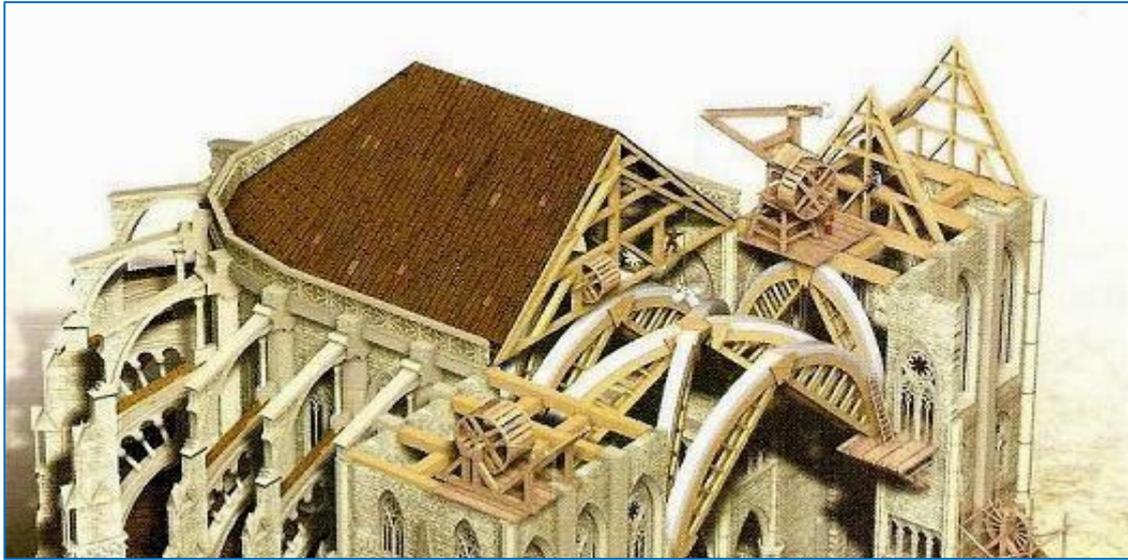
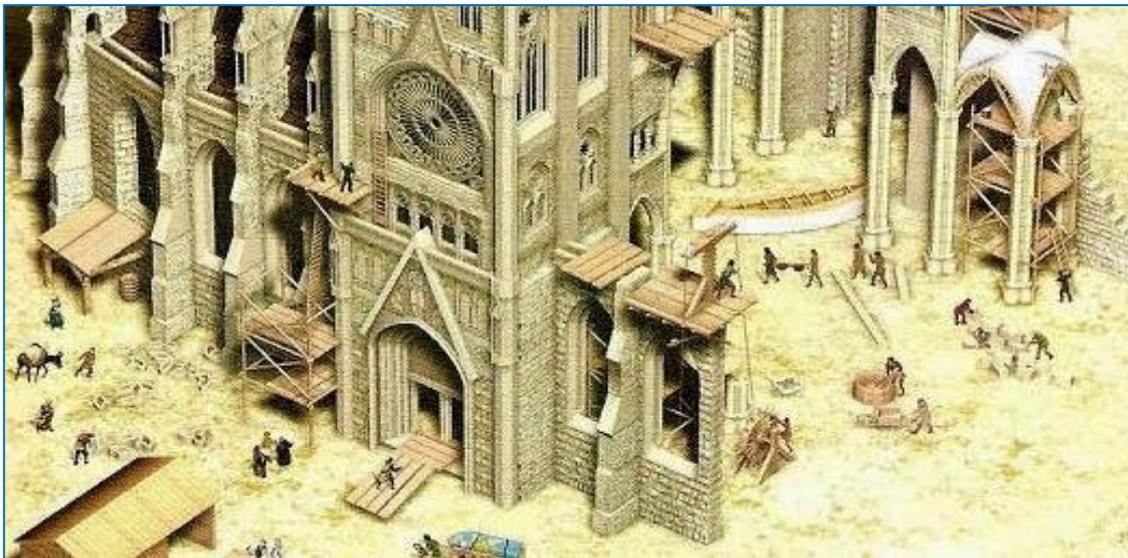


# Proyecto Fin de Grado



## Análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval



**Autor:** Manuel Moreno Reina

**Tutor:** Rafael Llácer Pantión



Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Universidad de Sevilla. Curso 2020/21



---

## Análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval

---

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar  
y aprender en el *laberinto* de la vida.

**Laberinto catedral de Chartres, Francia.**

Los laberintos fueron una práctica habitual en algunas catedrales y solían ser circulares, símbolo de Cristo. Algunos autores sostienen que sus recorridos simbolizaban una hipotética peregrinación hacia Jerusalén.

## Contenido.

1. Introducción.....	5
2. Fundamentos de la investigación.....	6
2.1. Interés y oportunidad de estudio.....	6
2.2. Ámbito de aplicación.....	6
3. Estado de la cuestión.....	8
4. Objetivos.....	9
5. Metodología.....	10
5.1. Tipología de trabajo.....	10
5.2. Competencias.....	11
5.3. Proceso de elaboración.....	11
5.4. El tutor.....	12
5.5. Estructura del estudio.....	13
6. Análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval.....	14
6.1. Contexto constructivo: el románico como precedente del gótico.....	14
6.2. Inicios del gótico.....	16
6. Suelo medieval y contemporáneo.....	17
7. Proyectos constructivos de ayer y hoy.....	19
8. Recursos materiales y humanos del proceso de edificación.....	21
8.1. Agentes de la edificación.....	22
8.2. Los oficios de una catedral.....	28
8.3. Recursos materiales.....	31
9. Gestión y aspectos organizativos.....	32
9.1. Órganos de gobierno.....	32
9.2. Gestión y transporte de los materiales.....	36
9.3. Otros condicionantes del proceso.....	39
10. Etapas constructivas.....	43
10.1. Fases comunes.....	44
<i>Levantamiento y movimiento de tierras.</i> ....	44
<i>Cimentación.</i> .....	45
<i>Estructura.</i> .....	46
<i>Cerramientos.</i> .....	50
<i>Cubiertas.</i> .....	52
10.2. Fase disonante: instalaciones.....	60

11. Equipos de obra y medios auxiliares.....	62
11.1. Grúas de tracción humana. ....	62
<i>Origen de las grúas.</i> .....	62
<i>Las grúas en las catedrales.</i> .....	63
<i>Las grúas en el gótico.</i> .....	65
11.2. Andamios medievales. ....	66
<i>Un desafío, la altura.</i> .....	66
<i>Origen de los andamios.</i> .....	68
<i>Los andamios en el gótico.</i> .....	70
11.3. Equipos de obra actuales. ....	73
<i>Grúas de pequeño brazo.</i> .....	74
<i>Grúas torre.</i> .....	75
<i>Plataformas Elevadoras Móviles de Personal (PEMP).</i> .....	77
12. Conclusiones. ....	79
13. Reflexión del alumno. ....	81
14. Fuentes.....	82
14.1. Bibliografía. ....	82
14.2. Artículos y otras publicaciones.....	83
14.3. Normativa.....	84
14.4. Enlaces de internet.....	85

## 1. Introducción.

Siempre han impresionado sobremanera las colosales construcciones de épocas pasadas: las pirámides de Egipto en la Antigüedad, el traslado del obelisco de 344 toneladas al centro de la plaza del Vaticano o la construcción de magnánimas catedrales en la Edad Media. ¿Por qué? Porque una de las necesidades del ser humano siempre ha sido **construir**.

Los medios tecnológicos que hoy disponemos hacen que se pierda la admiración a la gestión y los procesos constructivos que formaron parte de unos hitos históricos al alcance de verdaderos genios. Todo lo que circunda a estos proyectos, por el simple hecho de haber sido construido en períodos tan oscuros, hacen de ellos una proeza: por la adaptación en los materiales a emplear, por la gestión de los agentes intervinientes de restringida capacidad y, sobre todo, por las limitaciones de los procesos constructivos.

Un punto clave para hacer factibles estas edificaciones era la tecnología, un elemento que, si bien, siempre ha existido, era muy limitante en épocas pasadas. Pero, esa misma limitación quizás es a la que debemos que las aspiraciones constructivas fueran cada vez más ambiciosas. Así, en una catedral medieval, la pugna por llegar al cielo era una metáfora en sí misma: llevar a Dios en la tierra al reino de los cielos.

Los novedosos elementos constructivos como contrafuertes y arbotantes permitieron la apertura de grandes vanos en las fachadas por medio de los cuales entraba luz. Las ventanas vidriadas lograron que las catedrales dejaran de ser templos sombríos para pasar a ser lugares resplandecientes de luz y color.

Para hacer posible esa arquitectura, los avances constructivos convivieron con un hito sin parangón: la altura. Esta supuso un objetivo primordial del estilo gótico<sup>1</sup> y para lograrla se sirvió de dos elementos clave:

- Los andamios como medios auxiliares que permitían el trabajo de los albañiles en altura.
- Las grúas y, en concreto, las de tipo treadwheels<sup>2</sup> de tracción humana como los sistemas de elevación para el izado de los materiales.

Con materiales que se podían elevar y mano de obra que podía trabajarlos, la altura se convirtió en admiración hacia unas obras de construcción que, con técnica y precisión, levantaban majestuosos templos de envidiable factura.

En este estudio nos centraremos en las catedrales góticas europeas para analizar cómo un entramado constructivo tan complejo y perfeccionista pudo repetirse en tantos proyectos con indudable éxito y repercusión. No obstante, y dado que somos conscientes de que multitud de publicaciones ya han contribuido a enriquecer este asunto, es nuestra intención aportar una visión ligeramente distinta. Así, analizaremos las técnicas constructivas de hoy contrastándolas —no comparándolas— con las medievales. El estudio nos llevará a examinar similitudes y diferencias de dos etapas completamente distintas y muy separadas en el tiempo, pero con la

---

<sup>1</sup> El gótico es el estilo arquitectónico desarrollado en Europa desde mediados del s. XII hasta el Renacimiento en el s. XV, coincidiendo por tanto con el período de la Baja Edad Media.

<sup>2</sup> Término inglés procedente de la unión del concepto «tread» que significa «pisado» y «wheel» que significa «rueda». Podemos, por tanto, traducir las treadwheels como «ruedas de pisado».

misma premisa porque, como decíamos al principio, una de las necesidades del ser humano siempre ha sido **construir**.

## 2. Fundamentos de la investigación.

Hablar de catedrales es adentrarse en un universo tan extenso como se desee. El seno de la construcción de un edificio tan imponente como un templo catedralicio ha alimentado, como indicábamos en la introducción, multitud de publicaciones dada la repercusión que tan insignes obras supusieron y, a día de hoy, aún suponen a la humanidad.

La arquitectura es uno de los seis artes desde tiempos remotos de la Antigüedad junto a la escultura, la pintura, la música, la danza, la poesía-literatura. De todos, sostengo que la arquitectura es la única que tiene utilidad tangible, pues sirve para algo. Esto no quiere decir que otras ramas del arte no resulten útiles, sino que simplemente se centran más en el esplendor y la admiración de la propia obra.

En cambio, la arquitectura tiene un objetivo muy directo: se construye para vivir (casas), para jugar (estadios), para estudiar (universidades), incluso para enterrar (cementeros). Podemos decir que toda actividad condiciona las construcciones que la arquitectura hace patente; o, dicho de otro modo, la arquitectura es el arte que adapta a las personas a la sociedad.

¿Y cuáles eran las actividades del medievo? Fundamentalmente dos constituyeron las actividades esenciales: el comercio y el rezo. Para ambas prácticas se construían, respectivamente, mercados e iglesias. Y, dentro de la construcción de templos, las catedrales son las edificaciones que, por envergadura, supusieron un enorme reto en el arte de la arquitectura y por ello nos centraremos en ellas.

### 2.1. Interés y oportunidad de estudio.

Aunque muchas fuentes nos puedan informar de las construcciones del pasado, nuestro interés y oportunidad de estudio se halla en la **gestión y construcción de una catedral medieval** si lo contrastamos —insistimos, no comparamos— con las técnicas de hoy en día. Para ello, nos vamos a servir del esquema global que albergaría a día de hoy todo proceso edificatorio e iremos analizando punto a punto qué parámetros fueron compartidos y cuáles resultarían carentes de sentido en una sociedad medieval.

En este análisis no nos vamos a ceñir a un único ejemplo constructivo medieval, pues veremos que, para los diferentes puntos que queremos tratar —soluciones constructivas, errores cometidos, etc.—, resultará más interesante escoger toda la variedad de catedrales europeas, pues cada una destacó por motivos concretos.

### 2.2. Ámbito de aplicación.

El estudio se desarrolla en un doble espacio temporal: de un lado, la Edad Media y, particularmente, la segunda etapa de esta etapa histórica, la Baja Edad Media (siglos XII al XV); de otro lado, la edad contemporánea, es decir, nuestro presente.

La Edad Media es el periodo más extenso de nuestra Historia. Alberga las centurias comprendidas entre los siglos V y XV. Esta etapa se inicia con la caída del Imperio Romano de Occidente en el 476 a.C. y tiene su punto final, según la fuente consultada, o bien con la caída del Imperio Romano de Oriente —también denominado Imperio Bizantino— en el año 1453; o bien, con el descubrimiento de América en el año 1492. La Edad Media se divide, a su vez, en dos grandes etapas:

- **Alta Edad Media:** Corresponde a los siglos V al XI. El término *alta* hace referencia a *lo antiguo* y se denomina así porque en alemán *alt* significa *viejo*.

¿Por qué se caracteriza este período? Por la herencia recibida de la época Antigua. Destacan el empobrecimiento debido a las dificultades socio-económicas del momento y una crisis en el sector constructivo que hizo que la etapa resultara muy poco esplendorosa para la arquitectura. Autores como Graciani, A. afirman «*los únicos avances clásicos que debieron perdurar en esta época serían aquellos que permitiesen disminuir el coste del proceso constructivo como, por ejemplo, los andamios empotrados de época romana*»<sup>3</sup>.

- **Baja Edad Media:** Corresponde a los siglos XII al XV. El término *baja* hace referencia a *lo reciente*.

¿Por qué se caracteriza este período? Al desarrollo y perfeccionismo de contribuciones de épocas pasadas derivado del paréntesis carente de novedad de la Alta Edad Media. Es en este período donde se enmarcan las construcciones de catedrales en las que nos vamos a centrar.

¿Y por qué hubo desarrollo en este período? Se apunta al auge de la navegación como uno de los factores influyentes que impulsaron este tiempo de perfeccionamiento sobre lo desarrollado en épocas pasadas. Por ejemplo, el empleo de la energía hidráulica se hace patente con las ruedas de molino en los ríos. Estos molinos no se usaban únicamente para la molienda del grano y fabricación de cereal, sino que en construcción se usaba indirectamente para mover las sierras y accionar los fuelles<sup>4</sup> y martinetes<sup>5</sup> de las ferrerías.

---

<sup>3</sup> Graciani García, A., *La técnica de la Arquitectura en la Antigüedad*, P. 125.

<sup>4</sup> Instrumento para recoger aire y lanzarlo a una dirección determinada con gran fuerza debido a la reducción del diámetro del orificio de entrada con respecto al de salida.

<sup>5</sup> Mazo de gran peso para funciones como batir metales, abatanar paños, etc.

### 3. Estado de la cuestión.

Como veníamos diciendo, el paso de tantos siglos desde que las primeras catedrales medievales se construyeron nos ha dejado un legado de numerosas y ricas fuentes documentales. A este respecto, el estado de la cuestión que rodea a estos templos y, a los de estilo gótico en particular, es inmenso y de excelente calidad.

Nos gustaría dividir en dos las clases de fuentes documentales que hay al respecto. De un lado, se dan publicaciones sobre las catedrales centradas en su propio concepto como edificio religioso: estilo constructivo, salas que lo componen, elementos que contiene, etc. Por otro lado, y dado que nuestro enfoque era más constructivo, hemos hallado una nutrida red de ensayos, artículos y divulgaciones centradas en el propio proceso de la obra edificatoria. Consideramos que, seguramente, tantas publicaciones sobre procesos constructivos se deban al carácter transformador inherente al estilo gótico, el cual demandó nuevas formas de construir a partir de las innovaciones que aportó a la arquitectura del momento.

Sobre autores podemos citar muchos —Rafael Cómez Ramos, Antonio Castro Villalba, etc.—, pues son innumerables los que han contribuido a alimentar esta interesante rama de la arquitectura, pero nos han resultado especialmente interesantes:

- **Malcolm Hislop**, consultor arqueológico centrado en la investigación e interpretación de las construcciones históricas. Durante muchos años, se centró en documentar los trabajos de John Lewyn de Durham, maestro constructor del siglo XIV. Nos ha resultado imprescindible este autor por su publicación «*Cómo construir una catedral*» en la que hace una exhaustiva descripción del proceso de diseño y construcción de una catedral medieval. A través de dibujos y esquemas, relata todas las etapas de la edificación y los aspectos que el gótico imploró: la planta del edificio, sus muros y distribución de las cargas, las cubiertas, la altura, las vidrieras, etc.
- **Félix Escrig Pallarés** fue catedrático de estructuras de la Escuela de Arquitectura de Sevilla y director de la misma entre 1989 y 2001. Sus publicaciones se hallan más centradas en estudios estructurales de las catedrales, pero sus análisis nos han aportado útil y eficaz información sobre los procesos constructivos de las catedrales. En concreto, nos gustaría resaltar su publicación, junto a Juan Pérez Valcárcel, «*La modernidad del gótico*» en la que se hace un pormenorizado estudio estructural de las catedrales de León y Sevilla. Dicho análisis nos ha permitido comprender mejor el comportamiento estructural de elementos esenciales del gótico como las bóvedas de crucería.
- **Juan Clemente Rodríguez Estévez**, profesor titular de la Universidad de Sevilla en el departamento de Historia del Arte y vinculado tanto al área de Geografía e Historia como al de Arquitectura. Nos resulta especialmente destacable su apartado «*Los constructores de la catedral*» en el libro «*La catedral gótica de Sevilla. Fundación y fábrica de la obra nueva*». El punto de vista centrado en la gestión constructiva nos ha permitido adentrarnos y conocer los múltiples aspectos organizativos del entramado constructivo de una catedral: el provisionamiento de los materiales, los órganos de gobierno de las obras y, muy especialmente, la profesión de los canteros.

## 4. Objetivos.

El objetivo general de este estudio es hacer un pormenorizado **análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval**. A día de hoy, todo está legislado (tipos de suelo, documentación, agentes del proceso, etc.) pero en los siglos XII-XV todo estaba por hacer. He aquí un análisis de cómo pudo funcionar con tanta solvencia el levantamiento de catedrales por toda Europa en la Edad Media a pesar de la merma académica y las limitaciones tecnológicas propias de aquella etapa.

Dado el gran despliegue de publicaciones existentes en relación a las catedrales, pretendemos con nuestro trabajo componer un texto de carácter expositivo en el que **reunir, ordenar y tratar** el tema objeto de estudio. No obstante, es nuestra intención también aportar un punto de vista diferente y para ello **contrastaremos** la gestión, los agentes intervinientes, las etapas constructivas y los equipos de obra de un proyecto catedralicio medieval y uno contemporáneo. A este respecto, podría resultar poco coherente confrontar dos épocas tan distanciadas en el tiempo, dado que todo lo que envuelve las circunstancias en cada caso son totalmente dispares.<sup>6</sup> Sin embargo, el levantamiento de las catedrales es algo tan magnánimo que consideramos que aún a día de hoy sería un proyecto de cuestionable mérito para cualquier técnico que osara enfrentarse. Es por ello por lo que nos suscita interés diferenciar qué y cómo se hizo posible antes y qué y cómo se haría posible hoy, pues el nexo común de qué se hacía y quién lo hacía posible sigue siendo el mismo:

- **Qué** se hacía y qué se hace: construir.
- **Quién** lo hacía y quién lo hace: el hombre.
- **Cómo** se hacía y cómo se hace: ¿? He aquí el tema objeto de estudio, pues si el qué y el quién son compartidos, obviamente la diferencia radica en el cómo, pues ni las aptitudes académicas son las mismas entonces que ahora ni, por supuesto, la tecnología existente siglos atrás se podría comparar con la actual.

Además, tiene por objetivo nuestro estudio hacer una evaluación completa del proceso edificatorio de las catedrales por medio de una fórmula que, consideramos, condiciona el éxito de todo proyecto en función de cuatro parámetros: el plazo, el coste, la calidad y la seguridad.

Por último, indicar que el propio análisis llevado a cabo sobre las catedrales nos ha conducido a un objetivo secundario que desenmascarará aquellos proyectos que no fueron casos de éxito. En concreto, trataremos en profundidad el error más temido por todos: el derrumbe. Por tanto, el estudio nos llevará a conocer y detectar también las carencias en los procesos y qué y cómo se afrontaban para seguir adelante.

