día de la medición actual con los que nos arrojaba el programa informático. Esta sencilla división entre el valor inicial y el medido in situ nos facilita un **factor de escala** que, aplicado de manera general al resto de puntos de la catedral nos da el valor de iluminación **"comparable"** en cada punto censado.

Los puntos escogidos en esta catedral como "puntos estables" fueron los siguientes:

1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, y el factor de escala obtenido **0.076**.

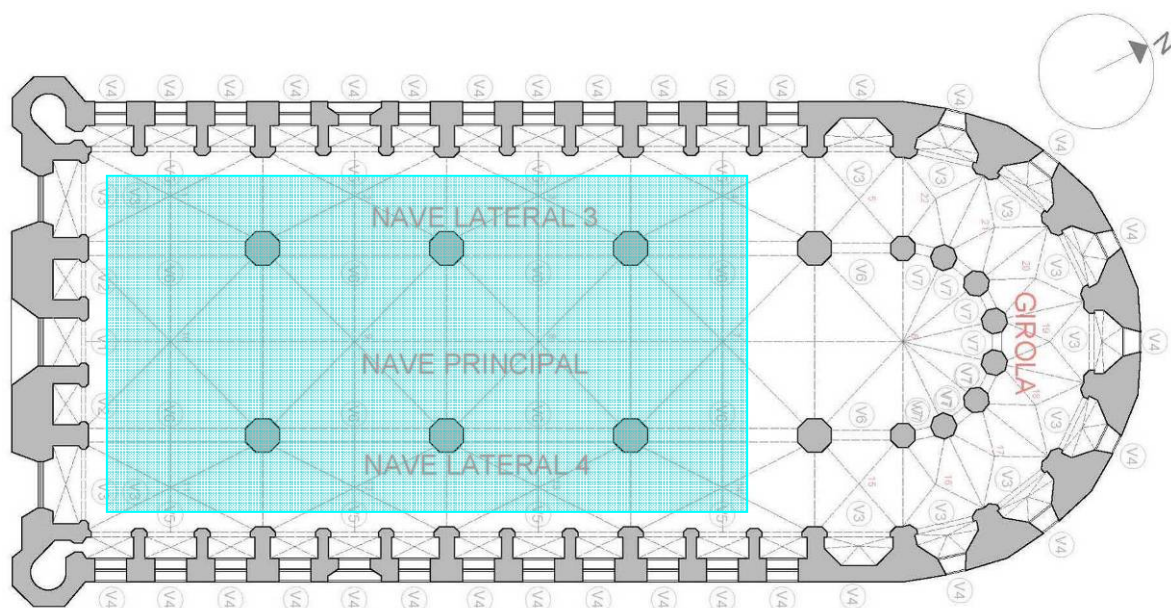


Fig. 6.82. Planta de la catedral con los puntos censados y los considerados “estables”, tomados para la obtención del factor de escala. Autor: Juan M. Medina

La toma de datos in situ y la obtenida por el modelo 3D nos arroja los siguientes valores:

		21 MARZO 1600							
F.ESCALA 0,07625	PUNTO BAJO BÓVEDA	10:00	Escala do	12:00	Escala do	14:00	Escala do	16:00	Escala do
NAVE 2 (NORTE)	1	268,00	20,51	297,00	22,72	297,00	22,72	308,00	23,57
	2	191,00	14,61	196,00	15,00	214,00	16,37	248,00	18,97
	3	191,00	14,61	197,00	15,07	217,00	16,60	232,00	17,75
	4	178,00	13,62	183,00	14,00	202,00	15,46	219,00	16,76
	5	182,00	13,93	190,00	14,54	214,00	16,37	249,00	19,05
NAVE CENTRAL 1	6	380,00	29,07	375,00	28,69	367,00	28,08	393,00	30,07
	7	243,00	18,59	233,00	17,83	220,00	16,83	220,00	16,83
	8	219	16,76	210	16,07	198	15,15	197	15,07
	9	265,00	20,28	258,00	19,74	250,00	19,13	260,00	19,89
	10	230,00	17,60	257,00	19,66	237,00	18,13	247,00	18,90
NAVE SUR (3)	11	340,00	26,01	339,00	25,94	313,00	23,95	305,00	23,34
	12	260,00	19,89	246,00	18,82	211,00	16,14	193,00	14,77
	13	248,00	18,97	234,00	17,90	195,00	14,92	180,00	13,77
	14	251,00	19,20	235,00	17,98	190,00	14,54	168,00	12,85
	15	294,00	22,49	226,00	17,29	179,00	13,70	163,00	12,47
GIROLA INTERIOR 7	16	248,00	18,97	214,00	16,37	170,00	13,01	148,00	11,32
	17	217,00	16,60	182,00	13,93	148,00	11,32	130,00	9,95
	18	243,00	18,59	216,00	16,53	190,00	14,54	180,00	13,77
	19	254,00	19,43	222,00	16,99	209,00	15,99	231,00	17,67
	20	229,00	17,52	166,00	12,70	167,00	12,78	196,00	15,00
	21	176,00	13,47	173,00	13,24	187,00	14,31	204,00	15,61
	22	133,00	10,18	141,00	10,79	163,00	12,47	189,00	14,46