---

<sup>6</sup> En cierto modo, nuestro texto compone un análisis historiográfico entendiendo por este el estudio bibliográfico y crítico de escritos sobre historia y autores que han tratado estas materias. A este respecto, podemos citar *La historia de las mentalidades* como corriente historiográfica surgida a mediados del siglo XX en Francia como una forma de historia social y cultural (filosofía, psicología, antropología e historia del arte) con el fin de analizar, investigar y estudiar lo que otras sociedades o personas del pasado pensaban, razonaban y manifestaban en su época.

## 5. Metodología.

Para aplicar una metodología hay que conocer con exactitud ante qué tipo de trabajo nos enfrentamos. A tal efecto, se ha consultado la guía «*Proyecto Fin de Grado*» que la ETSIE pone a disposición del alumnado. De acuerdo a ella, la estructura y composición de nuestro trabajo cumple las siguientes premisas:

- Está orientado a la aplicación de las atribuciones que otorga el título y se basa, de igual modo, en competencias asociadas a la titulación.
- Nos ha capacitado en la búsqueda, gestión, organización e interpretación de datos relevantes del área de estudio.
- Nos ha permitido emitir juicios que incluyan reflexión y extracción de conclusiones adaptadas a los objetivos previamente planteados.
- Nos ha facilitado el desarrollo de un pensamiento y juicio crítico, lógico y creativo.

### 5.1. Tipología de trabajo.

De acuerdo al apartado **8. Estructura y tipos de PFG** de la citada guía, encontramos que existen: trabajos documentales, trabajos empíricos, proyectos tecnológicos y proyectos de intervención. De todos, la guía destaca que «*la mayoría del alumnado, así como los profesionales de este campo no incluyen la investigación como meta para su futura tarea. Esto provoca que se le asigne poca importancia a la labor investigadora*». En cambio, en mi elección se haya indirectamente esta labor de investigación, pues pese a suponer quizás un trabajo más complejo o, al menos, más teórico, cumplíamos el contexto que la guía sugiere:

- Sentirse cómodo con el tema escogido. Que suscite interés y motivación.
- Que se trabaje en un área viable, resultando operativo el estudio.
- Contar con los recursos y medios necesarios.

En nuestro caso, se trata de un **trabajo documental tipo monográfico** entendido como tal el trabajo escrito, metódico y completo sobre una determinada ciencia o asunto en particular — en nuestro caso, las catedrales góticas—. Para entender mejor el significado del término monografía basta con acudir al griego, de donde es original el vocablo, y ver que se compone por la expresión *monos* que significa única y *graphein* que expresa escritura, por lo tanto, nuestro trabajo pretender ser una escritura única a partir del enfoque con el que lo hemos orientado.

Además, consideramos que esta monografía cumple con las características de este tipo de estudio: correctamente documentado, redactado y presentado. A tal efecto, hemos seleccionado únicamente las publicaciones que consideramos han sido de valor a nuestro enfoque centrándonos en la gestión, en los procesos constructivos clave y en el material y oficio básico que hicieron posible las catedrales: la piedra y los canteros.

Consideramos que la forma en la que el estudio aumenta el conocimiento sobre las catedrales es a través del punto de vista que se ofrece y que se ha detallado en los objetivos. Este punto de vista hace de nuestro análisis un pequeño enriquecimiento al tema objeto de estudio dado que no se han localizado publicaciones que analicen la construcción de las catedrales medievales en nuestra misma dirección.

## 5.2. Competencias.

De todas las competencias presentes en la guía asociadas a un PFG, nos gustaría destacar aquellas que hemos visto presentes con mayor arraigo en nuestro recorrido:

- G01. Capacidad de organización y planificación.
- G02. Capacidad para la resolución de problemas.
- G03. Capacidad para tomar decisiones.
- G04. Aptitud para la comunicación oral y escrita de la lengua nativa.
- G05. Capacidad de análisis y síntesis.
- G06. Capacidad de gestión de la información.
- G15. Capacidad de comunicación a través de la palabra y de la imagen.
- G16. Capacidad de búsqueda, análisis y selección de la información.
- G20. Capacidad de reunir e interpretar datos relevantes.
- G21. Transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

## 5.3. Proceso de elaboración.

Para comenzar a elaborar algo lo primero que se tiene que saber es sobre qué se quiere escribir. Así, la elección del tema fue lo primero que se hizo. En mi caso, lo cierto es que no fue algo extenso ni complejo de decidir, pues tenía muy claro que el enfoque iba a ser relacionado con las catedrales. Sin embargo, el tutor me incidió que, pese a tratarse de un trabajo monográfico, debía contar con un mínimo de aportación al tratamiento del tema. De esta forma, más que por decisión, la propia fase de documentación hizo que se sucedieran algunas ideas, llegando a escoger la que finalmente hemos optado: análisis la gestión y el proceso constructivo de una catedral medieval contrastando la época en la que tuvieron lugar con nuestros días. En esta elección del tema, se tuvieron en cuenta los puntos que la guía del PFG establece, entre ellos:

- Restringir y limitar el tema para ser realista en sus objetivos.
- Valorar la preparación personal y si mis capacidades me permiten abordar la cuestión con rigor.
- Elegir un tema que nos apasione.
- Tener en cuenta siempre la opinión del tutor.

Nuestra monografía, como todas, es un trabajo científico que surge como producto de una investigación bibliográfica estudiada de forma exhaustiva. Dado nuestro enfoque generalista no solo ceñido a la construcción, sino también centrado en la gestión llevada a cabo en estos proyectos medievales, nuestro punto de partida ha sido variado, pues debíamos documentarnos en:

- Métodos constructivos de catedrales.
- Características e improntas del estilo gótico.
- Gestión de proyectos constructivos.
- Figuras o agentes de la edificación que intervenían.
- Estructura de la sociedad medieval.

En la búsqueda de documentación ha sido particularmente importante el uso del catálogo FAMA de la Universidad de Sevilla. Constituido por una completa oferta, tanto en línea como en la modalidad de préstamo, con la que hemos podido abordar todos los puntos detallados en el

anterior listado. Por otra parte, internet ha sido una fuente fundamental para el aporte gráfico con el que hemos querido dotar a nuestro estudio.

Un universo de publicaciones tan amplio relacionado con las catedrales nos complejizaba en cierta forma la elección de títulos. Sin embargo, ajustando nuestro enfoque y siguiendo las recomendaciones del tutor, se han seleccionado las obras que consideramos que mejor trataban los puntos en los que nos queríamos centrar.

Tras el proceso de búsqueda y elección de la bibliografía, lo cual ha sido un proceso vivo durante todo el trabajo, se ha desarrollado la documentación que se aporta de forma lógica, con un enfoque metódico, plenamente objetivo y siendo todo lo didáctico posible. Además, se ha pretendido hacer un análisis visual dotando el trabajo de multitud de imágenes que ayuden a entender mejor el texto, contextualizarlo y sirvan como asimilación del contenido.

Una vez compuesto el cuerpo documental y gráfico del trabajo, llegó la hora del punto más importante: extraer conclusiones. Y ese aspecto iba acompañado de otro igual de importante: responder a los objetivos planteados. Con las conclusiones extraídas tuvimos que regresar a los objetivos planteados en un primer momento y analizar si estos se habían logrado y en qué medida.

#### 5.4. El tutor.

Como alumno, puedo presumir de haber contado con un profesor implicado desde el primer momento. Los consejos, recomendaciones y orientaciones del Doctor D. Rafael Llácer Pantión han sido fundamentales para la constitución de este PFG. El alumno le propuso un trabajo continuo a lo largo del cuatrimestre con tres entregas espaciadas en el tiempo: noviembre, diciembre y enero. Detallamos a continuación esta constitución progresiva del trabajo:

- En la primera entrega nos centramos en el contexto del trabajo, es decir la introducción, los fundamentos de la investigación y los objetivos que se pretendían conseguir. Además, comenzamos con la búsqueda de información y un aporte documental como primera toma de contacto centrado en las grúas treadwheel y los andamios medievales.
- En la segunda entrega, la correspondiente al mes de noviembre, profundizamos el apartado documental dando forma al trabajo y desarrollando dos apartados fundamentalmente: los agentes del proceso y etapas constructivas. Después de que el tutor leyera la entrega, me propuso una tutoría en la que analizamos todo el avance del trabajo. Obtuve sabios consejos, me recomendó interesantes autores y establecimos unas pautas de trabajo a llevar a cabo en la tercera y última entrega, la que sería la primera del trabajo completo.
- En la tercera entrega se ajustaron los objetivos y se extrajeron las conclusiones y se completaron los apartados que quedaron pendientes de desarrollo. Además, se dio formato al trabajo, se incluyó la bibliografía y se aplicaron las recomendaciones dadas por el tutor en la revisión de la anterior entrega, tales como enriquecer algunos apartados o revisar el esquema organizativo a fin de contar con una estructura coherente.

He encontrado una frase en la guía que, particularmente, creo que define perfectamente el proceso de este trabajo: *La transferencia de conocimientos culmina la construcción del*

*aprendizaje*. Pese a que un PFG no ha tenido la docencia habitual como la de cualquier otra asignatura de clase, las tutorías han servido como pautas de orientación y consejo haciendo que la experiencia del tutor se traslade al alumno, dando como resultado un aprendizaje reflejado en este trabajo.

### 5.5. Estructura del estudio.

El trabajo se encuentra organizado en los siguientes apartados:

- **Suelo medieval y contemporáneo.** Analizaremos dónde y cómo se podía construir antes y dónde y cómo se puede hacer ahora y veremos la regulación normativa que legisla este aspecto previo a la edificación e, incluso, a un anteproyecto: su emplazamiento.
- **Proyectos constructivos de ayer y hoy.** Trataremos la documentación previa necesaria para edificar. Antaño no eran necesarios visados de colegios profesionales y los simples dibujos de un maestro de obras valían para contagiar al promotor del proyecto las ganas por hacer realidad las catedrales.
- **Recursos materiales y humanos del proceso de edificación.** Analizaremos los agentes y lo oficios del proceso que formaron parte en las construcciones catedralicias y las contrastaremos con las figuras necesarias a día de hoy. Del mismo modo, examinaremos la piedra como materia prima esencial en las obras medievales.
- **Gestión y aspectos organizativos.** Describiremos la organización de una obra catedralicia medieval y trataremos la gestión del transporte de material, así como otros condicionantes del proceso constructivo.
- **Etapas constructivas.** Analizaremos las diferentes etapas que tanto hoy en día como en la Edad Media se llevaban a cabo en obra: levantamiento, movimiento de tierra, cimentación, estructura, cerramientos y cubiertas. Sin embargo, una etapa aún no existía o, al menos, no del todo: las instalaciones. Trataremos qué albergaba esta fase que hoy es fundamental para la arquitectura contemporánea.
- **Equipos de obra y medios auxiliares.** Examinaremos los dos elementos que permitieron construir en altura: las grúas de tracción humana y los andamios medievales. Asimismo, repasaremos las ventajas que los equipos de obra y medios auxiliares empleados a día de hoy nos reportan en la actualidad.

## 6. Análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval.

### 6.1. Contexto constructivo: el románico como precedente del gótico

La destrucción del Imperio Romano<sup>7</sup> en el 476 produjo un colapso de la sociedad que afectó sobremanera a las vías de comunicación. Con los caminos rotos, el transporte y el comercio dejó de ser seguro y esto perduró durante varios siglos con un receso de avances en todos los aspectos. Pese a que cada zona buscó soluciones a este gran inconveniente, no se dieron apenas construcciones de edificios, pues no se requerían foros, termas o anfiteatros. Poco a poco, las pocas construcciones que se iniciaron se centraban en iglesias, templos, monasterios o palacios, y la construcción civil se limitó a la protección a través de murallas para las ciudades y, rara vez, algún puente que, casi siempre, se construía a partir de otro en mal estado de época romana.

El fraccionamiento del poder propio de la Edad Media no permitió la acumulación de riqueza necesaria para construir grandes edificios en los primeros siglos medievales. Con el paso de los siglos, se trataría de imitar a la arquitectura romana y, precisamente por eso, surgió el arte románico<sup>8</sup>, el cual fue el estilo artístico predominante en Europa Occidental durante los siglos XI, XII y parte del XIII. Tuvo lugar así el inicio de una organización social que supuso progreso, pues dio origen a la especialización de oficios y artesanos y el surgimiento de las primeras cuadrillas que, constituidas en grupo, se desplazaban hacia donde había obras de edificación.<sup>9</sup> Esta organización hizo que tuviera lugar un intercambio de ideas y técnicas, lo que progresivamente contribuyó a que el románico se constituyera como un estilo. Además, dos hitos terminaron por ser el detonante del desarrollo de este estilo: la expansión de la Abadía de Cluny y las peregrinaciones como la del Camino de Santiago, le cual permitió contacto y comunicación con personas de toda Europa.<sup>10</sup> Ambos puntos marcaron todos los aspectos de la vida:

- Impulsaron el comercio permitiendo la circulación de la moneda como sistema de pago.
- En la edificación supuso el contacto de profesionales de diferente nacionalidad con el consecuente intercambio de conocimiento, técnicas y experiencia a partir del latín medieval, lengua hablada por cualquier persona culta de la época.

Poco a poco, el arte románico de edificar dio paso a modestas construcciones con bóvedas de piedra debido a la complejidad que representaba la técnica del hormigón romano. Con el tiempo, el estilo fue evolucionando de lo heredado de Roma y, por ejemplo, desde el s. IV es costumbre añadir torres y campanas adosadas a las basílicas e iglesias para avisar de la llegada de piratas vikingos a través de las costas británicas.

---

<sup>7</sup> La caída del Imperio Romano de Occidente tuvo lugar cuando el último emperador, Rómulo Augústulo, fue depuesto en la ciudad de Roma.

<sup>8</sup> El arte románico fue el primer arte unificado del mundo cristiano occidental y cuyo principal desarrollo tuvo lugar en Francia (Loira, Languedoc y Rosellón) e Italia (Lombardía).

<sup>9</sup> Así fue como, por ejemplo, canteros franceses participaron en la construcción de la Catedral de Santiago de Compostela. Este hecho se conoce por el tipo de sillar empleado en la construcción de la catedral de Santiago, pues era de pequeño tamaño como acostumbraban a hacer los canteros en Francia, su país de origen.

<sup>10</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P., *La modernidad del gótico*, p. 117.

Como indicábamos anteriormente, el desarrollo constructivo debe mucho a las órdenes monásticas, pues eran las únicas que disponían de medios para sufragar edificios de consideración y no es hasta el s. XI cuando la orden de Cluny comenzó a construir grandes abadías. El estilo en ellas abandonó el románico, pues las bóvedas de cañón necesitaban excesivo material por el grosor que requerían, ya que los empujes horizontales hacían necesarios muros de gran espesor. El aligeramiento del material derivó en la aparición de arcos fajones cuyo cometido era concentrar esfuerzos al ser de mayor rigidez, lo que permitía aligerar los muros de apoyo.

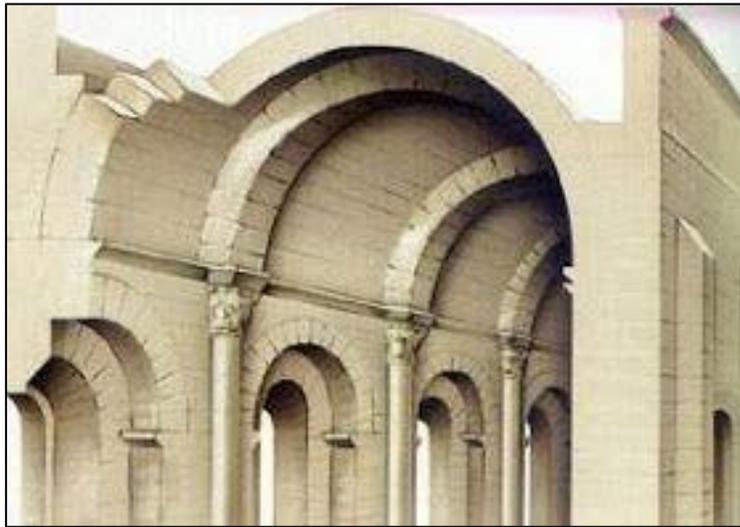


Ilustración 1. Arcos fajones en bóveda de cañón.  
Fuente: Web <http://www.artinternacional.com>

Esta es la solución origen de la estrategia por «llevar los empujes superiores al suelo lo más lejos posible de la bóveda»<sup>11</sup> que es, en definitiva, la función de los arbotantes. Poco a poco se fue configurando una nueva forma de construir en la Edad Media y para terminar de contextualizar esta nueva etapa constructiva surgieron dos hitos importantes: los materiales empleados y la mecanización de procesos.

- **Los materiales:** Junto a la piedra, empleada por excelencia en la Antigüedad, en la Edad Media prolifera la madera. Se convirtió en una materia prima fundamental y permitió la progresiva desaparición de la rampa<sup>12</sup> y el escalonamiento de muros<sup>13</sup> como mecanismos constructivos propios de épocas pasadas en favor de los andamiajes.

La abundancia de la madera la hizo valer no solo para el empleo en aprestos constructivos como el, ya mencionado, andamio o maquinaria de elevación (grúas de un

---

<sup>11</sup> Aroca, R., *Edificios mágicos*, p. 159.

<sup>12</sup> La rampa constituyó en la Antigüedad un método constructivo heredado del Neolítico empleado para la elevación de materiales. Su principal virtud era la reducción del esfuerzo físico por parte de los trabajadores que sobre ella ascendían los materiales generalmente colocados sobre ejes de ruedas.

<sup>13</sup> El escalonamiento de muros es otro método constructivo de la Antigüedad alternativo al empleo de maquinaria en obra. Consistía en construir un muro a modo de escalera peldañeada de forma que las hiladas reducen longitud a medida que crecen en altura, lo que sirve a los albañiles para trepar y avanzar la construcción del muro. No un método adecuado, ya que por sí mismo no permite culminar un proceso constructivo completo.

brazo en L invertida o de dos brazos en T), sino también para la elaboración de herramientas, como plumadas y compases. Además, los residuos de las maderas eran útiles en esta época para uso combustible, pues a partir de los restos, los carpinteros fabricaban carbón de madera.

- **La mecanización:** La invención de cierta mecanización sobre aprestos total o parcialmente manuales, hicieron florecer en el medievo el ritmo de las construcciones. Hasta esta época la mayor parte de la energía empleada era animal o simplemente humana; en cambio, desde ese momento, ciertas tareas se fueron mecanizando permitiendo a la sociedad proponerse nuevos retos y alcanzar objetivos hasta ahora inimaginables, como construir en las alturas que demandaba el gótico.

## 6.2. Inicios del gótico

Se puede considerar que el **14 de julio de 1140** como fecha de inicio de la arquitectura ojival<sup>14</sup>, más tarde renombrada como gótico. Ese día, Suger<sup>15</sup> inauguró el nuevo coro de la abadía de Saint Denis (Francia), cuyo techo traía una novedad constructiva sin parangón: **la bóveda de crucería**. Esta solución arquitectónica supuso tal revulsivo que solo un siglo después había en Francia ochenta catedrales góticas construidas.

Lo que empezó en Saint Denis se confirmó en otros puntos de Francia, como Notre Dame y en Chartres. Y no se quedó solo allí, pues se extendió al resto de Europa como una nueva forma de construir, sencilla, elegante y, lo más importante, resistente. El gótico tuvo la fortuna de surgir junto a una prosperidad económica de monarquías nacientes y el deseo siempre presente de prestigio de los poderes religiosos y políticos.

Las catedrales, más que un lugar de reunión para los fieles, *«eran una demostración del poder de la ciudad (...) Más que un objeto de uso, era una referencia importante para la actividad comercial, ya que en el entorno se celebraban los mercados y se agrupaban los comercios»*.<sup>16</sup> De hecho, eran habituales las prácticas de transacciones<sup>17</sup> dentro de la propia catedral donde se guarnecían de las inclemencias meteorológicas. Como anécdota, en Sevilla, el Cabildo Catedral puso como relieve en una de las puertas del templo la expulsión de los mercaderes del Templo, una escena evangélica también conocida como la purificación del Templo protagonizada por Jesucristo en las vísperas de la Pascua judía, en clara alusión al deseo del Cabildo de expulsar a los mercaderes del interior de la Catedral.

---

<sup>14</sup> Aunque arco ojival es de clara tendencia árabe, constituyó una marca del gótico por la frecuente vinculación de España con los países islámicos: por un lado, el conflicto bélico estaba latente entre reinos cristianos y árabes (Italia, Francia, Inglaterra, Austria, Flandes...); y, por otro, el comercio tenía una potente vía abierta con ellos a partir de los puertos italianos de Génova y Venecia.

<sup>15</sup> Abad de Saint-Denis (Francia) desde 1122 que enriqueció la nueva iglesia basilical de la abadía que presidía en un naciente estilo gótico.

<sup>16</sup> Aroca, R.: *Op. Cit.*, p. 166.

<sup>17</sup> En el s. XII Chartres (Francia) ya era un gran centro de peregrinación que celebraba hasta cuatro ferias anuales en honor a la Presentación, Anunciación, Asunción y Natividad de la Virgen.

## 6. Suelo medieval y contemporáneo.

Aunque todo proceso constructivo parezca que se centra en la edificación, el aspecto más importante por el que se comienza una obra es por el terreno donde se pretende construir. En la Edad Media el suelo, aunque tenía dueño, ni se clasificaba —definición de clases: urbano, urbanizable, no urbanizable— ni se calificaba —asignación de usos: residencial, industrial, uso terciario, dotacional, etc.—.

Las diferencias a la hora de poder edificar son notorias si contrastamos el suelo medieval y el contemporáneo. Este aspecto que regula la edificación hoy en día se encuentra legislado como otros tantos; en cambio, cuando se erigían las grandes catedrales en Europa, lo único que primaba era la ubicación: un lugar céntrico alrededor del cual se constituiría el mercado de forma que en un mismo enclave se aunaran los dos poderes que movían la sociedad: el económico y el eclesiástico.

Este periodo sin normalizar la gestión del suelo se va a prolongar durante muchos siglos. En concreto, en España no será hasta el siglo XIX cuando tres preceptos reglamentarios regulen de cierto modo el uso del suelo:

- **Leyes que establecieron alineaciones.**
  - Se estableció la Real Orden de 25 de julio de 1849 por la que se obligó a los ayuntamientos de crecido vecindario (mayor a 8.000 habitantes) a levantar el plano geométrico de la población.
  - Apareció la licencia de edificación en la Real Orden de 10 de junio de 1854 y 10 de junio de 1865 para exigir fijar la línea de fachada mediante la denominada línea de tira de cuerda.<sup>18</sup>
- **Leyes que regularon el ensanche.** La primera ley de ensanche de poblaciones es del 29 de junio de 1864. Con esta ley se pretendía favorecer la edificación extramuros.
- **Leyes de reforma interior (intramuros).** Las más importantes fueron:
  - Ley de expropiación forzosa de 10 de enero de 1879 por la que se autorizó la expropiación de las zonas laterales de las nuevas vías públicas con un fondo de 20 metros a contar desde el límite de estas.
  - Ley de 18 de marzo de 1895 sobre saneamiento y reforma interior de grandes poblaciones, la cual extendió a 50 metros el fondo de las zonas laterales expropiadas.

Tras estos preceptos, comenzó una legislación del suelo propiamente dicha, siendo la primera la promulgación de la **Ley del Suelo el 12 de mayo de 1956** con un alcance basado en:

- Reclamar por vez primera de la responsabilidad en la ordenación urbanística
- Concebir el urbanismo como función pública:

---

<sup>18</sup> El concepto tira de cuerdas es una comprobación de alineaciones sobre el terreno por parte de la Administración para garantizar las alineaciones de las construcciones.

- Los Planes se aprueban por los órganos de la Administración del Estado.
- El Plan es el eje del sistema: define el derecho de propiedad y el reparto de cargas y cesiones.
- Desvincular el «*ius edificandi*» de la propiedad: urbanizar y edificar no son facultades inherentes al derecho de propiedad. Hasta ese momento imperaba el derecho del propietario de un terreno a su superficie, la que había debajo de ella y a hacer en ella las obras que le convinieran.<sup>19</sup>
- Introducir por primera vez las técnicas jurídicas que vertebran la estructura del ordenamiento:
  - Instrumentos del Planeamiento urbanístico.
  - Sistemas de gestión.
  - Régimen de control y disciplina.

Siguieron pasando los años y se sucedieron reformas de la Ley del Suelo, nuevas legislaciones, más reformas y la redacción de nuevos cuerpos legislativos como la propia Constitución Española de 1978 por media de la cual se regularon las materias básicas del uso y valoración del suelo a nivel estatal, pero se asignó como competencias de las comunidades autónomas la del «ordenamiento del territorio, urbanismo y vivienda».

Nuevas reformas y nuevas leyes siguieron sucediéndose y hoy en día el cuerpo normativo que regula el suelo en Andalucía es:

- **A nivel de ordenación del territorio** ► Ley 1/1994 de 11 de enero de Ordenación del Territorio de Andalucía (LOTA). La ordenación del territorio se suscribe a ámbitos territoriales regionales o subregionales, es decir, en extensiones superiores a la de los municipios. Destacamos entre otros objetos de esta ordenación:
  - Articulación interna y externa
  - Uso del suelo
  - Desarrollo socioeconómico
  - Cohesión e integración de la Comunidad Autónoma
  - Mejorar el bienestar y la calidad de vida
- **A nivel de ordenación del urbanismo** ► Ley 7/2002 de 17 de diciembre de Ordenación Urbanística de Andalucía (LOUA). La ordenación urbanística se suscribe al ámbito municipal o supramunicipal permitiendo el desarrollo urbanístico de cada municipio. Destacamos entre otros objetos de esta ordenación:
  - Clasificación y calificación del suelo
  - Reserva de suelo para dotaciones
  - Fomento de VPO

---

<sup>19</sup> Artículo 348 del Código Civil en su intento de ordenación urbanística con anterioridad a la Ley del suelo de 1956.

- Protección del patrimonio y el litoral
- Sostenibilidad del proceso urbanístico

Nada de este ordenamiento existía en la Edad Media. La actividad urbanística entendida como las fases de **planeamiento + gestión + disciplina** no tenía cabida en una sociedad en la que la legislación en edificación no estaba ni en un punto primario, pues aún tendrían que pasar muchos años para que la madurez del urbanismo llegara a implantarse tal y como hoy lo conocemos.

Por el contrario, en la actualidad hay mucha concienciación por esta disciplina que precede al proceso constructivo y prueba de ello es el anteproyecto de ley que en Andalucía está en fase de tramitación: **Ley de Impulso para la Sostenibilidad del Territorio de Andalucía** (LISTA). Esta ley pretende derogar las dos leyes mencionadas con anterioridad (LOTA y LOUA) para aunar en una sola a la vez tanto la ordenación territorial como la urbanística con objetivos tan claros como la sostenibilidad social, ambiental y económica y la simplificación del proceso urbanístico.

## 7. Proyectos constructivos de ayer y hoy.

Si por algo fueron posibles las catedrales fue por la mano de obra que las construyeron y, al mando de todos los trabajadores que participaron en el proceso de edificación, la figura del maestro de obra —los trataremos con profundidad más adelante— resultó imprescindible. Podemos decir que todo proyecto empieza con una idea que se plasma en un croquis o plano y, precisamente, una de las habilidades fundamentales de los maestros de obras fueron sus dibujos arquitectónicos. Constituían el único medio representativo que podría orientar al patrono y a los trabajadores sobre el proyecto que se quería construir. Un ejemplo muy conocido es el cuaderno de Villard de Honnecourt<sup>20</sup>, arquitecto medieval que se mantuvo en activo entre los años 1220 y 1240. Villard elaboró un completo cuaderno repleto de grabados, planos e incluso dibujos inacabados en los que no se preocupaba por la precisión, sino solo por la utilidad que pudieran tener a futuro. Su cuaderno constituyó de alguna manera un manual o libro de taller a los canteros y albañiles del medievo y también a nosotros para comprender mejor los procesos constructivos de aquella época.

Algunos autores sostienen sobre este genio que *«la actividad de los constructores medievales no podrá nunca esclarecerse si no es teniendo siempre en cuenta sus de premisas históricas, pues la arquitectura es el testigo insobornable de la historia»*<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Este documento incluye información arquitectónica y constructiva de todo tipo: alzados y plantas de arquitectura, detalles de edificios conocidos, elementos de albañilería y carpintería, diseño de máquinas e incluso estudios de formas humanas y animales.

<sup>21</sup> Cómez Ramos, R., *La historia de Villard de Honnecourt: arquitectura y crítica*, p. 99.

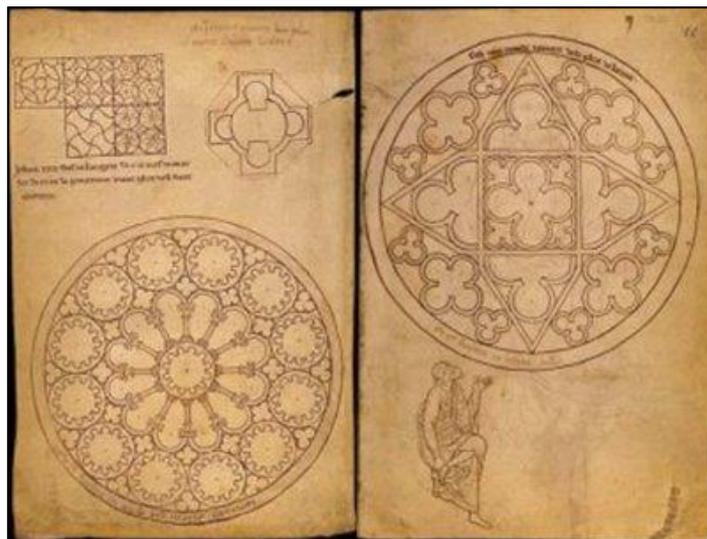


Ilustración 2. Dibujo de rosetones en el cuaderno de Villar.  
Fuente: Web <http://www.uned.es>

En cambio, acometer un proyecto de construcción en la actualidad supone un proceso totalmente regulado por legislación en materia edificatoria. En concreto, citaremos el Código Técnico de la Edificación (CTE) como marco normativo que fija las exigencias que han de satisfacer los edificios en relación a los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Esta ley, que trataremos más adelante, establece que:

*«Ante la creciente demanda de calidad por parte de la sociedad, la Ley establece los requisitos básicos que deben satisfacer los edificios de tal forma que la garantía para proteger a los usuarios se asiente no sólo en los requisitos técnicos de lo construido sino también en el establecimiento de un seguro de daños o de caución. Estos requisitos abarcan tanto los aspectos de funcionalidad y de seguridad de los edificios como aquellos referentes a la habitabilidad».*

¿Por qué tanta regulación hoy y ninguna en el pasado? Básicamente, por las exigencias que circundan a la calidad, a la seguridad (la estructural, la de contra incendios y la de utilización) y a la propia habitabilidad (la salubridad, la protección frente al ruido y, más recientemente, la del ahorro de energía) de los edificios. El CTE supuso en 2006, cuando se aprobó, un revulsivo para la edificación que no quiso pasar nada por alto y, por eso, también regula la accesibilidad como consecuencia de la Ley 51/2003 de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. Con el Código Técnico de la Edificación se pretendieron tres objetivos concretos para dar respuesta a la demanda de la sociedad, centrada en:

- Mejorar la calidad de la edificación.
- Mejorar la protección del usuario.
- Fomentar el desarrollo sostenible.

Estos objetivos, lógicamente, solo podrían ser de aplicación a edificios de nueva construcción, pero también afectan a intervenciones en edificios antiguos para casos como obras de ampliación, modificación, reforma o cambio de uso, con excepción de construcciones de protección ambiental, histórico o artístico.

Por contraposición, y de regreso a la Edad Media, ninguna regulación legislativa era de aplicación en la época en la que se izaban las grandes catedrales y, por tanto, sus diseños no debían ajustarse a ningún aspecto normativo. En cambio, una de las premisas de las delineaciones eran las formas geométricas y, basándose en ellas, se dibujaban con escuadra y compás las plantas, las secciones y las fachadas. En concreto, el cuadrado y el triángulo constituyeron los sistemas geométricos principales en el diseño de las iglesias:

- **Ad quadratum** se basaba en el cuadrado. Proporcionaba un edificio más alto, pues la anchura del templo equivalía a la altura de la nave central. Se convirtió en el más popular de los templos góticos. Este fue el método constructivo empleado en el cuaderno de Villard de Honnecourt al constituir el método básico para los constructores medievales. Un ejemplo lo tenemos en la abadía de Westminster reconstruida entre 1245 y 1272.
- **Ad triangulum** que se basaba en el triángulo equilátero. Fue más empleado en Italia al adecuarse esta forma a proporciones más clásicas. Un ejemplo lo tenemos en la catedral de Milán (se inició en 1385), la más gótica de las iglesias italianas.

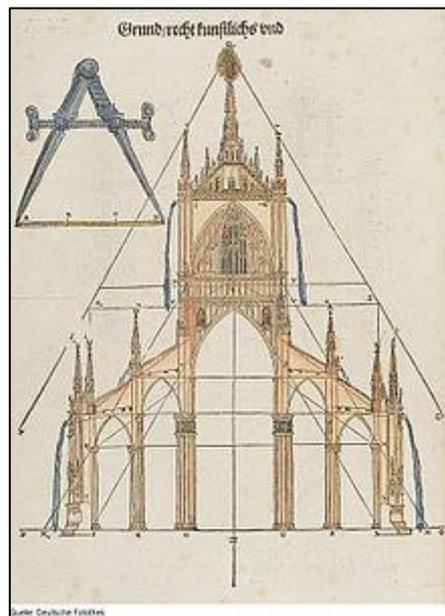


Ilustración 3. Ejemplo constructivo ad triangulum en la Catedral de Milán, Francia.  
Fuente: Web <http://www.uned.es>

## 8. Recursos materiales y humanos del proceso de edificación.

En este apartado analizaremos los recursos materiales y humanos que intervienen en el proceso constructivo de edificación. En primer lugar, trataremos los agentes de la edificación que se encuentran actualmente legislados por normativa, así como los cargos y funciones de los distintos oficios presentes en la construcción medieval. Y, en segundo lugar, nos detendremos en el material por excelencia que hizo posible la construcción de las catedrales: la piedra.

## 8.1. Agentes de la edificación.

Actualmente, los agentes que participan en un proyecto de edificación vienen regidos por la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. De acuerdo al artículo 8 de esta legislación:

*Son agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones vendrán determinadas por lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.*

De acuerdo al capítulo III de la citada ley, los agentes de la edificación lo conforman:

- Art. 09: El promotor
- Art. 10: El proyectista
- Art. 11: El constructor
- Art. 12: El director de la obra
- Art. 13: El director de la ejecución de la obra
- Art. 14: Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación
- Art. 15: Los suministradores de productos
- Art. 16: Los propietarios y los usuarios

Llevada la legislación a la práctica, podemos afirmar que, para un proyecto actual, los agentes del proceso están vinculados de la siguiente manera:

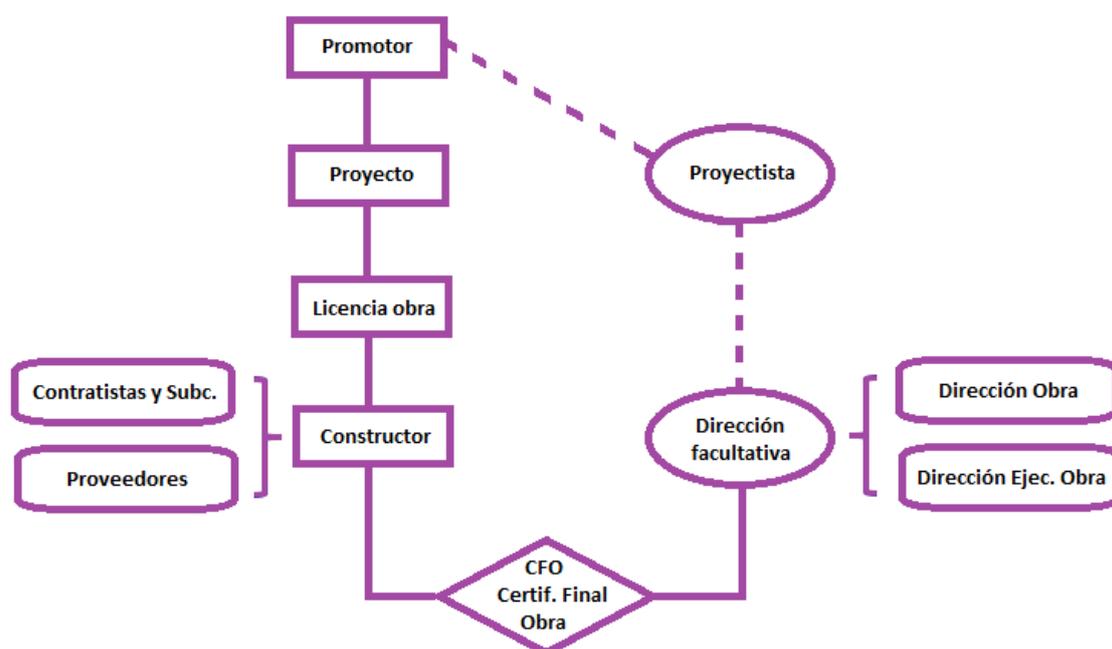


Ilustración 4. Esquema de los agentes de la edificación en un proyecto actual.  
Fuente: Elaboración propia.

En cambio, para un proyecto medieval, los agentes del proceso edificatorio eran muy dispares, ya que la construcción de una catedral se podía definir como la «colaboración entre el patrono, normalmente un eclesiástico de alto rango, y su maestro de obras (...) quien combinaba las

*funciones de arquitecto, ingeniero de estructuras y constructor»*<sup>22</sup>. De esta forma, podemos decir que el promotor de los proyectos catedralicias era la propia Iglesia —a veces, también los nobles y reyes o incluso corporaciones municipales<sup>23</sup>—, miembro del estamento de privilegiados junto a los nobles que caracterizó el sistema piramidal feudal<sup>24</sup> del medievo.

Era costumbre tratar los asuntos arquitectónicos en reuniones capitulares y, en algunos casos, como en el caso de la Catedral de Sevilla, se tiene constancia de estas reuniones gracias a documentos denominados «actas capitulares» en las que se recogían los acuerdos y asuntos tratados.

«A los canónigos correspondía, habitualmente, elegir al Maestro Mayor, seguir sus trabajos y tomar decisiones, muy concretas, en relación con ciertas soluciones constructivas»<sup>25</sup>. En estas reuniones más que los aspectos estructurales, solían tratarse asuntos de índole decorativa o decidirse aspectos funcionales sobre los espacios que iban a usar como, por ejemplo, el coro.

Pero de nada servía a los promotores medievales su poder, sin la habilidad y el conocimiento de los verdaderos pilares de los proyectos: los maestros de obras. Ellos eran los que adquirían la función principal y siempre eran de alto estatus. En alguna ocasión se les rendía homenaje a través de referencias pictóricas, como:

- El laberinto<sup>26</sup> medieval que había en el suelo de la catedral de Reims (Francia) donde en las cuatro esquinas se representaban a los cuatro maestros de obra encargados de construir la catedral entre 1212 y 1290.
- Grabados o ilustraciones en la que cobran protagonismo la figura del maestro de obras. En una de la abadía Saint Alban (Inglaterra) se muestra al rey conversando con su maestro de obras junto a trabajadores de diferente profesión en sus quehaceres constructivos.
- La figura labrada sobre una de las claves de bóveda de la iglesia de Semuren-Auxois (Francia) que representa a un maestro de obras con escuadra y compás.

---

<sup>22</sup> Hislop, M., *Cómo construir una catedral*, p. 12.

<sup>23</sup> Rodríguez Estévez, J. C., *La catedral gótica de Sevilla, fundación y fábrica de la obra nueva. Colección Divulgación Científica*, p. 150.

<sup>24</sup> Sistema político predominante en Europa Occidental que abarcó desde el siglo IX, hasta el siglo XV y que se caracterizaba por la descentralización del poder político. La difusión del poder partía desde la cúspide, donde se hallaba el emperador o rey, hacia la base, donde el poder local lo ejercía la nobleza, hacia los vasallos.

<sup>25</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 153.

<sup>26</sup> Los laberintos fueron una práctica habitual en algunas catedrales y solían ser circulares, símbolo de Cristo. Algunos autores sostienen que sus recorridos simbolizan una hipotética peregrinación a Jerusalén. El laberinto de Chartres (Francia) se hizo uno con innumerable simbología: a) tiene 11 circuitos que, junto al centro, pueden simbolizar los 12 apóstoles; b) el número de piedras que lo componen es de entre 262 y 274, lo que coincide con el número de días de gestación del ser humano; c) El diámetro del laberinto es prácticamente igual que el del rosetón central de la fachada oeste del templo y, como la distancia entre el laberinto y la puerta de dicha fachada es la misma que la altura desde el suelo hasta el rosetón, el día del solsticio de primavera, el 21 de junio, el sol con una inclinación de 45 grados, ilumina a las tres de la tarde el laberinto con perfecta redondez a través del rosetón.

La reputación era lo más determinante para un maestro de obras. El conocimiento era empírico y la experiencia la marcaban las obras levantadas. Dada la complejidad técnica y constructiva de las catedrales, los patronos solo participaban en las determinaciones estéticas del diseño. En otros casos, el simple paso del tiempo debido al proceso largo y costoso de levantar estos templos hizo que coexistieran en la misma construcción obras viejas y obras nuevas en las que se mezclaban diferentes estilos.