		21 DE MARZO DE 2011			
PUNTO BAJO BÓVEDA		10:00	12:00	14:00	16:00
NAVE 2 (NORTE)	1	18,00	21,80	22,00	48,00
	2	12,00	14,80	16,30	19,80
	3	14,00	16,20	15,40	15,30
	4	18,00	20,30	18,00	11,30
	5	20,00	21,40	16,00	9,40
NAVE CENTRAL 1	6	25,00	60,00	32,00	14,60
	7	30,00	39,00	23,00	13,00
	8	15	17	15	14,6
	9	18,00	19,30	19,00	45,00
	10	14,00	16,30	14,00	18,00
NAVE SUR (3)	11	14,00	16,50	16,00	29,50
	12	50,00	110,00	65,00	54,00
	13	42,00	54,00	40,00	37,40
	14	15,00	16,60	15,00	14,00
	15	13,00	13,50	12,00	12,00
GIROLA INTERIOR 7	16	12,00	12,90	11,00	10,00
	17	24,00	25,70	23,00	19,80
	18	22,00	24,00	20,00	14,00
	19	25,00	31,20	19,00	15,80
	20	13,00	14,70	13,00	11,10
	21	14,00	15,00	12,00	10,20
	22	42,00	47,00	25,00	13,70

Fig. 6.83. Cuadros de iluminación comparativa entre el 21 de marzo de 1600 y 21 de marzo de 2012.
Autor: Juan M. Medina

La catedral se encuentra libre de obstrucciones por construcciones anexas en las ventanas altas, exceptuando el ábside en su parte noroeste que tiene una construcción anexa y cierta interferencia en la iluminación de las ventanas altas de la fachada norte por ser la calle adyacente a dicha fachada muy estrecha y los edificios del otro lado de considerable altura. (Fig. 6.84)



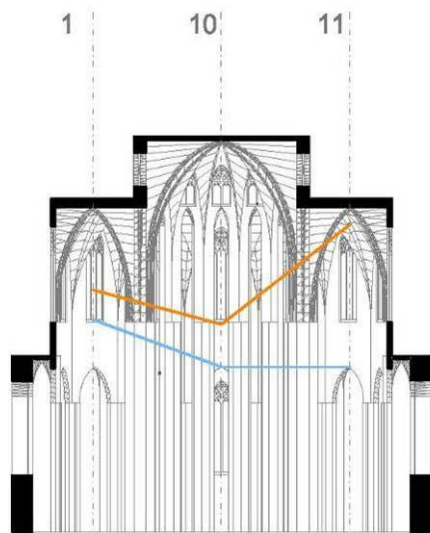
Fig. 6.84. Obstrucciones solares en la fachada norte y oeste el 21 de marzo de 2012 a las 16:00 horas.

En lo referente a elementos distorsionadores cabe destacar que la catedral no conserva vidrieras originales, son todas posteriores con la consecuente variación de composición de colores con respecto a los del gótico inicial.

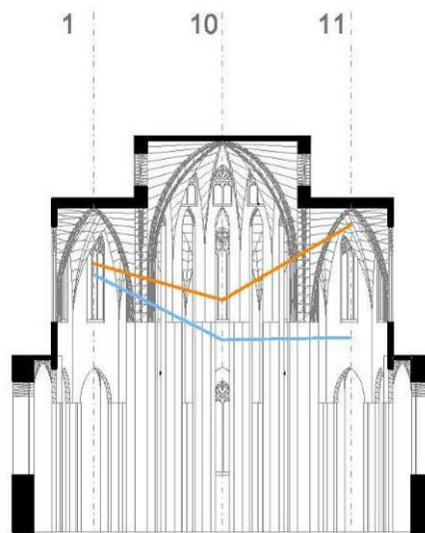
Igualmente hemos detectado una iluminación artificial no excesivamente elevada.