Ilustración 5. Figura de un maestro de obras con un compás y una escuadra en una clave de bóveda.  
Fuente: *Cómo construir una catedral*, p. 42

La figura del maestro de obras era esencial y la más importante en un proceso constructivo medieval. De hecho, de los diferentes agentes legislados por la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE), cinco de ellos los asumiría el propio maestro de obras en su tiempo. A continuación, en un código de colores vamos a analizar las funciones que la LOE atribuye a los diferentes agentes de la edificación y si estas son o no atribuibles a los maestros de obras medievales. El código de colores empleado es:

- ✗ Atribución LOE actual que **no asumiría** un maestro de obra medieval
- ✓ Atribución LOE actual que **asumiría** un maestro de obra medieval

Un maestro de obra asumiría las siguientes atribuciones:

- **Proyectista**, pues por encargo del promotor, redactaría el proyecto. Si bien, no todas las obligaciones que la LOE establece a día de hoy le serían de aplicación:
  - ✗ Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante.

- ✓ Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y la establecida en el contrato.<sup>27</sup>
- ✓ Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales. Más que colaboraciones, debido a que los proyectos se hacían tan longevos, el maestro de obras debía traspasar su figura a otro maestro —a veces, su propio hijo— para que continuara la construcción.
- **Constructor**, pues asumía, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales la obra. No todas las competencias que otorga la LOE al constructor le serían de aplicación al maestro de obras medieval:
  - ✓ Ejecutar la obra con sujeción al proyecto.
  - ✗ Tener la titulación o capacitación profesional habilitante.
  - ✗ Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra. El propio maestro de obras asumía el rol de jefe de obra en la mayoría de proyectos, por lo que no debía designar a nadie.
  - ✓ Asignar a la obra los medios humanos y materiales.
  - ✓ Formalizar las subcontrataciones necesarias. Más que subcontrataciones era mano de obra directa: carpinteros, albañiles, canteros, etc. Veremos más adelante cómo algún taller de cantería sí podría parecerse al concepto actual de subcontratación.
  - ✗ Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
  - ✗ Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada. Al ser el propio maestro de obras constructor y director de la obra, todo quedaba bajo su criterio. Además, la documentación no era un aspecto reglado en aquella época.
  - ✓ Suscribir las garantías previstas en el artículo 19, es decir, las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción. El maestro de obras velaría por la buena ejecución en todas las etapas constructivas.
- **Director de la obra**, pues dirigía el desarrollo de la obra. De nuevo, no todos los aspectos regulados por la LOE le serían de aplicación:

---

<sup>27</sup> Hoy en día, además, se exigen los visados que en cada caso fueran preceptivos por los Colegios Profesionales.

- ✓ Aspectos técnicos.
- ✓ Aspectos estéticos. Como hemos indicado, también el promotor participaba a veces en definiciones de tipo ornamental, artística y decorativa.
- ✗ Aspectos urbanísticos.
- ✗ Aspectos medioambientales.

Además, el desarrollo de la obra debería ir en conformidad con:

- ✓ El proyecto.
- ✗ La licencia de edificación. No aplicaban permisos de esta índole en periodo medieval. Las cesiones de terreno eran directas, bien por la facción eclesiástica, bien por la facción monárquica.
- ✗ Otras autorizaciones preceptivas.
- ✓ Condiciones del contrato.

De acuerdo a la LOE, no todas las obligaciones de un director de obra actual cobrarían sentido en la Edad Media:

- ✗ Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante.
- ✓ Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura.
- ✓ Resolver las contingencias que se produzcan en la obra.
- ✓ Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto.
- ✗ Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como las certificaciones parciales y la liquidación final con los visados que fueran preceptivos.
- ✗ Elaborar y suscribir la documentación de la obra ejecutada para entregarla al promotor con los visados preceptivos. Como se ha indicado, la documentación no era un aspecto reglado en aquella época.

- **Director de la ejecución de la obra**, pues asumía la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado. De acuerdo a la LOE, una vez más, no todas las obligaciones de hoy del director de ejecución serían de aplicación a un maestro de obra:

- ✗ Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante.
- ✓ Verificar la recepción en obra de los productos de construcción.
- ✓ Dirigir la ejecución material de la obra.
- ✗ Consignar en el Libro de Órdenes y Asistencias las instrucciones precisas.
- ✗ Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como las certificaciones parciales y la liquidación final.
- ✗ Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.

Esta función técnica de dirección de ejecución de la obra es una atribución propia de los aparejadores y este agente comenzó a surgir en proyectos medievales. El autor J. Clemente Rodríguez Estévez define al aparejador como *«una pieza clave situada entre los proyectos del maestro mayor y los canteros; de tal manera que, solía ser el principal responsable de la organización diaria del taller. Además, se encargaba del aprovisionamiento de los materiales pétreos, supervisando la saca de la piedra y su estado al llegar a la obra»*.

Dadas las competencias que adquiriría el aparejador, era el profesional que sustituía al maestro mayor cuando este se ausentaba y resultaba frecuente que lo sucediera cuando su puesto quedaba vacante.

- **Control de calidad de la edificación**, pues velaba y verificaba la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra, así como realizaba ensayos o pruebas de servicio a los materiales como, por ejemplo, las pruebas de cargas a las que se sometían los arbotantes. Hoy en día esta tarea compete a entidades y laboratorios específicos, a los que la LOE, además, les permite la presentación de una declaración responsable que cumpla con los requisitos técnicos exigidos reglamentariamente.

Para concluir, trataremos las últimas figuras definidas en la LOE aunque no sean de atribución a las funciones del maestro de obras. De un lado, se definen como **suministradores de productos**. *«los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción»*<sup>28</sup>. A este bloque de suministradores pertenecen los canteros que extraían, transportaban y tallaban la piedra o los carpinteros que trabajaba la madera que ellos mismos aportaban. De otro lado, los últimos agentes tratados en la ley, **los propietarios y usuarios**. Dado el carácter religioso de

---

<sup>28</sup> Artículo 15, punto 1 de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación.

las catedrales, el edificio se destinaba a fines evangelizadores donde, creyentes, peregrinos y eclesiásticos harían uso de él. De acuerdo al artículo 16 de la LOE son obligaciones de los propietarios:

1. Conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuente.
2. La utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento, contenidas en la documentación de la obra ejecutada.

Ambos apartados tienen coherencia tanto en presente como en pasado. Si bien, aunque hablar de documentación de una obra ejecutada en la Edad Media pueda parecer utópico, ya hemos visto que cierto legajo documental ha llegado a nuestros días como, por ejemplo, el cuaderno de Villard de Honnecourt.

## 8.2. Los oficios de una catedral.

Aunque era habitual la existencia de un maestro de obras, a veces, en vez de un único maestro mayor, como también se les denominaban, había tantos como oficios. Y es que, dado que una catedral suponía una disciplina de tareas multidisciplinar, cada actividad debía de contar con sus propios trabajadores especialistas: carpinteros<sup>29</sup>, herreros, vidrieros, etc.

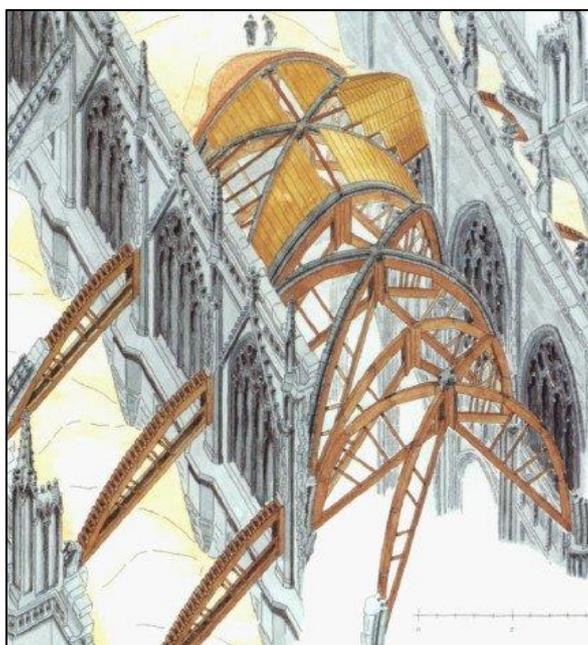


Ilustración 6. Cimbras de madera para nave central y arbotantes.  
Fuente: Twitter @elbarroquista.

Pero si una profesión era relevante en una catedral, eran los canteros. Había tanta disparidad de tareas dentro del oficio que se subdividían de acuerdo a las labores que tenían

---

<sup>29</sup> Los carpinteros jugaban un papel fundamental en las cubiertas y en la fabricación de cimbras o plantillas en madera para el tallado de la piedra.

encomendadas: extraían la piedra los canteros propiamente dichos, les daban forma los entalladores y las colocaban los asentadores o también llamados, paletas.

Otra labor para trabajar la piedra era la de los engastadores, quienes eran los encargados del ensamblaje de la tracería —combinaciones de figuras geométricas, la cual eran muy abundante en rosetones, vidrieras, parapetos o pretilos. En la siguiente imagen vemos un ejemplo: se trata del exterior de una ventana coronada con gabletes (remate formado por dos líneas rectas y ápice agudo de estilo ojival) con tracería en su interior del que parten pináculos que atraviesan y remata un parapeto calado. El conjunto queda ornamentado con geometría circular a base de decoración foliada.

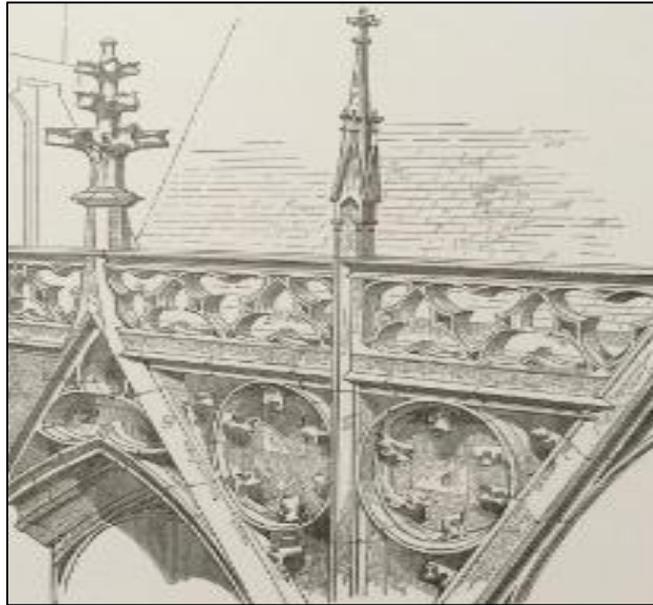


Ilustración 7. Decoración foliada o con tracería de una catedral gótica.  
Fuente: Hislop, M., *Cómo construir una catedral*, p. 42.

Según J. Clemente Rodríguez Estévez, «*la obra se perfilaba como la suma de voluntades de quienes tenían capacidad de influir en ella*». Por tanto, una obra de la envergadura de una catedral solo podría comprenderse con tanta diversidad de oficios, considerando la autonomía de las partes la única manera de hacer un todo que resultó bien organizado, gestionado y construido. De hecho, el citado autor añade: «*Aun reconociendo la inexistencia de un profesional con competencias absolutas sobre la totalidad de la obra y de los colectivos implicados en ella, la naturaleza pétrea de la misma permitía que se impusiera una realidad: el taller de cantería tenía una posición dominante en el proceso constructivo y su maestro mayor se situaba en el centro sobre el que gravitaba la construcción del templo*».

Los canteros constituían la principal mano de obra de la catedral. La piedra no solo había que colocarla para constituir la estructura y cuerpo del templo, antes había que extraerla y esta extracción constituía un arduo trabajo debido a la dureza del material. Fundamentalmente, dos factores determinaban la complejidad de esta labor: el terreno y la naturaleza de la propia piedra.

Además, la necesidad de que los bloques fueran regulares para aprovechar lo máximo posible hacía que la labor fuese metódica, lo que implicaba el empleo de herramientas específicas:

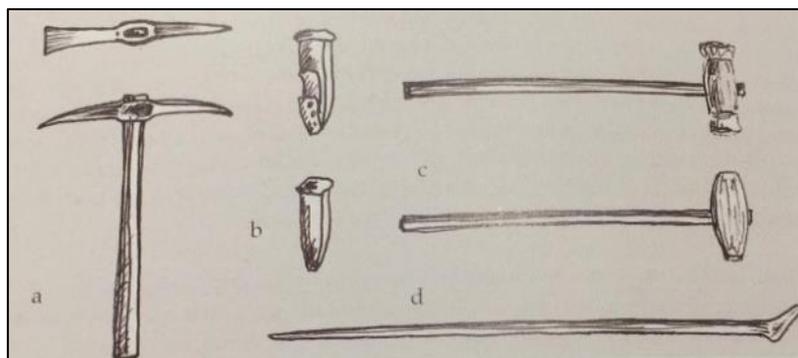


Ilustración 8. Herramientas para la saca de cantera: a) picas b) cuñas c) almadanas d) palanca  
Fuente: *La catedral gótica de Sevilla, fundación y fábrica de la obra nueva*, p. 174.

Aunque no había patrones que regularan la promoción dentro del oficio del cantero, algunos casos destacaron por partir desde los escalafones inferiores —aprendices o criados— y llegar a convertirse en aparejador e incluso en maestro mayor como, por ejemplo, Gonzalo de Rozas quien, siendo criado de Alonso Rodríguez, se convirtió con el tiempo en aparejador de la Catedral de Sevilla.

Respecto a los sistemas de pago de los canteros, la documentación que se mantiene demuestra que la forma de trabajar que primaba era la del destajo, es decir, el compromiso de ejecutar ciertas labores sin depender de las jornadas que implicase hacerlo. Los periodos solían coincidir con el buen tiempo, es decir, entre abril y septiembre y los pagos solían hacerse en tres partes: encargo, primera entrega y fin del trabajo. ¿Y qué gestión se hacía para los pagos? Pues he aquí un elemento imprescindible para el cantero: las marcas de las piedras. Se trataba de unas pequeñas señas que hacían sobre los bloques que servían de referencia para identificar los trabajos de cada trabajador. Estas marcas demuestran el sistema de destajo que comentamos, pues cada cantero cobraba de acuerdo al volumen de material que servía y entregaba a la obra. Aunque se sabe que estas marcas a veces también servían para indicar la posición donde debían ser colocados los bloques de piedra, fundamentalmente constituían la firma y la garantía de quien las hacía y también permitían hacer controles de calidad.

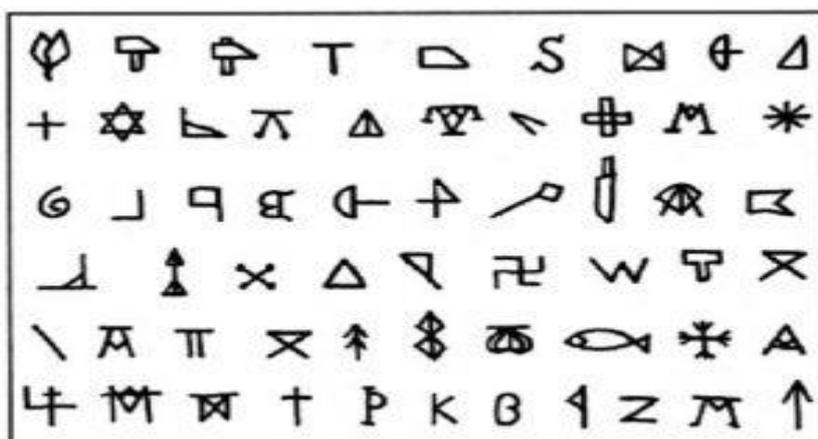


Ilustración 9. Marcas de cantero.  
Fuente: Web <https://www.glosarioarquitectonico.com>

Las marcas de canteros, que tal y como se observa en la imagen eran de formas muy variadas, se han localizado en todo tipo de piezas: paramentos, portadas, pináculos, arbotantes, rosetones, etc. Entre todas, las letras o iniciales de sus nombres y las formas de las herramientas que empleaban o la esvástica —formas de cruces— resultaron ser las principales. Resultó imprescindible la diversificación de las marcas a fin de evitar duplicidades en un mismo proyecto constructivo.

### 8.3. Recursos materiales.

Las catedrales no se conciben sin piedra. Esta constituía el material principal y la base del sustento que permitieron a los canteros levantar estas maravillosas construcciones. El proceso que envolvía a la piedra era complejo en todas sus vertientes: la extracción, el tallado y la colocación.

La saca de los bloques se hacía de forma escalonada para facilitar la extracción de los siguientes bloques. En los yacimientos, la piedra más superficial se encontraba a cielo abierto, lo que permitían una extracción más ágil y económica, pero cuando las propiedades del material no eran del todo adecuadas, se debía extraer de las galerías subterráneas de la cantera. ¿Y era habitual que en una misma cantera se hallaran piedras de distinta calidad? Sí, pues pese a que el material era idéntico en composición, su cohesión era diferente según la ubicación en el yacimiento. A este respecto, se diferenciaban dos clases de piedra:<sup>30</sup>

- **Dura o palomera:** Recomendada para funciones estructurales
- **Franca o dócil:** Útil para tallar debido a su blandura.

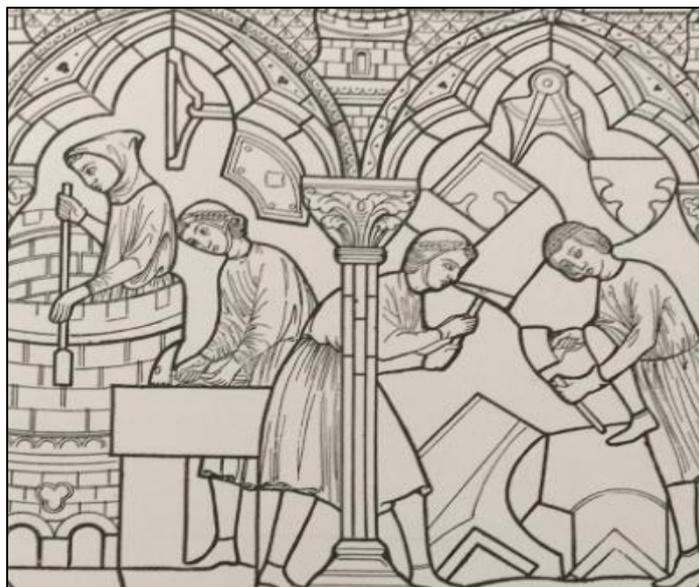


Ilustración 10. Dos canteros tallando la piedra, uno con picola y otro con maceta y cincel en una de las vidrieras de la catedral de Chartres (Francia, s. XIII).  
Fuente: Web <https://www.artehistoria.com>

<sup>30</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 175.

Las catedrales encargaban la piedra con una dureza determinada de acuerdo al fin para el que iba a emplearse. De hecho, el precio de la piedra dependía también de este factor. La piedra dura implicó hacer excavaciones en lo que se denominaban cuevas que hacían las veces de pozos de luz. Estos alcanzaron hasta los 20 metros de profundidad y servían para ventilar, iluminar y también como punto de salida de los bloques por medio de la instalación de grúas con poleas situadas en la superficie.

Por lo general, se diferenciaban los siguientes tipos de piedra:<sup>31</sup>

- **Sillar:** Eran los bloques predominantes. Aunque no eran todos de la misma dimensión, sus medidas aproximadas podrían ser 31-33 cm de alto x 40-45 cm de ancho x 75-115 cm de longitud. Una carreta de bueyes podía transportar 3 sillares en cada viaje.
- **Sillarete:** Eran bloques de piedra de menor tamaño que los sillares. Una carreta de bueyes podía transportar 5 piezas en cada viaje.
- **Tabla:** Eran los bloques de piedra de mayor tamaño. Una carreta podía transportar solo 2 piezas en cada viaje. Como su propio nombre indica, tenían forma de tabla o losa con espesores y longitudes amplias (hasta 130 cm) pero de escasa altura (20-23 cm). Fueron frecuentes en la obra para la construcción de las escaleras de caracol, los tímpanos de las portadas y las placas talladas de las cresterías denominadas «entablamentos».
- **Gárgolas y claves de bóveda:** Aunque no lo parezcan, los bloques que permitían el esculpido de estas dos piezas eran de un porte tan importante que solo cabía uno en cada transporte de carreta.

Todo en el medievo envolvía a la piedra como materia prima esencial en edificación. En cambio, hoy la piedra apenas tiene uso en la construcción, pues primero el hierro, después el acero y, más tarde, el hormigón armado le fueron ganando el pulso con el transcurso del tiempo. La piedra era un material que servía tanto para la estructura (pilares), como para las cubiertas (bóvedas) y los cerramientos (fachadas); en cambio, los cerramientos y particiones de tabiquería de hoy son, por lo general, de ladrillo cerámico, aunque están dejando paso a sistemas prefabricados o de construcción más ágil como, por ejemplo, las placas de cartón-yeso.

## 9. Gestión y aspectos organizativos.

Toda vez han sido tratados los agentes del proceso que regula la LOE para los proyectos de edificación actuales y su posible atribución a un maestro de obras medieval, analicemos qué patrones organizativos seguía el clero como promotor de las obras de las catedrales.

### 9.1. Órganos de gobierno.

Además de las **reuniones capitulares** señaladas en un apartado anterior, los cabildos catedralicios se valieron de otros instrumentos con el que controlar el entramado constructivo de las catedrales. De un lado, existieron las **comisiones especiales**, las cuales tenían por objeto

---

<sup>31</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 176.

el «seguimiento de un aspecto concreto de la obra»<sup>32</sup> como, por ejemplo, la adquisición de ciertos materiales o la concepción y diseño de un programa iconográfico. De otro lado, en muchos casos se empleó un instrumento con el que ya contaban la mayoría de las organizaciones eclesíásticas: **las Fábricas de las catedrales**.<sup>33</sup> Se trataba de un órgano que se encargaba del mantenimiento del templo y al que le encomendarían una nueva misión: la gestión de las obras.

Estas fábricas no se daban en todos los casos, pero era muy frecuente cuando se hacían ampliaciones o reconstrucciones sobre catedrales que se habían visto afectadas por incendios<sup>34</sup> o, como en el caso de Sevilla, que pretendían modificar el aspecto almohade de una antigua mezquita para convertirse en un templo cristiano.

Las funciones de las Fábricas de las catedrales eran:

- Funciones habituales:
  - Mantenimiento y ornato del templo.
  - Garantizar el desarrollo del culto religioso.
  - Aprovisionamiento de la cera.
  - Gestión del personal: capellanes, mozos de coro y limpiadoras.
- Funciones nuevas:
  - Organizar la empresa constructiva.
    - Recursos económicos y administrarlos.
    - Designación de maestros y obreros.
    - Adquisición de materiales.
    - Seguimiento de obras.

La jerarquía organizativa de las Fábricas se basaba en:

- a) **El mayordomo** era la figura más importante cuya principal responsabilidad era recaudar dinero destinado a financiar la Fábrica. La procedencia del capital era muy diversa:

---

<sup>32</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 153.

<sup>33</sup> Como curiosidad podemos indicar que, aún a día de hoy, el Cabildo Catedral de Santa María de la Sede (catedral de Sevilla) mantiene los nombres de «*maestro mayor*» y «*aparejador de fábrica*» a las personas que, respectivamente, encarnan la profesión de arquitecto y arquitecto técnico para las obras de rehabilitación que el templo precise. Durante mucho tiempo estas figuras han recaído en profesores de la Universidad de Sevilla: de un lado, Alfonso Jiménez Martín fue maestro mayor entre 1987 y 2014; de otro lado, José María Cabeza Méndez fue nombrado aparejador de fábrica en 1988, además de ser director y conservador del Real Alcázar de Sevilla entre 1990 y 2008.

<sup>34</sup> La actual catedral de Chartres (Francia) es el quinto templo que se levantó en el emplazamiento que ocupa debido a que las anteriores fueron destruidos: los vikingos en el año 858 acabaron con el primer edificio y dos incendios en 962 y 1020 con los siguientes templos. A continuación, se inició la construcción de una nueva catedral en estilo románico, pero en 1194 otro incendio paralizó los trabajos. Estos se reanudaron en estilo gótico más tarde quedando consagrado el templo en el año 1260, siglo y medio después de haber comenzado el quinto proyecto de construcción.

- La explotación de las propiedades: casas, bodegas y hasta el mismo muelle de la ciudad podía formar parte del rico patrimonio eclesiástico.
  - Los propios canónigos adquirirían compromiso de contribuir con sus recursos particulares por medio de limosnas, donaciones o herencias.<sup>35</sup>
  - Las rentas de la propia Fábrica: *el excusado*. Era el tributo recogido por los diezmeros<sup>36</sup> de cada parroquia.
- b) **Los receptores** eran los encargados de recaudar todos los ingresos tuviesen procedencia o no de la Fábrica. Era un puesto regentado por un canónigo que accedía al cargo por medio de un concurso al que postulaban varios candidatos canónigos en competencia. El receptor llevaba las cuentas en *Los libros de receptoría* donde quedarían registrados todos los ingresos, también denominados «entradas o cargos». El receptor también registraría las «salidas o datas» y estas eran fundamentalmente de dos tipos:
- Cebada y trigo entregada a los oficiales de la Fábrica como complemento salarial.
  - El resto de ingresos pasaba a manos de otros oficiales de la Fábrica: los depositarios.
- c) **Los depositarios** eran los oficiales que ejercían de tesoreros. Disponían de un libro denominado *Libro de depósitos* y velaban por los caudales recaudados por los receptores poniéndolos en manos del Mayordomo, quien decidía dónde y cómo se gastaba el dinero, lo que quedaba documentado en *El libro de cargo y data de la Mayordomía de la Fábrica*. Estos libros tenían dos tipos de ingresos:
- La cuantía entregada por los depositarios.
  - Los adventicios: ingresos atípicos de poca entidad como donaciones, venta de pequeño material o devolución de préstamos asignados al Mayordomo.
- d) **El contador** era el responsable de llevar el registro de todos los gastos autorizados por el Mayordomo. El sistema de pago predominante era el de los **jornales**, aunque también se empleaba el sistema del **destajo**, es decir, el pago por el trabajo realizado y que era más frecuente en vidrieros, imagineros y plateros. En cantería también se llegaron a emplear los destajos en casos justificados por la complejidad del encargo o el ritmo con el que se necesitaba el material. Las funciones del contador eran:
- Llevaba el control diario de los gastos.
  - Emitían facturas por los materiales.
  - Firmaban las nóminas de los trabajadores.
  - Participaban en la confección de los libros de mayordomía.
  - Asistían a la entrega del dinero del depositario al Mayordomo.

---

<sup>35</sup> Un caso de herencia a una Fábrica fue el del Mayordomo de la Catedral de Sevilla, Juan Martínez de Vitoria, en el año 1433.

<sup>36</sup> Encargados de recoger los diezmos, es decir, la contribución que pagaban los fieles a la Iglesia, consistente en la décima parte de sus frutos.

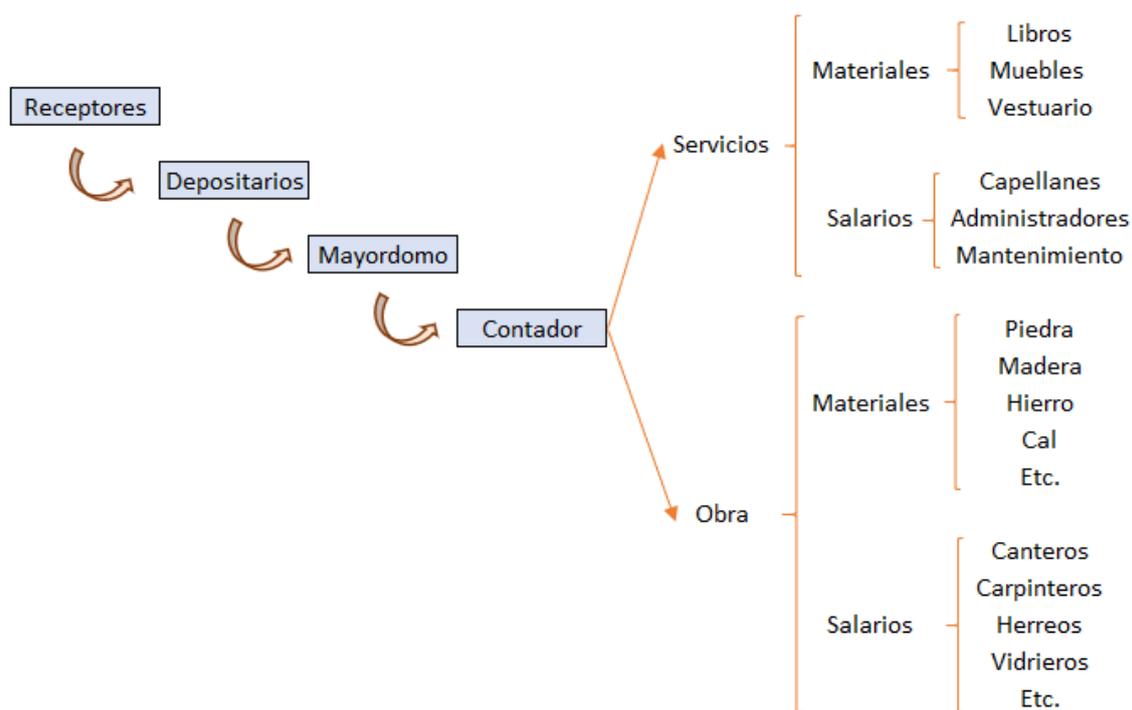


Ilustración 11. Esquema jerárquico de la administración y gestión de la Fábrica de la Catedral.  
 Fuente: Elaboración propia.

Los libros de Mayordomía controlaban todo justificando el balance de toda la actividad. Principalmente, el gasto de la Fábrica se aplicaba de la siguiente forma:

- **Servicios de la catedral:** era la función principal de la fábrica mientras no existiera obra de construcción.
  - o **Materiales:** libros, muebles, vestuario, cera, etc.
  - o **Salarios:** capellanes, mozos de coro, administradores, mantenimiento, etc.
  
- **Obra de la catedral:** era la nueva función organizativa encomendada a la gestión de la obra de construcción.
  - o **Materiales:** piedra, madera, hierro, cal, etc.
  - o **Salarios:** canteros, carpinteros, albañiles, vidrieros, imagineros, pintores, plateros, etc.

De acuerdo a J. Clemente Rodríguez Estévez, en estos libros «aparece reflejado el difícil equilibrio a mantener entre los ingresos y los gastos». Además, añade el autor, «el ritmo de la obra reproducía el pulso de la situación financiera, lo que explica ciertas demoras en la construcción». Dado que el mayor tributo procedía de las rentas propias de la fábrica, no había acusadas desviaciones presupuestarias, lo que aportaba cierta estabilidad al proyecto de construcción.

Pese a que el Mayordomo era la figura principal, también tenía que rendir cuentas al Cabildo, cuyos administradores, contadores y notarios examinaban pormenorizadamente las cuentas que les presentaba. Puntualmente, el Cabildo podía ordenar el seguimiento especial de las

labores de mayordomía en una especie de auditoría controladora del proceso, pues se podían dar casos como el en la Catedral de Sevilla, cuando el Mayordomo Juan Ruiz, huyó en el año 1436 tras enajenar bienes de la propia Fábrica.

Sobre la Fábrica de la Catedral de Sevilla, no existe excesiva documentación acerca de la gestión que se hizo en la obra de construcción, pero sí se conservan algunos testimonios como el de Juan Martínez de Vitoria, Mayordomo de Fábrica entre 1420 y 1433. En su testamento ofrece un dato revelador acerca de la construcción de varios barcos para un aprovisionamiento estable de la piedra con la que se construyó la catedral, la cual procedía, como veremos a continuación, de El Puerto de Santa María.

## 9.2. Gestión y transporte de los materiales.

Una de las tareas más importantes encomendadas a la Fábrica era la de garantizar el **aprovisionamiento de materiales**, así como la adquisición y mantenimiento de las herramientas. En una catedral, donde la piedra es el material principal, no solo el abastecimiento era importante sino también la calidad, pues debía ser resistente a la par que dócil en su tallado para poder trabajarla de forma fácil, pero con precisión.

Los trabajadores debían disponer de aprovisionamiento de materiales en talleres a pie de obra y, a tal efecto, se construían **barracones**, unos edificios temporales a nivel de suelo contruidos con materiales ligeros para albergar herramientas y preparar los materiales de construcción. Actividades como el entallado y el engastado<sup>37</sup> (el ensamblaje de la tracería) se llevaba a cabo en estos barracones, los cuales, también eran empleados por albañiles como cobertizo cuando se daban malas condiciones climatológicas.

El **taller de cantería** era el más importante de la obra. La piedra se trabajaba en un obrador próximo a la obra. Tenemos certeza, por ejemplo, que en el caso de la Catedral de Sevilla se situaba en el Patio de los naranjos<sup>38</sup> al ser el único lugar amplio disponible, pues en el espacio abierto frente al Alcázar —actual Plaza del Triunfo— se acumulaban los escombros procedentes de la destrucción del edificio almohade<sup>39</sup>. En el taller de cantería se empleaba una gran variedad de herramientas tanto para el corte de la piedra como para el asentamiento de los sillares y para los que el uso de la escuadra y la plomada era habitual.

---

<sup>37</sup> Ver apartado «*Los oficios de una catedral*»

<sup>38</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 187.

<sup>39</sup> La Catedral de Sevilla empleó parte de la antigua mezquita de los musulmanes. Por tanto, convivieron a la vez el proceso constructivo con el de demolición. Se trataban de demoliciones parciales tanto en lo arquitectónico como en lo estructural de acuerdo al estilo y la impronta que con el estilo gótico se quería dotar al nuevo templo.

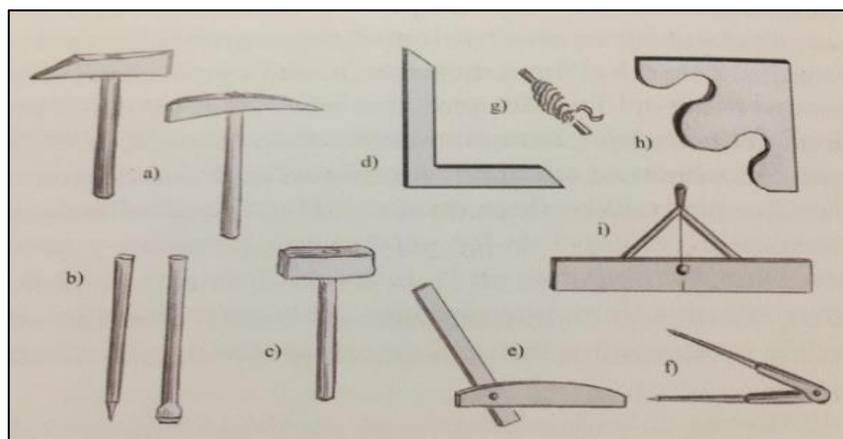


Ilustración 12. Herramientas de taller de cantería: a) Escoda y piqueta b) Puntero y cincel  
c) Martillo d) Escuadra e) Baibel f) Compás g) Cordel h) Plantilla i) Nivel  
Fuente: *La catedral gótica de Sevilla, fundación y fábrica de la obra nueva*, p. 188.

Otro punto importante del material era el precio y este lo condicionaba sobremanera el lugar de procedencia. Un yacimiento alejado supondría costosos transportes que podrían incluso hacer el proyecto inviable. El transporte del material siempre ha sido un problema porque lleva coste asociado. Por este motivo, un aspecto que condicionaba la elección de una cantera era su ubicación, pues a veces era más costoso el transporte que el material en sí. Algunas fuentes apuntan incluso que «*costaba más del triple transportar la piedra que extraerla*»<sup>40</sup>.

Viendo los elevados costes de transporte, la carga debía ser aligerada lo máximo posible y, con tal fin, los canteros se esmeraban en aligerar el volumen y peso de los sillares desbastándolo con cincel en la propia cantera antes de ser transportados a obra. Esto constituía una doble ventaja: por un lado, los sillares estaban completamente terminados; y, por otro lado, quedaban listos para su colocación.

Los medios de transportes eran o bien la vía terrestre con recuas de mulas o caballos —más lento y caro— o la vía acuática —más rápida y, en ocasiones, más ventajosa económicamente—. Un ejemplo lo encontramos en la decisión adoptada por el maestro de obras Guillermo de Sens quien importó para la catedral de Canterbury (Inglaterra) material de la cantera de Caen en Normandía (Francia). Otro caso muy llamativo fue que al norte de Inglaterra se creó un canal a propósito para el transporte de materiales llegando incluso a construir muelles especiales donde llegaba la piedra cargada en barcazas.

Veamos a continuación un último ejemplo: el origen y el transporte de la piedra con la que se construyó la Catedral de Sevilla. En la ciudad solo había piedra cerca en la zona de Alcalá de Guadaíra (la Membrilla) a 32 km de la catedral, una distancia que se recorría en un día, pero desde que los ríos abrieron el espectro del transporte del material, este ya no solo se desplazaría por tierra y se podía poner el punto de mira en materiales de zonas costeras, como la piedra de El Puerto de Santa María, o en zonas incluso más alejadas como el alabastro del noreste de España. ¿Cuál era, por tanto, la ruta de las piedras de la Catedral de Sevilla? Se hacía en tres etapas:<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Hislop, M.: *Op. Cit.*, p. 38.

<sup>41</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 182.

- **Tierra:** Del yacimiento en El Puerto de Santa María hasta el muelle a orillas del río Guadalete, el cual se construyó a tal efecto por la propia Fábrica de la catedral. Aquí embarcaba la piedra por medio de una grúa que situaba las piedras a bordo de los barcos. Como curiosidad destaca que este recorrido por tierra se hacía por medio de mulas a consecuencia del mal estado del terreno.
- **Mar:** Navegando por medio del eje Guadalete, Atlántico y Guadalquivir o, lo que es lo mismo, Puerto de Santa María, Bahía de Cádiz y Sanlúcar de Barrameda, las embarcaciones alcanzaban el puerto de Sevilla. Aunque existe documentación que avala que se construyeron dos embarcaciones en propiedad por encargo de la Fábrica de la Catedral, cuando los portes se requerían con mayor volumen, se pasó al régimen de pagar por estos servicios. Los registros de 1513, por ejemplo, nos ofrecen datos como la llegada de hasta 60 barcos con piedra en los que, en cada uno, se transportarían entre 15 y 20 toneladas de material. Llama la atención la presencia de piratas turcos en la salida al océano Atlántico, por lo que se frecuentaba la navegación de cabotaje.<sup>42</sup> Evidentemente, no faltaron los encallamientos o los naufragios de algunas de las naves.
- **Tierra:** En Sevilla, desde el puerto situado junto a la Torre del Oro, la piedra llegaba hasta la obra en carretas tiradas por bueyes. En el puerto de Sevilla también hubo participación de la Fábrica: *«tal inversión fue doblemente útil, ya que además de facilitar la descarga de los materiales para la obra, su alquiler, para la manipulación de mercancías ajenas, ofreció ingresos adicionales»*.<sup>43</sup> Como no podía ser de otra forma, en el puerto una grúa treadwheel<sup>44</sup> accionada por un hombre caminando en su interior permitía descargar el material.

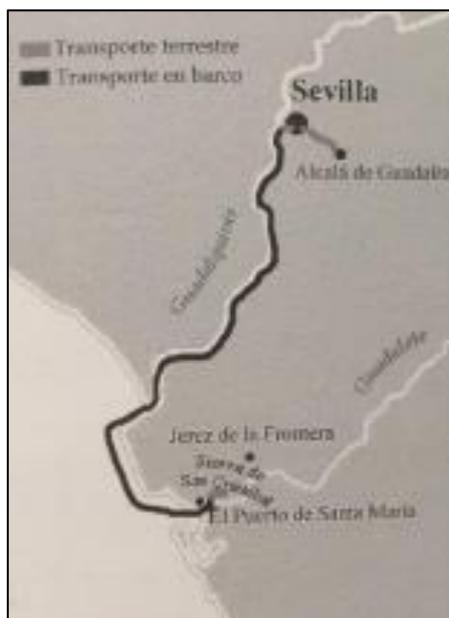


Ilustración 13. Transporte por tierra, mar y tierra de las piedras.  
Fuente: *La catedral gótica de Sevilla, fundación y fábrica de la obra nueva*, p. 183.

<sup>42</sup> Navegación de los barcos entre los puertos de un mismo país sin apartarse de la costa para garantizar la seguridad y no verse sorprendido por asaltos como los que caracterizaban a los piratas.

<sup>43</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 183.

<sup>44</sup> Ver apartado «Grúas de tracción humana».

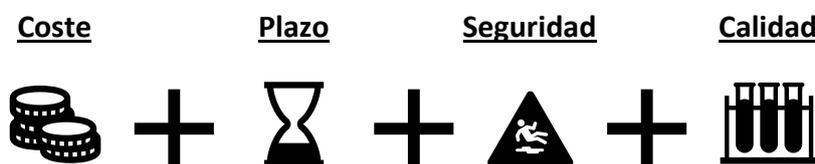
Con el nuevo sistema de transporte por mar, el coste ya no era proporcional a la distancia. De hecho, el barco resultó ser más cómodo y redujo los precios del transporte y, cada vez más, se demostraba que el carretaje<sup>45</sup> encarecía el desplazamiento del material. Así las cosas, el autor J. C. Rodríguez Estévez afirma que «*la piedra de Alcalá, que entró en los primeros años del proceso constructivo, era más cara que la de la Sierra de San Cristóbal*». Se estima que la inversión del coste del transporte sobre el precio final de la piedra de la catedral de Sevilla fue superior al 50%.