Con esta toma de datos se elaboran las correspondientes gráficas por naves y se comparan los resultados de iluminación en la actualidad con los obtenidos en el modelo 3D del proyecto original gótico, el mismo día y a las mismas horas. Tras realizar la consabida conversión de equivalencia de valores (factor de escalado) para poder obviar el efecto de filtrado de la luz producido por las vidrieras y las comparaciones resultantes son las siguientes:

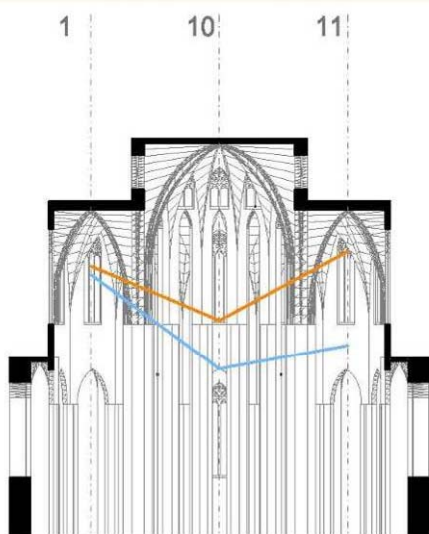
COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL



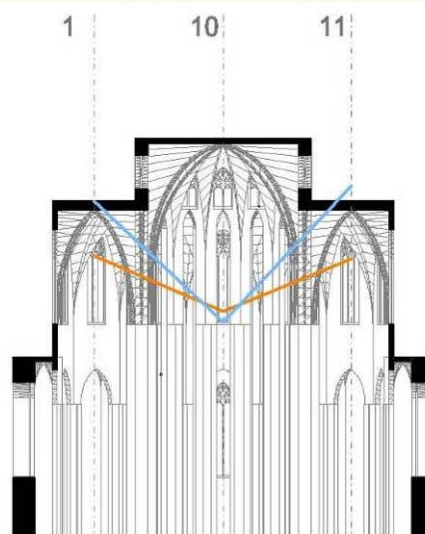
SECCIÓN 1 - 10:00 AM



SECCIÓN 1 - 12:00 AM

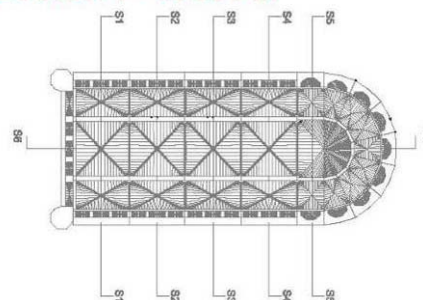


SECCIÓN 1 - 14:00 PM

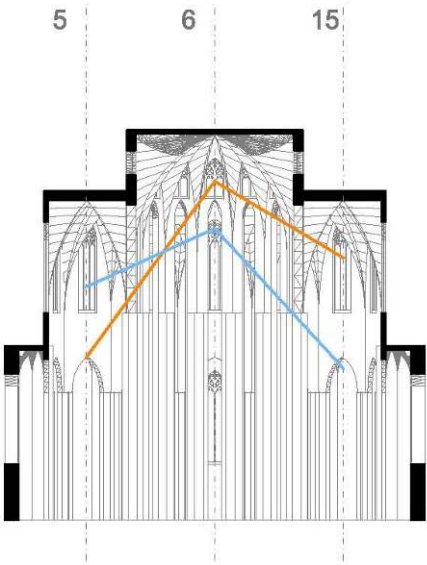


SECCIÓN 1 - 16:00 PM

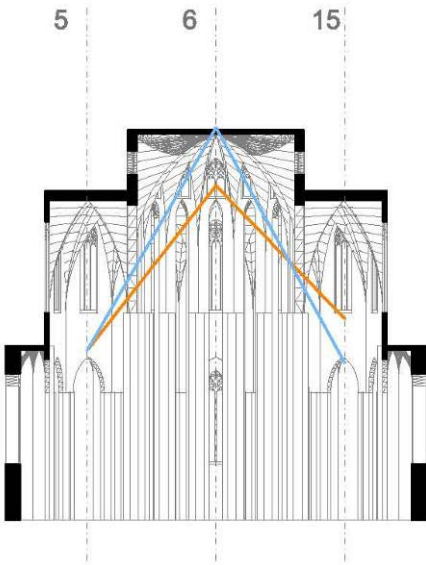
ILUMINACIÓN ACTUAL. AÑO 2012 —
ILUMINACIÓN ORIGINAL. AÑO 1600 —



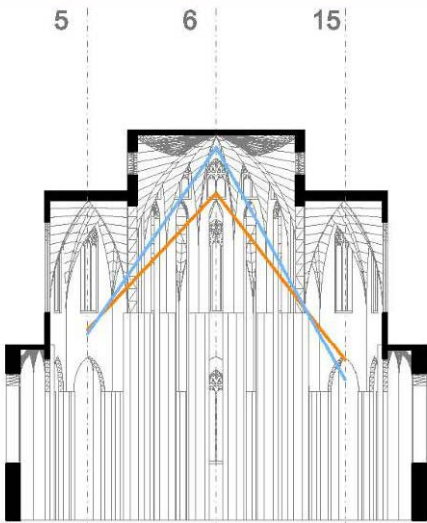
COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL



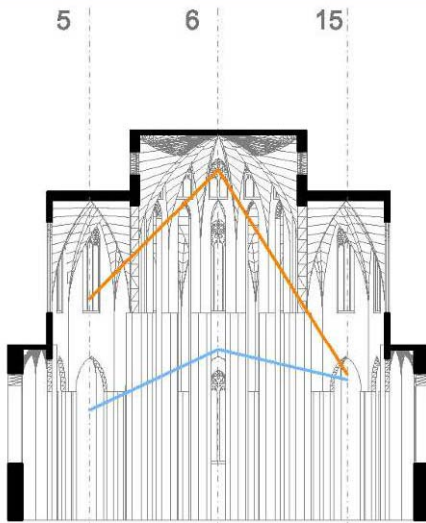
SECCIÓN 5 - 10:00 AM



SECCIÓN 5 - 12:00 AM

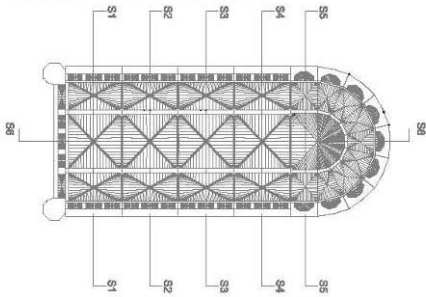


SECCIÓN 5 - 14:00 PM



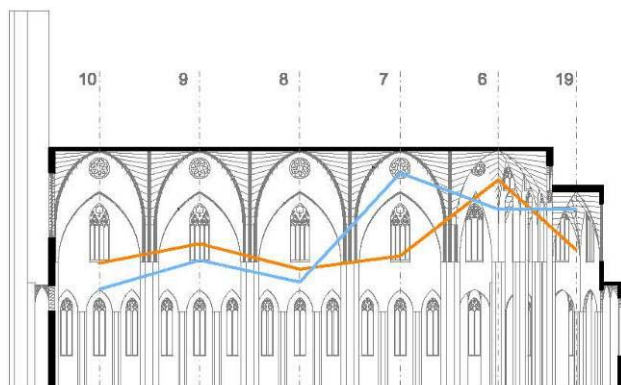
SECCIÓN 5 - 16:00 PM

ILUMINACIÓN ACTUAL. AÑO 2012 —
ILUMINACIÓN ORIGINAL. AÑO 1600 —

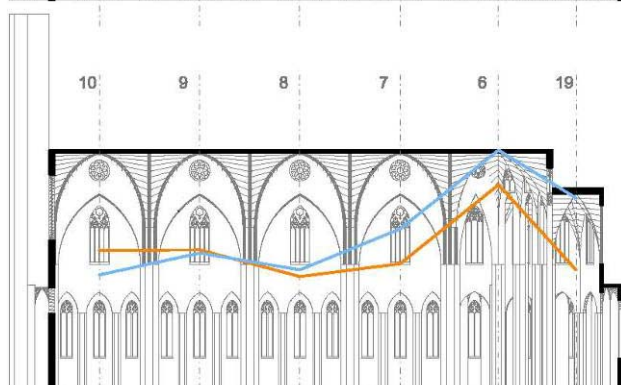


COMPARATIVA EN SECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN ACTUAL Y ORIGINAL DE LA CATEDRAL

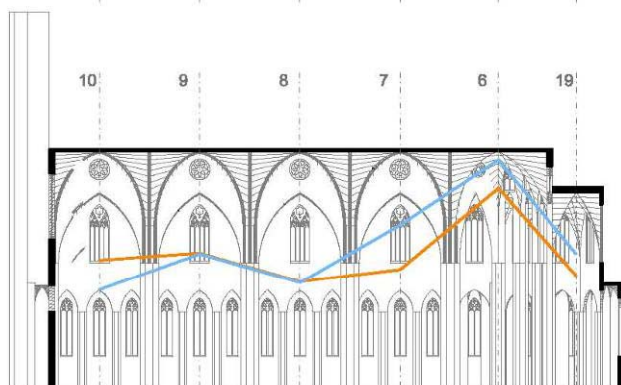
SECCIÓN 6 - 10:00 AM



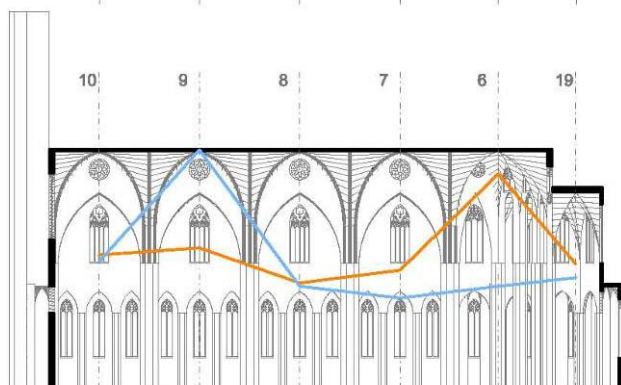
SECCIÓN 6 - 12:00 AM



SECCIÓN 6 - 14:00 PM



SECCIÓN 6 - 16:00 PM



6.2.9 CATEDRAL DE SANTA MARÍA DEL MAR. ANÁLISIS DE COLOR.

Para analizar el color de la catedral de Santa María del Mar atenderemos, al igual que en el resto de muestras, a la composición de una de sus vidrieras más representativas, que represente la época gótica en la que fue construida.

Tal como explicábamos en los antecedentes de la historia de la catedral, los avatares del tiempo en forma de conflictos bélicos y terremotos, han hecho que el templo actual carezca casi de manera global de ningún elemento original del gótico excepto por la propia piedra.