Podemos resumir, por tanto, en tres los factores que determinaron la elección de la procedencia del material:

- La riqueza del yacimiento, es decir, la propia calidad del material pétreo.
- El colectivo capacitado para explotarlo: los canteros encargados de la saca de piedra.
- El coste del transporte desde el punto de origen hasta la obra.

### 9.3. Otros condicionantes del proceso.

No solo los órganos de gobierno condicionan los aspectos organizativos de una obra de edificación. La gestión de una obra encomendada a las Fábricas implicaba una administración de factores como **el coste o el plazo** de acuerdo al apartado anterior en el que hemos abordado el transporte de los materiales. Bajo nuestro punto de vista, para que un proyecto resulte exitoso consideramos que, además, se han de dar otros dos aspectos fundamentales: **la seguridad y la calidad**.



He aquí un análisis de estos cuatro elementos que, de forma más o menos directa, garantizan el buen devenir del proceso edificatorio. Estos cuatro aspectos no son de cierta manera tangibles y, por ello, no han dejado de existir ni aparecido con el paso de los años y el cambio de una época medieval a otra contemporánea. Lo que sí cambia es la exigencia del usuario y de las regulaciones normativas, sobre todo en lo que a calidad y seguridad respecta.



**Coste:** Hoy en día un agente promotor, si dispone de la liquidez suficiente, puede proponer a un proyectista y un constructor iniciar una obra; en caso contrario, tendrá que contar con la opción de financiar su proyecto para poder ser este ejecutado.

Esa capacidad de endeudamiento no existía en la Edad Media, pero la liquidez tampoco estaba garantizada, ya que se trataba de proyectos muy costosos y de prolongada vida

<sup>45</sup> Desplazamiento que se hace con carretas y carros.

en fase constructiva. Precisamente, la disponibilidad de fondos económicos fue la principal causa de la lentitud —o incluso paradas totales— en los progresos de las catedrales. Además, el año laboral se veía limitado con la llegada del invierno, pues la reducción de luz diurna condicionaba las jornadas. Algunas tareas como la extracción y labrado de la piedra sí continuaban en esta estación del año, pero la construcción en sí misma quedaba paralizada casi por completo, pues las heladas suponían una amenaza para el mortero. De hecho, llama la atención precisamente de estos períodos invernales una práctica habitual cuando finalizaba el otoño: cubrían los coronamientos de los muros a medio construir con paja para evitar que penetrase el agua y quedaran aislados de las heladas<sup>46</sup>.



**Plazo:** Si un proyecto actual cuenta con un presupuesto aprobado, pero no llega a materializarse en plazo, el éxito en muchos casos no podría garantizarse. Quizás en edificación residencial, el retraso no deja de ser una demora del cobro de ciertos hitos y la molestia de una entrega tardía a los propietarios y usuarios del edificio; pero existen casos en el que no cumplir con los plazos supone un fracaso del proyecto, como por ejemplos la construcción de un estadio sede de los Juegos Olímpicos o el proyecto de edificios para una Exposición Universal.

En cambio, en la Edad Media los plazos se antojaban inciertos de antemano, pues, entre otros aspectos, el punto económico lo condicionaba sobremanera. Se tornaban así temporadas en las que el avance era homogéneo y progresivo con otras de inactividad total en las que solo primaban las ganas del pueblo por recobrar unas obras inacabadas.

Prácticamente, casi nunca había garantías de que una misma generación viera concluida su obra, lo que derivaba en cambios de maestros de obras.<sup>47</sup> Esto, a su vez, afectaba a cambios en diseños y, derivado de ellos, se sucedían fallos en unas estructuras originalmente planteadas que no soportarían las modificaciones a implementar. Por lo general, las catedrales tardaban cien años en acabarse:

- Catedral de Salisbury, Inglaterra: 1220-1320                      100 años
- Catedral de Sevilla, España: 1401-1507                              106 años
- Catedral de Notre Dame, Francia: 1163-1345                        182 años
- Catedral de Colonia, Alemania: 1248-1880                        632 años



**Seguridad:** El tercer eje vertebrador del éxito de un proyecto es la prevención en el trabajo. De qué serviría una construcción lograda en coste y plazo si le costaba la vida a algún agente o trabajador del proceso. El proyecto se vería truncado y el éxito nunca sería limpio al fracasar la seguridad.

---

<sup>46</sup> Hislop, M.: Op. Cit., p. 44.

<sup>47</sup> Destacamos como ejemplo la construcción de la cúpula de San Pedro del Vaticano: en 1506, el Papa Julio II encarga a Bramante la sustitución de la antigua basílica de San Pedro que era del siglo IV. Julio II murió en 1513 y Bramante al año siguiente. En las obras se sucedieron hasta 6 arquitectos y 19 Papas en poco más de un siglo, concluyéndose en el año 1626.

Nuestra generación está cada vez más concienciada por la Seguridad y Salud Laboral y el empleo de los Equipos de Protección Individual (EPI). Además, los profesionales, se rigen por los aspectos legales regulados en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales o en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

En tiempos medievales, ni había legislación ni Equipos de Protección Individual. Probablemente, ni siquiera la conciencia tuviera hueco para detenerse a evaluar los riesgos que envolvía un entramado tan complejo como levantar una catedral. Así pues, eran comunes los accidentes y, muchos de ellos, eran mortales. Este tipo de situaciones penalizaban los proyectos, además de por la pérdida de vidas, por los tiempos de construcción inoperativos, ya que, de acuerdo a la severidad de los daños, la obra se detenía por un tiempo o se paralizaba por completo.



**Calidad:** Por último, trataremos la vertiente que mide la eficacia y la aptitud del proyecto. Consultada la RAE, el término aptitud es la capacidad para operar competentemente en una determinada actividad. Si nos llevamos a la práctica esta definición, un edificio debe ser apto para el fin por el que se ha construido. Por tanto, si construimos un hotel, debe tener aptitud para alojar huéspedes; o si construimos una universidad, debe ser útil en la impartición de clases a un alumnado. La aptitud de un proyecto es uno de los aspectos clave para evaluar el éxito del mismo. Dicho de otro modo, si tenemos nuestra construcción en coste, en plazo y en condiciones de seguridad, ¿para qué la emplearíamos si no resultara útil? En el abanico de la calidad intervienen muchos aspectos con los materiales y las pruebas de certificación y control de calidad a la cabeza.

En el caso particular de las catedrales, su mayor enemigo en el medievo fueron los incendios<sup>48</sup> dado que la madera constituía parte importante de la estructura en algunos casos y de la cubierta en la práctica totalidad. El fuego como enemigo no es solo cosa del pasado, pues sin ir más lejos en abril de 2019 ardió la famosa aguja de la catedral de Notre Dame (París).

---

<sup>48</sup> Con el paso de los siglos, los enemigos pasaron a ser los saqueos o las revoluciones debidas a la irregular situación social y política que azotaron a los siglos XVII al XX. Un ejemplo lo hallamos a finales del s. XVIII, cuando el Comité Revolucionario de la ciudad de Chartres (Francia) decidió destruir la catedral gótica por considerarlo un símbolo del Antiguo Régimen, pero la intervención del arquitecto local convenció al comité de que la voladura generaría tal cantidad de escombros que harían falta muchos años para librar de ellos a la ciudad. Finalmente, consiguió su propósito y solo quitaron la cubierta de plomo con la que se hicieron balas, así como la gran placa de bronce del famoso laberinto que hay en el suelo para fundir cañones.

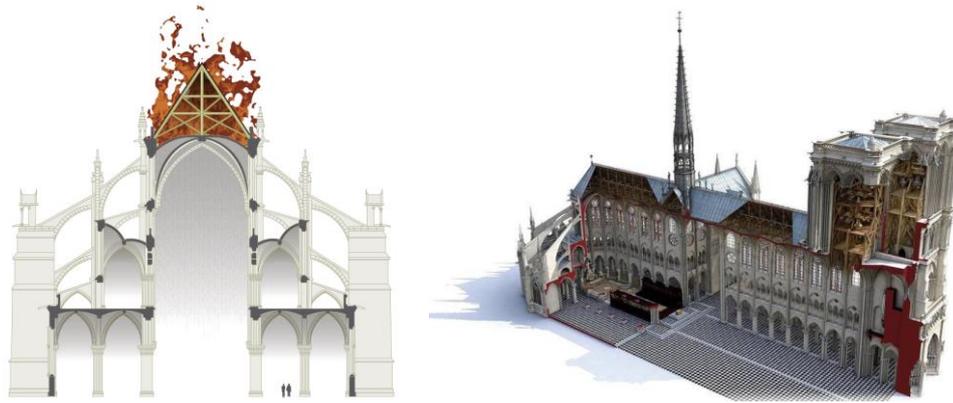


Ilustración 14. Sección y reconstrucción en 3D de la estructura interior de la catedral de Notre Dame (París).  
Fuente: Empresa Art Graphique y Patrimoine.

¿Qué sucedía ante los casos de incendios? Cuando un fuego se originaba en una catedral, gran parte del edificio quedaba dañado, pero la estructura podía salvarse parcialmente. Transcurrido el tiempo que permitiría retomar la actividad —a veces incluso pasaban tantos años que el proyecto suponía cambios sustanciales respecto al original—, se optaba por que las reconstrucciones reaprovecharan gran parte de los elementos estructurales que quedaban en pie. Esta práctica era un riesgo, pues tenían que cerciorarse que la antigua construcción soportaría las cargas del nuevo edificio.

La construcción de numerosas catedrales góticas comenzó porque sus predecesoras habían sido destruidas por el fuego, siendo el foco principal que ardía el tejado al ser de madera. Ejemplos reales los encontramos en: 1113 sufrió un incendio la catedral de Worcester (Inglaterra) y en 1174 el coro de la catedral de Canterbury (Inglaterra). El incendio podía sucederse por negligencias de los obreros, por factores humanos o por motivos naturales como el rayo que alcanzó la torre-campanario de Durham (Inglaterra) en 1429.

Además del fuego, el otro gran componente de los accidentes eran los fallos estructurales. Lamentablemente resultaron ser comunes derivado, entre otros aspectos, del osado tamaño que adquirirían las catedrales. El propio estilo ponía de manifiesto una preocupación constante por la estabilidad a largo plazo. ¿Por qué? Porque aunaba muchos elementos —contrafuertes, arbotantes, pináculos, etc.— y todos ellos labrados en un material tan pesado como la piedra. Aunque a lo largo de la historia ha habido muchos errores constructivos, destacamos algunos ejemplos de fallos estructurales que nos han llamado la atención:

- El maestro de obras Hugo de Goldcliff fue juzgado como el responsable del derrumbe del frente occidental de la abadía de Saint Alban en Hertfordshire (Inglaterra) hacia el año 1200 causado por no cubrir los muros para evitar la penetración del agua.
- La caída de la torre central de la catedral de Beverly, en Yorkshire (Inglaterra) sucedió tras la construcción en su remate de un chapitel no proyectado y sin los apoyos necesarios.

- El derrumbe del cimborrio de la Catedral de Sevilla no fue un único colapso, sino que sucedió dos veces:
  - El primer derrumbe del cimborrio tuvo lugar el 28 de diciembre de 1511 provocado por el quebrantamiento de uno de los pilares torales que resultó muy dañado en el terremoto de 1504. A raíz del accidente, se encargaron informes del estado del edificio a prestigiosos arquitectos. El resultado fue la determinación de un mal estado generalizado de los materiales y un mal uso de ellos. Se hablaba del empleo de una piedra muy porosa y de baja dureza, por lo que resultó ser poco resistente a los empujes y presiones que recibía.<sup>49</sup> A partir de entonces (1513 aprox.) se comenzó a usar una piedra de mayor dureza y tamaño en la construcción<sup>50</sup>. Además de esa medida, también se comenzaría a contratar mano de obra de cantería más especializada procedente de otras catedrales de Castilla.
  - Siglos después, en 1888, sucedió el derrumbe del segundo cimborrio. De nuevo, otro informe analizaría los motivos de la catástrofe y, en esta ocasión, se aludieron a bloques no cortados o asentados correctamente o no con la adecuada mezcla de agua y arena, lo que podría proporcionar sales solubles a la piedra. Ambos desastres sacan a relucir que Sevilla era una ciudad con una tradición constructiva muy diferente a que la imperaba el gótico. Eso, unido a la ausencia de colectivos entendidos en la materia, propició dos ruinas constructivas de calado. En cambio, otros lugares como Francia, donde el estilo nace, la experiencia se iba adquiriendo trabajo a trabajo: se conocían cada vez mejor el comportamiento de los materiales, las resistencias de las estructuras y las técnicas constructivas. El autor J. C. Rodríguez Estévez sostiene que la catedral de Sevilla «*terminó convirtiéndose en un gran centro de experimentación*».

## 10. Etapas constructivas.

En este apartado citaremos y analizaremos las diferentes etapas de una construcción contemporánea y las compararemos con las de una catedral medieval. Antes que nada, debemos mencionar que las fases de un proyecto difieren de acuerdo a su naturaleza, de forma que no tienen lugar las mismas etapas constructivas en un puente que una carretera o en un proyecto de edificación. Dado que nuestro enfoque está en las catedrales, citaremos las distintas etapas que en su construcción se llevaron a cabo:

- Levantamiento y movimiento de tierras
- Cimentación
- Estructura
- Cerramientos

---

<sup>49</sup> Rodríguez Estévez, J. C.: *Op. Cit.*, p. 195.

<sup>50</sup> La piedra blanda se emplearía únicamente para la plementería decorada, mientras que la piedra dura se empleaba en los sillares de los nervios de las bóvedas. Esto propició que, en el siguiente accidente, la nervadura de piedra resistente impidiera el desplome completo de la bóveda.

- Cubiertas

Si comparamos estas etapas con las de un edificio de hoy en día, podemos echar en falta una fase primordial para la salubridad y calidad de vida de las personas: las instalaciones. Segmentaremos en este capítulo los dos escenarios: las etapas comunes y las etapas disonantes de una construcción medieval versus contemporánea.

### 10.1. Fases comunes.

#### *Levantamiento y movimiento de tierras.*

Antes de comenzar a construir, el diseño debe marcar las formas del edificio. Una vez replanteado sobre el terreno, el levantamiento podrá tener lugar. Para un proyecto de edificación actual donde los sótanos o garajes son prácticamente imprescindibles, el movimiento de tierra es esencial; en cambio, en una catedral gótica la única excavación que implicaba era la que marcaba su contorno de planta.

Al ser un edificio religioso, las plantas solían ser cruciformes, ya que evocaban la crucifixión de Cristo. Los cuatro componentes principales de la planta de todo templo eran:

- El brazo oriental o coro, el lugar del altar mayor.
- La nave orientada al oeste. A sus lados y a lo largo de todo el templo, las naves laterales.
- Los dos brazos del transepto (hacia el norte y hacia el sur).
- El punto de intersección de los cuatro elementos era el crucero.

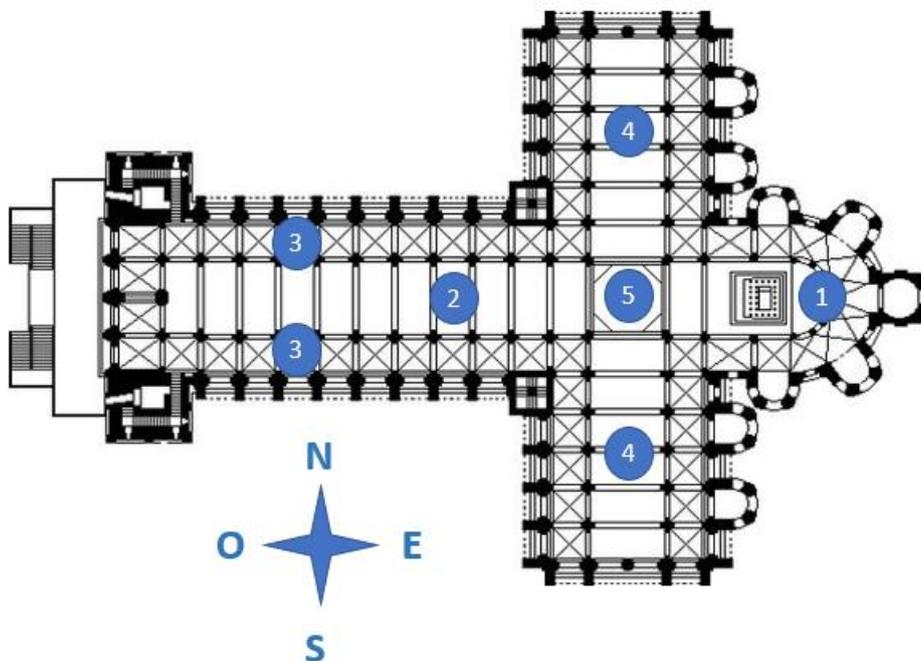


Ilustración 15. Planta de una catedral en forma de cruz Latina. 1) Brazo oriental o coro (altar mayor); 2) Nave central (oeste); 3) Naves laterales; 4) Transeptos norte y sur; 5) Crucero  
Fuente: Web <http://www.e-ducativa.catedu.es>

La planta de las catedrales condicionaba la actividad de oración para la que estos colosales edificios eran construidos. De esta forma:

- El altar mayor y el presbiterio ocupaban el brazo oriental de la iglesia. Como los oficios eran cantados, una parte del presbiterio la ocupaba el coro, el cual quedaba orientado hacia el oeste. Ambas zonas, presbiterio y coro, constituían una unidad que quedaba separada del resto del edificio, de forma que en ellos se podían llevar a cabo actos de oración con independencia.
- La nave central ocupaba el brazo occidental de la iglesia. Sus arquerías hacia las naves laterales dotaban a los templos de un impacto arquitectónico que generaba reverencia y asombro. Las naves laterales se usaban para promover una eficaz organización espacial: facilitaban la comunicación dentro de la catedral al poderse deambular<sup>51</sup> por todo el perímetro sin interrumpir los servicios de la nave mayor. «*Las naves laterales eran un recurso arquitectónico que realizaba la grandeza y, a la vez, un medio práctico para la comunicación intramuros*»<sup>52</sup>.

### Cimentación.

Por mucho que veamos grandes alturas en el gótico, las cimentaciones de los templos no eran con frecuencia excesivamente profundas. El objetivo era hallar suelo firme en el que un lecho de rocas garantizara la estabilidad de la estructura. Unas excavaciones en la catedral de York (Inglaterra) en 1960 y 1970 demostraron que ya en tiempos medievales se hacían pozos geotécnicos de tanteo.

Siguiendo con el ejemplo, en York las zanjas de cimentación son de 1.8 m de profundidad con márgenes inclinados. Su fondo se rellenó de mampuestos y mortero en un espesor de 0.76 m sobre los que se dispuso una red de vigas de madera rodeado de sendas hiladas a modo de retención del maderamen y, como acabado, un colmatado de más mampuesto y mortero hasta la cota de la superficie. Esta práctica de empotramiento de vigas de madera también se llevaba a cabo en los muros.

Llama la atención esta cimentación para una catedral de 72 m de alto, constituyendo la segunda catedral gótica más grande del norte de Europa, tras la de Colonia en Alemania. No obstante, la profundidad de los cimientos siempre la marcaba la naturaleza del emplazamiento. De ahí que contemos con otros proyectos de grandes cimentaciones como los 8.5 m de profundidad de la catedral de Amiens (Francia) muy próxima al río Sena o los 9.5 m de la iglesia de San Esteban de Bristol (Inglaterra) al hallarse sobre un terreno blando o pantanoso.

El estudio de los cimientos de las catedrales europeas solo es posible por medio de excavaciones arqueológicas que permitan ver *in-situ* la composición soterrada que mantiene en pie estas grandiosas estructuras. Se han estudiado en profundidad los de la Catedral de Amiens (Francia), cuyos cimientos incluso fueron dibujados y publicados por Viollet le Duc<sup>53</sup>, arquitecto, arqueólogo y escritor francés, famoso por sus restauraciones interpretativas de edificios

---

<sup>51</sup> La parte de las catedrales situada por detrás del altar mayor se denomina deambulatorio precisamente porque permitía deambular o cambiar de una nave lateral a otra sin cruzar por la central.

<sup>52</sup> Hislop, M.: Op. Cit., p. 22.