No fue diferente el destino de las vidrieras góticas originales, aquellas vidrieras ojivales primitivas fueron prácticamente destruidas entre el terremoto de 1459 y los conflictos bélicos de 1714 y 1936. Apenas algunas escenas se conservan en el museo de la iglesia y que habían estado en una de las capillas laterales como son las del Lavatorio y de la Ascensión. Estas fueron halladas en 1922 durante las obras de restauración de Bonaventura Bassegoda¹⁶⁷ en la capilla. Estos fragmentos originales son difíciles de datar pero parece ser que fueron compuestos entre los años 1341 y 1385, mientras que el resto de fragmentos medievales disponibles son del siglo XV.

Las vidrieras góticas que se encuentran aún en su emplazamiento original son la de la Virgen María y San Miguel, el rosetón reconstruido después del terremoto por el pintor Antoni Llonde de Toulouse¹⁶⁸ y alguna otra como la del Juicio final, vidriera esta última bien documentada, realizada en el año 1494 por el maestro Severí Desmanes de Aviñón.

Si bien el rosetón de Santa María del Mar constituye según Barral *“uno de los ejemplos más notables de la vidriería gótica en Cataluña, con un estilo franco-flamenco, de un naturalismo realista, muy propio de la zona tolosana de donde procedía el pinto autor de la mismas”*¹⁶⁹, hemos preferido una obra más parecida al formato de estudio del resto de catedrales para poder realizar el análisis de color y de despiece de emplomados y la posterior comparación entre muestras.