<sup>53</sup> Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879) fue considerado el arquitecto del renacer gótico que participó en numerosas «restauraciones» interpretativas de edificios medievales como la catedral de Notre Dame de París.

medievales. Por su parte, sobre la Catedral de Sevilla, Jesús Barrios Sevilla, quien estuviera vinculado al departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad de Sevilla, estudió la cimentación del edificio llegando a determinar que «*la carga de hundimiento por pilar es de 2.287 Tn. (...) cuando la mayor carga que transmiten es de 720 Tn, por lo que el coeficiente de seguridad es de 3.13*».<sup>54</sup>

#### Estructura.

Considero al gótico un estilo casi de auto-creación, pues a cada inconveniente estructural que se le presentaba, ofrecía una solución técnicamente viable que hizo al estilo constituirse por sí solo. Esto lo podemos ver claramente en cómo se soportaban las cargas de una catedral gótica. La clave del estilo radicaba precisamente en que las cargas tenían empujes verticales desde lo más alto hasta los cimientos. Pero no todos los empujes que experimentaban las catedrales eran verticales. Por ejemplo, las cubiertas y las bóvedas sometían a los muros a tensiones laterales que distorsionaban la línea de empuje vertical recorriendo las fábricas en dirección oblicua en lugar de verticalmente.

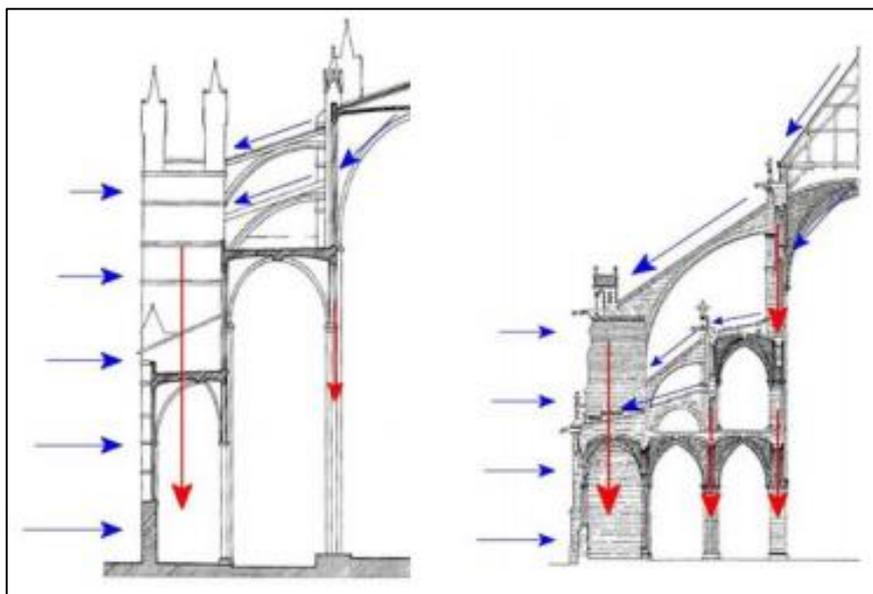


Ilustración 16. Línea de empujes de la estructura de una catedral gótica.

Fuente: León González, J. y Russo F., *Parámetros geométrico-resistentes de la Catedral de León*, p. 4.

Si el empuje era tan grande que alcanzaba la cara vista del muro, se producirían fisuras y la estructura podría fallar. ¿Qué hizo el gótico para evitar esto? Usar elementos que contrarrestaban los empujes laterales: **contrafuertes, arbotantes y pináculos**. De esta forma, se aminoraba la desviación de la línea de empuje que los otros elementos —cubiertas y bóvedas— ejercían sobre los muros.

<sup>54</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 203.

- **Contrafuertes:** Eran el refuerzo vertical del paramento de los muros que permitían aumentar su estabilidad.<sup>55</sup> Resultó imprescindible en el gótico, ya que un error en ellos haría desvanecerse las bóvedas debido al empuje lateral que estas ejercían sobre los muros.

Como veremos también con el caso de los arbotantes, los contrafuertes no constituyeron una aportación del gótico, pues se empleaban con anterioridad. De hecho, un estribo o contrafuerte es un elemento que, en teoría, no es propio de ningún estilo, pues se trata de una técnica constructiva básica para contrarrestar los empujes que se reciben por parte de cualquier carga.



Ilustración 17. Contrafuertes de la catedral gótica de Gerona, España.  
Fuente: Web <https://www.glosarioarquitectonico.com>

- **Arbotantes:** Como adelantábamos, el origen del arbotante tampoco radica en el gótico pese a lo creído por muchos, pues ya hay referencias de este elemento en Bizancio en la catedral de Santa Sofía en Constantinopla del siglo V. En el románico también se empleaba, pero de forma no visible al situarse bajo las tribunas laterales de los edificios construidos en este estilo. No será hasta el gótico cuando, estructural y constructivamente, este elemento pase a ser visible: el arbotante exterior apareció en el siglo XII y lo hizo como contrafuerte arqueado en respuesta al hundimiento de la bóveda de la nave de la iglesia abacial de Cluny en 1125.

¿Y por qué quedó visto el arbotante gótico respecto al románico? Por la paulatina eliminación de las galerías sobre las naves laterales, lo que hacía dejar el arbotante completamente exento y visto. ¿Y qué motivo había para eliminar las galerías? La intención en dejar pasar la luz hasta la nave central, un cambio determinante que hizo al arbotante ser vinculado directamente con el gótico.

La función del arbotante, lógicamente, era la misma en todos los casos: contrarrestar los empujes de las bóvedas, de las cubiertas y del viento y desviar las fuerzas desde los

---

<sup>55</sup> Cuando un muro presenta problemas de exceso de empujes o por fallo del terreno tiende a inclinarse separándose de la vertical. Esa distancia que se separa se denomina desplome. La solución a esta situación es la colocación de un estribo o contrafuerte con función de contención y evitar la caída.

muros hacia los contrafuertes. Eso sí, los arbotantes debían apoyarse en un punto vital del muro de la nave que permitiera que los empujes laterales se dispersaran.

Al igual que los arcos, los arbotantes requerían de cimbras de sostén a partir de la cual volarían las cabezas para su construcción. Con el tiempo, a partir de Saint-Remi (Francia), las técnicas constructivas de este elemento mejorarían y los arbotantes pasaron a tener dos cabezas:

- Cabeza inferior para contrarrestar el empuje de la bóveda.
- Cabeza superior para contrarrestar el empuje de la cubierta, del viento y aumentar la estabilidad de los muros.



*Ilustración 18. Arbotante de la catedral de Sevilla, España.  
Fuente: Web <https://www.catedraldesevilla.es>*

Con el paso de los años, entre finales del siglo XII e inicios del siglo XIII, los arbotantes evolucionaron y se desarrollaron variantes que, con mismo objetivo, ofrecían apariencias dispares como, por ejemplo, los arbotantes cuyas cabezas se separaban por arquerías abiertas de columnas en la catedral de Chartres (Francia) hacia 1200.



*Ilustración 19. Arbotantes con arquerías de la catedral de Chartres, Francia.  
Fuente: Web <https://www.educastur.es>*

La inclinación de los arbotantes también fue objeto de mejora, pues se observa que, en las catedrales más tardías, las inclinaciones eran más pronunciadas «*con un perfil que se aproxima al de un apuntalamiento*»<sup>56</sup> y de ahí que los arbotantes fuesen cada vez más esbeltos.

Por último, y como curiosidad, indicar que fue tal el gusto por lo ornamental de los arbotantes que, en algunos proyectos, se adicionaban simplemente por efecto decorativo del conjunto. Es decir que su empleo en el gótico a veces fue puramente estilístico sin llegar a hacer falta desde el punto de vista estructural. De hecho, el arquitecto F. Escrig sostiene que «*en catedrales españolas como Toledo o Sevilla son seguramente innecesarios*».

- **Pináculos:** Hemos visto que la función del arbotante era desviar el peso de cubiertas y bóvedas, pero el propio arbotante ejercía su fuerza sobre la parte superior del muro o contrafuerte hasta el que llegaban. Por tanto, para equilibrar los empujes verticales y laterales a los que se veían sometidos estos elementos se empleó el pináculo. Su función era cargar los remates de los muros con peso adicional de forma que se contrarrestara el empuje que las bóvedas llevaban a los arbotantes.

Los pináculos surgen en el siglo XIII siendo la primera catedral en emplearlos la de Reims (Francia) en 1211. Como no podía ser de otra forma, estos elementos fueron ricamente ornamentados con modelados y esculpidos de exquisita factura. Estaban conformados por multitud de piezas trabajadas individualmente con alta precisión para, más tarde, ser ensambladas encajando con extrema exactitud. Regresando al ejemplo de la catedral de Reims, los pináculos alcanzaron los 9 metros desde la parte superior del contrafuerte hasta su remate.

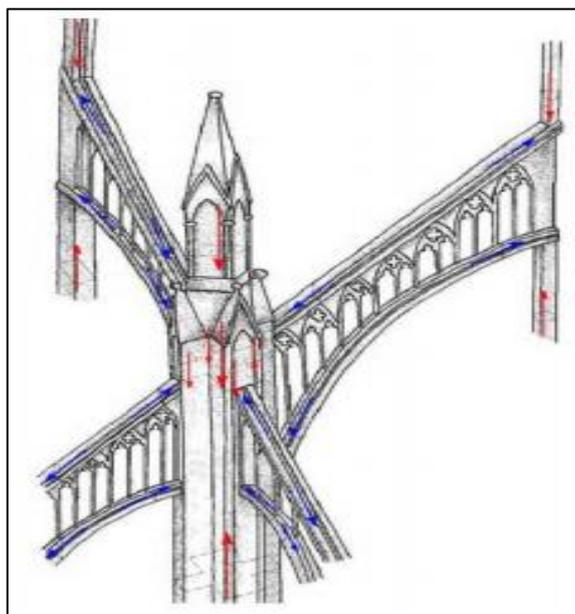


Ilustración 20. Empujes y compensación de cargas de arbotantes y pináculos.  
Fuente: León González, J. y Russo F., *Parámetros geométrico resistentes de la Catedral de León*, p. 4.

<sup>56</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 185.

En conclusión, el esqueleto a base de piedra de todos los elementos que integraron el gótico restó importancia a la propia estructura de los muros. ¿Qué significa esto? Que el muro pasó a un segundo plano gracias a otros elementos que redirigían las cargas como los arbotantes hacia los contrafuertes y estos hacia la superficie. Por tanto, estos dos elementos conformaron un tándem indispensable del gótico que permitió abrir grandes vanos en los muros constituyendo otra seña de identidad del estilo: las ventanas vidriadas que impregnarían los interiores de luz y color.

#### *Cerramientos.*

Ya sabemos que la piedra constituyó el principal material de las catedrales. En el apartado «*Recursos materiales*» se han detallado los distintos tipos de piedra. En concreto, para la cara vista de los muros y los detalles moldurados y esculpidos se usaban sillares. Se trataba de piedras de alta calidad que se labraban con precisión; en cambio, el mampuesto, como material de menos calidad que era, se empleaba en lugares menos visibles. Mientras el mampuesto se solía obtener a nivel local, la piedra tenía como procedencia la cantera, pero ya hemos visto que no todas estaban próximas al lugar de construcción, por lo que a veces debían ser importadas, lo que suponía el mencionado inconveniente de acarrear con los costes del transporte.

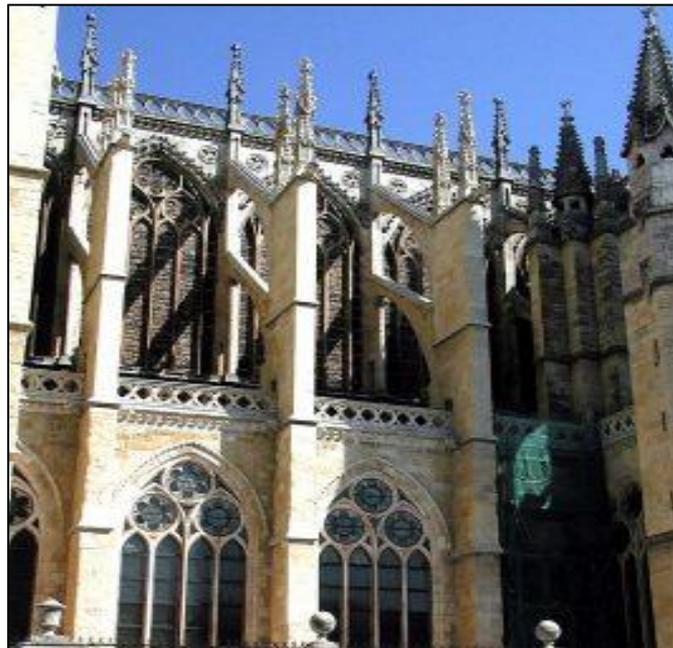


Ilustración 21. Cerramiento de muros con vidrieras de la catedral de León, España, s.XIII.  
Fuente: Web <https://www.glosarioarquitectonico.com>

Una vez en obra, ¿cómo se construían las fábricas de piedra? El muro gótico apenas presentó cambios respecto al muro románico:<sup>57</sup>

<sup>57</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 134-135.

- **Muro de tres hojas** con rellenos entre hojas similares. Se trata de dos capas de sillería de buena calidad y bien aparejada unidas por un relleno a base de mampostería, generalmente compuesto de desechos de la obra. El conjunto se comporta como un todo por el empleo de mortero que da cohesión al muro tripartito.

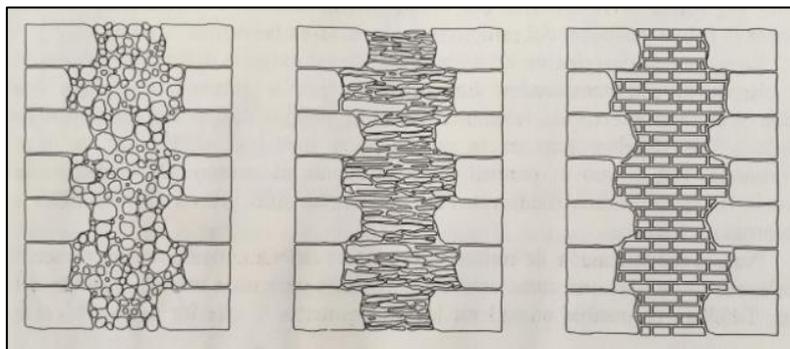


Ilustración 22. Esquema de rellenos de muros medievales.  
Fuente: *La modernidad del gótico*, p. 207.

Aunque menos frecuentes, existen casos de muros de ladrillo derivado de la clara influencia mudéjar que tuvo España. La conquista dejó un núcleo de población mudéjar importante en reinos cristianos que, en determinadas zonas, como Soria, León o Segovia apoyaban la construcción y lo hacían con los conocimientos que manejaban: muros macizos de ladrillo sin relleno interior.

- **Talla de los sillares similares.** No obstante, poco a poco se comienza a abandonar el labrado de pieza media por sillares mayores y de la piedra más blanda se pasa a la piedra dura, aunque con excepciones como la catedral de Sevilla o León donde se emplea piedra de mala calidad.
- **Altura de hiladas constantes e iguales** en las hojas interior-exterior, prueba de una construcción pareja en el conjunto. Aunque eran similares, las alturas a veces variaban ligeramente para un mejor aprovechamiento del material.

Por otro lado, la colocación de las fábricas de piedra no presentó excesivos cambios al modo en el que hoy se colocan los ladrillos, pues el material de unión entonces también era el mortero. En la Edad Media se hacía a base de mezclar cal, arena y agua. La cal se conseguía calcinando creta —carbonato de cal terroso— o cascotes de piedra caliza en una calera —horno donde se calcinaba la piedra caliza— para producir cal viva<sup>58</sup>. Este proceso tenía lugar en caleras construidas *in-situ* y un ejemplo lo tenemos en el fabricante Agnes, denominado el calero de Londres, quien sirvió cal allá por 1250 a la obra de la abadía de Westminster.

Si bien los cerramientos se levantaban a base de piedra, gracias a elementos anteriormente comentados —contrafuertes, arbotantes y pináculos— en ellos se pudieron abrir grandes huecos donde los maestros vidrieros harían diseños que convirtieron a las casas de Dios en lugares verdaderamente celestiales.

<sup>58</sup> La cal viva se mezclaba con agua para producir una masilla que, al unirse con la arena, producía el mortero.

### *Cubiertas.*

La fase de cubiertas es, en todo edificio, una etapa crucial al dotar al conjunto de estabilidad al conectar todos los paramentos verticales. La mayoría de catedrales ocultaban las estructuras de las cubiertas de madera con techos o bóvedas. Los carpinteros encontraban aquí su papel más protagonista, pero para su desgracia eran trabajos que no iban a quedar vistos.

La madera empleada en las cubiertas debía ser de dimensiones acordes al imponente tamaño que las catedrales medievales exigían. A veces esta necesidad suponía una traba similar a la que mencionábamos en el apartado de las canteras: el transporte. Por ejemplo, en la abadía de Saint-Denis (Francia) hicieron falta 12 robles que procedían del bosque de Yveniles, situado a 40 km de la obra.

Nos llama la atención que la única cubierta original que se conserva a día de hoy es la de la catedral de Bourges (Francia) con vigas de madera de castaño de hasta 14 metros de longitud que sostienen la cubierta de pizarra.



*Ilustración 23. Cubierta de la catedral de Bourges (Francia).  
Fuente: La modernidad del gótico, p. 193.*

El proceso de construcción de las estructuras que soportaban las cubiertas tenía lugar a partir de un entramado estructural consistente en una cercha que, de promedio, alcanzaba los 15 metros de altitud y otros tanto de anchura como las de Chartres (Francia), Lincoln (Inglaterra) o Reims (Francia).



*Ilustración 24. Cercha de madera para la cubierta de una catedral.  
Fuente: Web <http://www.geologiadeseovia.info>*

«El plomo era el material preferido para cubrir los tejados. La plomería se hacía vertiendo el metal fundido sobre lechos de arena para obtener láminas o tejas de un tamaño manejable»<sup>59</sup>. Este proceso se hacía a veces a pie de obra. La colocación de estas planchas tenía lugar sobre tablas de madera situadas sobre los pares<sup>60</sup> que, a su vez, se cubrían con materiales aislantes — arcilla, arena o musgo— de forma que la madera y el plomo no estuvieran en contacto entre ellos a fin de:

- Proteger al metal de la corrosión propia de los ácidos de la madera.
- Proteger a la madera de los cambios de temperatura a los que se exponía el plomo al ser el material colocado a la intemperie.

Los maestros plomeros colocaban las láminas de forma individual desde la cumbrera hacia la base del tejado. Cada lámina quedaba fijada con horquillas de plomo o de hierro que se clavaban a la madera de la cubierta. A su vez, las tiras de plomo estaban unidas entre sí de forma que se garantizara la estanqueidad. Las principales ventajas del plomo eran: su propiedad ignífuga, su reciclado parcial en caso de deterioro y su capacidad para generar una superficie ajustada como barrera al agua. En contraposición, era un material costoso.

No obstante, aparte del plomo, existieron otro tipo de materiales menos comunes para las cubiertas como lajas de piedra o pizarra y las tejas cerámicas, incluso vidriadas, para proyectos donde se pretendía potenciar el color.

De acuerdo a F. Escrig y J. P. Valcárcel, las cubiertas se pueden clasificar en tres tipos:

- **Cubiertas inclinadas con pendiente.** Es el sistema constructivo habitual de las catedrales europeas, especialmente en Francia, Inglaterra, Centroeuropa y Países Bajos.
- **Terrazas planas.** Tipología más común en zonas con clima cálido como España, Portugal e Italia. Un ejemplo es Santa María del Mar en Barcelona donde las terrazas llenan los senos de las bóvedas hasta casi nivelar la cubierta en una superficie horizontal.



Ilustración 25. Recreación 3D virtual de la Basílica Santa María del Mar. Barcelona, España.  
Fuente: Google Earth.

<sup>59</sup> Hislop, M.: Op. Cit., p. 98.

<sup>60</sup> Cada uno de los dos maderos que conforman la inclinación del tejado.

- **Terrazas sobre extradós de la bóveda.** Sistema menos habitual y un ejemplo lo encontramos en la catedral de Sevilla. En este caso, las terrazas siguen el perfil de la bóveda dejando unos profundos senos en los que se recoge el agua de lluvia conduciéndola hasta las gárgolas. Llama la atención que, según estos autores, en el caso de Sevilla este sistema de «*desagüe es insuficiente para grandes lluvias, lo que supone un serio problema para la conservación*».

#### *Rellenos de las cubiertas.*

En una publicación de A. Jiménez Sancho, se analizan los rellenos cerámicos de las bóvedas de la Catedral de Sevilla. En concreto, se estudió la técnica constructiva empleada a base de alcatifas de vasijas cerámicas<sup>61</sup> cuyas fechas de construcción van desde mediados del siglo XV hasta inicios del siglo XIX.

Lo cierto es que estas interioridades constructivas han pasado desapercibidas para los investigadores, quizás por su difícil acceso, por lo residual de los rellenos y, cómo no, por el uso mayoritario de tejados como sistema de cubrición.

En la Catedral de Sevilla, en cambio, se optó por una cubierta transitable para dar espacio y facilitar la reparación de los ventanales, algo que fue posible gracias a los bajos índices de pluviosidad de la ciudad. Fue un sistema adecuado también debido a la enorme anchura de las naves de la catedral, lo que hubiera demandado tejados con pendientes muy pronunciadas.