¹⁶⁷ BASSEGODA, Bonaventura, *"Butlletí de la Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi. XXV"*. Barcelona, 2012.

¹⁶⁸ BARRAL, Xavier, *"Vidrieras medievales de Cataluña"*, Ed: Lunweg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunweg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 90

¹⁶⁹ BARRAL, Xavier, *"Vidrieras medievales de Cataluña"*, Ed: Lunweg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunweg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 90

La vidriera seleccionada finalmente es la de la **Virgen María y San Miguel**, (Fig. xxx y Fig. xxx) del ventanal de la capilla de San Pedro. Hemos seleccionado esta pieza por ser la vidriera más antigua aún existente en el lugar original, aunque es algo posterior a las que se encuentran en el museo ya que se fija como fecha de construcción mediado el S. XV.

Sólo se conserva la parte superior de la vidriera, es decir, la tracería y cuatro de los catorce plafones que formaban los dos vanos del ventanal, y con alguna modificación de su fisionomía realizada durante alguna intervención posterior a su creación. A la izquierda se representa la figura de la Virgen con el niño en brazos sobre un fondo rojo de creación posterior, así como lo es parte del azul sobre la figura del arcángel. Lo que si parece auténtico son *“los restos de campo verde de la parte inferior con decoración de grisalla dibujando temas geométricos”*. También es original *“la decoración en grisalla de motivos florales y geométricos que presentan las borduras”*¹⁷⁰.

En cuanto al estilo, encontramos una ornamentación muy simple que sigue la forma del calado, alternando diversos colores. Lo que si parece evidente, y tal como resalta Barral, es *“las diferencias entre las dos figuras, tanto en la técnica y el color de la grisalla como en el modelado de los volúmenes. La figura del arcángel San Miguel está dibujada de una manera más **lineal**, con la pincelada más seca, mientras que en la figura de la Virgen María son las sombras las que **modelan las formas y les dan volumen**. Parece, pues, como si la figura de la Virgen hubiera sido realizada por una mano más evolucionada que la que hizo el arcángel.”*¹⁷¹

A continuación se expone el estudio sobre la vidriera seleccionada en la que se definen las proporciones de color que posee así como la proporción de vidrio sobre plomo (Fig. 6.85 y Fig. 6.86).

¹⁷⁰ BARRAL, Xavier, *“Vidrieras medievales de Catalunya”*, Ed: Lunwerg Editores e Institut d’Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 90.

¹⁷¹ BARRAL, Xavier, *“Vidrieras medievales de Catalunya”*, Ed: Lunwerg Editores e Institut d’Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). P. 90

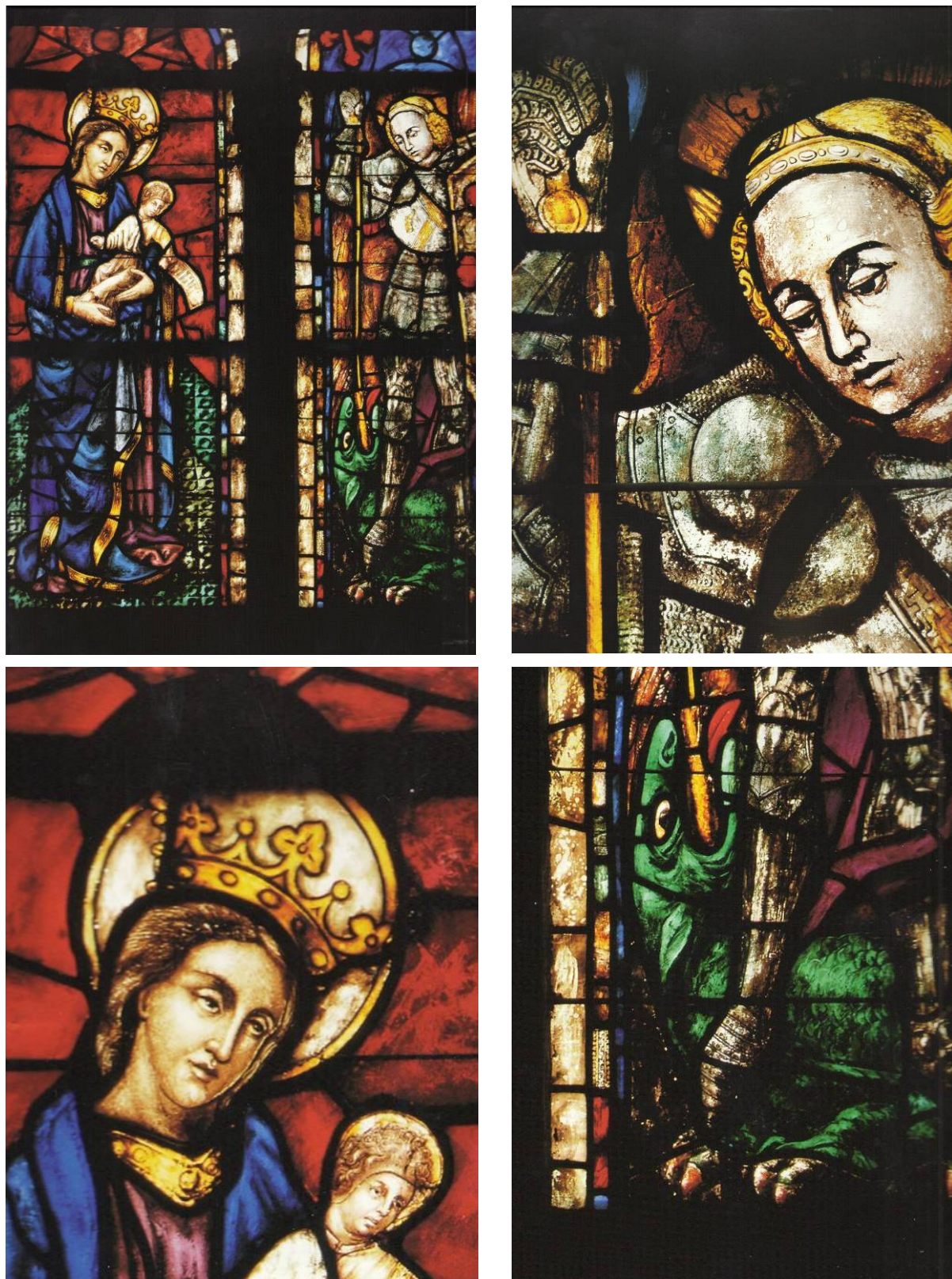


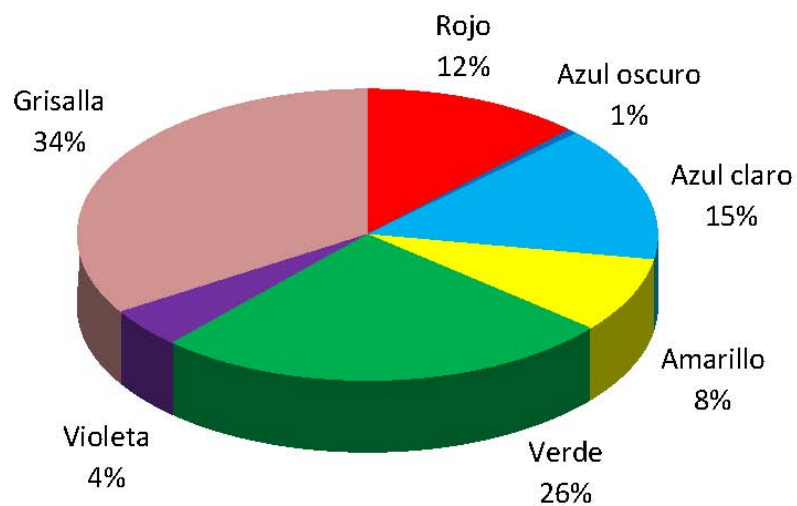
Fig. 6.85. Vidriera de la "la Virgen María y San Miguel". Fotografías: Ramón Roca Junyent¹⁷²

¹⁷² ROCA, Ramón en "*Vidrieras medievales de Catalunya*", Ed: Lunwerg Editores e Institut d'Estudis Catalans. Barcelona, 2000. ISBN: 84-7782-627-7 (Lunwerg) y 84-7283-532-4 (IEC). p. 209-247.



Fig. 6.86. Distribución del color de la vidriera de "la Virgen María y San Miguel". Autor: Juan M. Medina.

Distribución colores vidriera. Santa María del Mar



Factor de emplomado. Vidriera Santa María del Mar