Según el autor citado, construir una cubierta plana supone la adopción de dos soluciones constructivas adheridas: el relleno y el levantamiento de tabiques conejeros o empalomados. Esta técnica permite crear espacios libres para aligerar el peso y, en el caso de las alcatifas cerámicas, se traduce en burbujas de aire. ¿Y por qué se empleó este elemento? Por múltiples razones:

- Los recipientes cerámicos pesan poco.
- Hay gran variedad de tamaños de vasijas.
- Es un material abundante, manejables y económico.
- La gran producción cerámica en la ciudad ocasionaba grandes cantidades de desechos procedentes de hornadas defectuosas.

Sumadas esas características a un templo que supone ser el edificio gótico más extenso del mundo con 9.600 m<sup>2</sup>, cobra sentido aplicar la solución constructiva de aligeramiento a las bóvedas cuyas proporciones en el mayor de los casos es de 11 metros por 11 metros.

¿Cómo era el procedimiento? El relleno cerámico se disponía sobre el trasdós (exterior de la bóveda) que está revestido con ladrillos y mortero de cal. Las vasijas son colocadas en posición vertical con la boca hacia abajo y, sobre ellas, una nueva capa de mortero de cal recibe más material de pequeño y mediano tamaño. Por último, se cubre con una capa poco consistente de tierra con cal que sirve de asiento a la solería que hará a la cubierta ser transitable.

---

<sup>61</sup> Las alcatifas es la broza —desechos o desperdicios— o relleno que, para allanar, se echa en el suelo antes de enlosarlo o enladrillarlo, o sobre el techo para tejar.



*Ilustración 26. Cubierta plana de la Catedral de Sevilla bajo la que se aplica la técnica de aligeramiento de peso con alcatifas de vasijas cerámicas.*  
Fuente: Web <https://www.catedraldesevilla.es>

El análisis realizado por A. Jiménez Sancho confirma que no existieron rellenos cerámicos en construcciones musulmanas debido a la escasez de edificios abovedados completos, de forma que sólo aparecen en obras cristianas a partir del siglo XV.

Por último, indicar que este estudio trajo como descubrimiento un orificio en la parte central de las bóvedas que quizás pudo servir para desaguar los aportes pluviales durante la fase de construcción antes de la colocación de las vasijas y su posterior solado. Otra hipótesis de estas oquedades podría estar en las representaciones teatrales que tenían lugar en el interior de las catedrales —se conocían como los misterios— sirviendo para el izado de las tramoyas.

#### *La bóveda como sistema de construcción.*

Las bóvedas han existido con anterioridad a la implantación del gótico en el medievo europeo, si bien, las distintas tipologías que existieron fueron dispares en cada época. Poco a poco, fueron cambiando la morfología y así se pasó de la bóveda de cañón romántica a la de crucería que aportó el gótico, pasando por la de arista. Veremos en detalle los tres tipos más adelante, pero antes nos centraremos en los tres elementos básicos que todas compartían: la montea, la clave y el enjarjamiento.

- **La montea**<sup>62</sup> es el dibujo a tamaño natural que, en el suelo o en una pared, se hace de la bóveda completa para hacer el despiece, sacar las plantillas y señalar los cortes.

---

<sup>62</sup> Existen interesantes publicaciones sobre este elemento por parte del autor José Antonio Ruiz de la Rosa (Universidades de Sevilla y Las Palmas de Gran Canarias) como el artículo publicado junto a J. Clemente Rodríguez Estévez en las Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la construcción denominado «Monteas en las azoteas de la Catedral de Sevilla» coordinado por Graciani García, A.

«El dibujo a escala natural era absolutamente imprescindible en una época en que el cambio de escala era una operación en extremo arriesgada, un error en forma o curvatura de una dovela podría acarrear la talla de cientos de piezas incorrectas».<sup>63</sup>

- **La clave** es la dovela central de la bóveda, la cual, por su ubicación, suele ser de mayores dimensiones que las demás dovelas.

La talla de las claves era la tarea más compleja en la construcción de un arco o de una bóveda de crucería. Los maestros canteros que la tallaban eran los más prósperos, pues la precisión en el acabado debía ser completo y perfecto pues resolvía el encuentro de, al menos, dos partes, aunque podían ser muchas más dependiendo de la sofisticación de la bóveda.

- **El enjarjamiento o jarjas** constituye el arranque de la bóveda. Constituye el punto de enjarje, es decir, el enlace de sus nervios desde el punto de arranque.

El arranque o las jarjas de la bóveda tiene lugar en el punto de altura preciso «en el que el racimo de nervaduras que emerge de uno de los ángulos de la bóveda se separa, de forma que cada uno de los arcos aparece como un elemento independiente».<sup>64</sup> Dicho de otra forma, las jarjas debían llegar hasta el punto donde los arcos se separan unos de otros.

Además de estos tres elementos, dos más son fundamentales en las bóvedas: la talla de la piedra y las cimbras empleadas en el proceso de construcción.

- **La talla de la piedra** era esencial para garantizar un entramado perfecto. Los diferentes tipos de bóvedas dieron mucho juego al gótico, sobre todo, con las nervaduras que estas presentaban y con las que podían hacer fascinantes juegos geométricos. Según la tipología de bóvedas, el número de claves variaba en la crucería, de forma que existieron modalidades con ocho o más claves y en las que, por efecto de la simetría, la mayoría eran diferentes entre sí según el número de nervios que las alcanzaban. A veces, por simplificación, la clave fue sustituida en vez de por una piedra tallada por una piedra cilíndrica, lo que facilitaba en gran medida el difícil encuentro entre los arcos.
- **Las cimbras** constituyeron enormes estructuras de madera esenciales, pues requerían soportar el peso de los arcos —no de la bóveda completa, pues los arcos nervados tendrían esa función—. Además, tras su empleo, debían permitir un correcto descimbrado. En una bóveda de crucería las cimbras también constituían un elemento mucho más simple de construir que en una bóveda clásica donde el cimbrado era continuo.

Tras el cimbrado de los arcos, les tocaba el turno a las curvaturas del espinazo, es decir, a todas las nervaduras de la bóveda. Una vez todas las cimbras se hallaban dispuestas, tenía lugar la colocación de las dovelas y, al final del todo, la clave de cada uno de los arcos que constituían la bóveda.

---

<sup>63</sup> Palacios Gonzalo, J. C.; Martín Talaverano, R.; Bravo Guerrero, S. C.; Genin, S., Vidal, R. M.; Rodríguez Cobos, D.; Martínez Moreno, D.: *Taller de construcción gótica*, p. 30.

<sup>64</sup> Palacios Gonzalo, J. C.; Martín Talaverano, R.; Bravo Guerrero, S. C.; Genin, S., Vidal, R. M.; Rodríguez Cobos, D.; Martínez Moreno, D.: *Op. Cit.*, p. 42.

Por último, la bóveda podía recibir el aparejo que conformaba su plementería y gracias a la proximidad entre los nervios que la sostienen, no era necesario el empleo de cimbras. El relleno se llevaba a cabo con sillares desiguales, empleando restos de piedras sin importar el tamaño.

Una vez se terminaban de colocar todas las piezas, el descimbrado se hacía todo a la vez para que el conjunto reposara la carga de la forma más homogénea posible. Como en otros elementos del gótico, la repetición sistemática y seriada también se daba en las bóvedas.

#### *Bóveda gótica: crucería.*

Si por algo se caracteriza el gótico es por la aportación de la bóveda de crucería, la cual revolucionó la forma de construir por sus grandes ventajas desde el punto de vista estructural como veremos más adelante. Pero la bóveda de crucería no dejó de ser una evolución de las anteriores tipologías de bóvedas y, por tanto, es interesante conocer brevemente todas ellas:

- **Las bóvedas de cañón** tenían el gran inconveniente que requerían un apoyo constante a lo largo de todo el recorrido, lo que solo permitía la apertura de pequeñas ventanas con interiores oscuros.
- **La bóveda de arista** solucionaba ese problema, pero casi no llegaron a emplearse en el románico, quizás debido a dos problemas constructivos:
  - Problema geométrico: Las aristas son intersecciones de superficies cilíndricas.
  - Problema mecánico: Se debía emplear un aparejo complejo que alternara las hiladas en la arista para evitar la fragilidad provocada por un exceso de tensiones.
- **La bóveda de crucería** ofreció entonces una solución que pasó por construir un arco diagonal y, sobre él, apoyar la bóveda. Es decir, «*la bóveda se adaptaba al arco y no al revés*». <sup>65</sup> Una vez más, a un inconveniente constructivo, el gótico se reinventó para solucionarlo y hacer de él, un estilo. El empleo de estas bóvedas inundó de luz los templos y eso llevó a un indudable deseo de imitación que hizo al gótico proliferar por todo el continente.

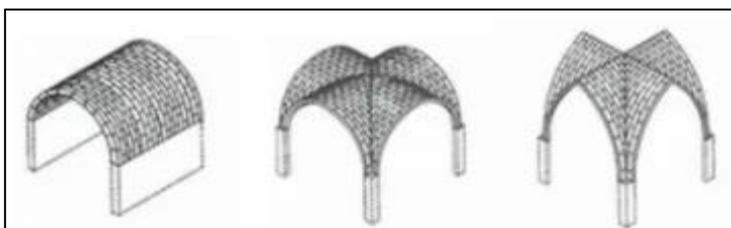


Ilustración 27. Tipos de bóveda: de cañón, de arista y de crucería  
Fuente: <https://www.historiadelarte.com>

<sup>65</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 156.

Aunque sobre techos abovedados se dieron cubiertas de madera, no fueron escasas las catedrales que únicamente contaron con bóvedas de piedra como sistemas de cubierta con el fin de evitar los constantes incendios por los que se veían muchas veces sorprendidos los templos. El motivo de renunciar a la madera radicaba en que constituía un material inflamable y con capacidad para la pudrición por la acción de insectos y agentes como el agua.

No solo por el mantenimiento se optó por la piedra, sino también por el buen comportamiento que el sistema abovedado de crucería ofrecía al cumplir con los siguientes principios:<sup>66</sup>

- Apoyos sobre los nervios para conducir el empuje a los pilares
- Contar con arcos ojivales que aligeren el empuje
- Transmitir los empujes por medio de los arbotantes cuyo efecto se contrarresta con los pináculos

De acuerdo a Félix Escrig, la bóveda de crucería es «*un sistema simple y económico que permite concentrar los esfuerzos en unos puntos en concreto dejando libre de esfuerzos la estructura muraria intermedia*» que se aprovechó para abrir grandes vanos que ocuparían vidrieras que impregnarían de luz los interiores dejando de ser sombríos. La luz, como expresión divina, se convirtió en la obsesión de los promotores de estos edificios, la iglesia.

La idea de construcción del estilo es, en sí, muy sencilla:

1. Construcción de seis arcos, los cuatro de los lados y dos en las diagonales. Los primeros son apuntados y los diagonales, de mayor luz, se hacían de medio punto (circulares).
2. Se usaron cimbras lineales (no volumétricas) para la construcción de los arcos. Debían tener el canto necesario para que la línea de presiones quedara dentro del maderamen.
3. Los triángulos que se quedaban entre los arcos se cubrían con piedras de poco espesor sin necesidad de cimbras constituyendo la plementería.

El entramado de una bóveda de crucería es, por todo, una mejor solución que los sistemas anteriores: pesa mucho menos que la bóveda de cañón románica, se apoya en puntos concretos y, lo mejor, empuja solo en puntos, lo que permite abrir huecos en los muros —para las vidrieras— llevando los empujes de la nave central por medio de arbotantes a contrafuertes adosados a las naves laterales del templo. Los arbotantes, además, servían para la evacuación de las aguas pluviales recogidas en la zona de cubiertas.

Dentro de los tipos de bóveda de crucería, destacan la cuatrimpartita o la sexpartita, siendo esta última más abundante en las primeras catedrales que en las últimas. Aunque la diferencia entre ambas lo indica su propio nombre, veamos sus características principales:

- **Bóveda cuatrimpartita** es la constituida por una bóveda de crucería cortada por sus nervios diagonales en cuatro partes. Es de planta cuadrada o rectangular y requiere cuatro apoyos. Es una solución más sencilla, pues evita el complejo trazado oblicuo propio de la bóveda sexpartita. Desde el punto de vista constructivo, es más interesante y por eso se emplea más a medida que pasan los años.

---

<sup>66</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 262.

- **Bóveda sexpartita** es la que presenta dos nervios diagonales y un tercero que la atraviesa en sentido transversal formando seis partes. Se utilizó para cubrir los grandes tramos cuadrados de las naves centrales. Aunque puede presentar los mismos tipos de planta que la bóveda cuatrimpartita, requiere seis apoyos, los cuales introducen menos cargas y empujes en el arco central que en los arcos fajones del extremo. Como este hecho era sabido por los constructores, los pilares centrales se construían con menor sección.

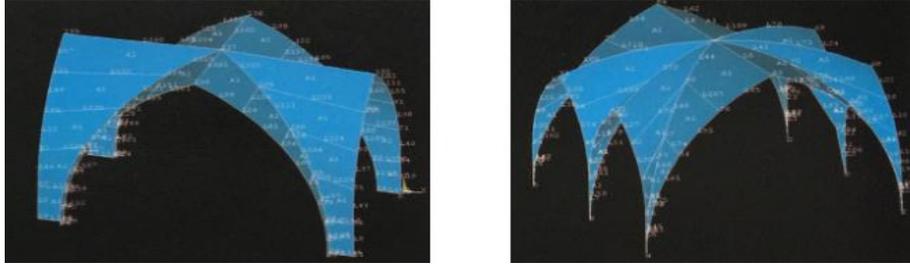


Ilustración 28. Esquemas de bóveda cuatrimpartita y sexpartita.  
Fuente: *La modernidad del gótico*, p. 162.

La bóveda de crucería trajo consigo otro elemento característico del gótico: la línea de sus nervaduras continuando por los pilares, algo que surgió por vez primera en Chartres (Francia). Sobre las nervaduras, se han hecho estudios de todo tipo: <sup>67</sup>

- a) Nervios con función estructural
- b) Nervios sin función estructural, situándose esta en la plementería de cubrición
- c) Sistema mixto de nervios y plementería con función estructural

El resultado de estos estudios arrojó un comportamiento estable en los tres casos, si bien es cierto que se obtienen desplazamientos dispares. Dados los comportamientos de la mayoría de las bóvedas de nuestras catedrales, se optó como solución constructiva generalizada la del sistema mixto. En particular, se sabe que en las bóvedas de ábside los nervios no aportan apenas función estructural como en otro tipo de bóvedas, lo que explica que existan fisuras o incluso ausencia de tramos de nervios en este tipo de bóvedas y no altere la estabilidad del conjunto.



Ilustración 29. Bóveda de ábside tipo radial en Notre Dame, París.  
Fuente: Web <https://www.artehistoria.com>

<sup>67</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: *Op. Cit.*, p. 263.

«La ruina de una bóveda gótica solo parece posible por el fallo de sus apoyos, por colapso estructural como en el caso de la catedral de Sevilla o por fallo de cimientos como en el caso de la catedral de León». <sup>68</sup> El motivo del derrumbe de León tuvo origen en los arbotantes, los cuales tenían una «colocación bastante desafortunada con criterios estructurales modernos (...) sin conocimiento científico, ni constructivo. (...) El arbotante parece responder más a un esquema formal heredado de otros edificios previos que a un intento deliberado y mucho menos calculado de resolver un problema estructural».

Por último, un breve comentario acerca de las **bóvedas en abanico** que merece la pena ser destacado, pues al contrario de lo que se pueda pensar de que son una tipología más compleja, la presencia de tanta nervadura la convierte en una solución más ágil y simple a la hora de aparejar la plementería que la cubre. Esta ventaja es debida precisamente al conjunto de nervaduras, la cual conforma un esquema resistente que simplifica enormemente el proceso de colocación de los plementos, aunque implique el empleo de más cimbras en su construcción.

Llama la atención cómo la mayoría de los claustros de los monasterios emplean este tipo de bóveda en abanico. En palabras de F. Escrig «parece como si los constructores fueran conscientes de que al ser de menor tamaño y sobre todo de menor altura que las bóvedas de la iglesia, era posible construir nervios mucho más complicados de lo habitual».



Ilustración 30. Claustro del Monasterio dos Bispos, Galicia (España).  
Fuente: Web <http://www.artehistoria.com>

## 10.2. Fase disonante: instalaciones.

Tras analizar las fases comunes que comparten una construcción catedralicia medieval y cualquier construcción actual, le toca el turno a la única fase disonante que hoy en día es elemental y que, por entonces, no existía por la simple cuestión de no ser una necesidad del momento: las instalaciones.

Si la fase de instalaciones quedaba fuera del alcance de un proyecto medieval, ¿es quizás porque hoy sí son esenciales y antaño no? Por supuesto que hoy son esenciales y si en la Edad Media

<sup>68</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 264.

no lo eran es, simplemente, porque estamos ante un concepto de salubridad diferente. Pese a que ya en tiempos romanos existieron canalizaciones de saneamiento, la caída del Imperio deterioró ese tipo de mejoras —así como todas en general a nivel constructivo— y dejó al medioevo como una etapa sin avance y con mermas salubres que derivó en un déficit de la calidad de vida que es, por lo general, lo que nos aportan todas las instalaciones con las que hoy se confieren a los edificios, tal y como vamos a analizar.

Con las instalaciones tiene lugar la dotación de servicios a las construcciones. Podemos dividir las dotaciones en dos tipos:

- **Servicios básicos:** abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad, iluminación, climatización y telecomunicaciones.
- **Servicios especiales:** Son particularidades según el tipo de uso de cada edificio. Nos referimos a elementos como ascensores, transformadores de electricidad, equipos de bombeo, extractores industriales, conductos verticales de basuras o paneles solares. No son servicios básicos y solo se implementan de acuerdo al uso del edificio.

De todos estos servicios, en época medieval solo las aguas pluviales serían consideradas en los proyectos dado que las catedrales surgieron en Europa y el continente se caracteriza por un clima húmedo y lluvioso, lo que llevó a los maestros de obras a no pasar inadvertida esta necesidad. Para ello se sirvieron de diferentes elementos:

- **Canalones de plomo.** Se situaban en la parte inferior de los tejados y recogían toda el agua que por ellos descendía.
- **Conducciones de agua.** Como las cubiertas se levantaban a diferente altura según las naves, se ocultaban conductos que recogían las aguas pluviales y cruzando los contrafuertes eran lanzadas por medio de las gárgolas. Un ejemplo lo encontramos en la catedral de Saint-Urbain de Troyes, Francia, s. XIII.
- **Drenaje en arbotantes.** Consiste en una conducción del agua de la cubierta a través de un canal sobre la longitud de los arbotantes, desde los que el agua es expulsada por medio de gárgolas. Este tipo de drenaje se usa en la catedral de Burgos, s. XIII.
- **Tuberías de desagüe.** Es un sistema similar al anterior pero el agua, al alcanzar la cabeza del arbotante tras recorrer su canal a lo largo del estribo, es conducida a una tubería de plomo que actúa de desagüe. Finalmente, el agua era vertida por medio de las gárgolas a la altura de las naves laterales del templo. Podemos encontrar este sistema de evacuación de aguas pluviales en la catedral de Bayeux, en Normandía, Francia, s. XIII.



Ilustración 31. Gárgola para desagüe de las cubiertas.  
Fuente: Web <https://www.cienciahistorica.com>

Derivado de este apartado, podemos mencionar un oficio poco conocido pero muy importante y que ya ha aparecido con anterioridad en el apartado «Cubiertas»: los maestros plomeros. Eran fabricantes —refundían y moldeaban el plomo— encargados de las cubiertas de las catedrales, algo que hacían colocando planchas de plomo soldándolas entre sí. Además, eran los encargados de fabricar y colocar las canaletas y las tuberías de la evacuación de las aguas pluviales; así como de colocar los paneles de ventilación y el emplomado que sujetaba las vidrieras. Y otra tarea que se les encomendaba era la protección de las estructuras de las infiltraciones del agua.

## 11. Equipos de obra y medios auxiliares.

Ya hemos conocido los suelos donde se erigían las catedrales, los planos o tipos de proyectos con los que se ideaban, los agentes que las hicieron posibles y las diferentes etapas en las que se dividían sus largos procesos constructivos. Sin embargo, en esas fases constructivas, los elementos que componían el templo —la piedra que conformaban los arbotantes o las maderas que constituían las cubiertas— eran izados con equipos de obra. Del mismo modo, los altos muros catedralicios se levantaban con ayuda de andamios que permitían a los obreros alcanzar las alturas conquistadas por las torres o chapiteles.

A continuación, tomará protagonismo en nuestro estudio los dos elementos que hicieron posible alcanzar las alturas a las que el gótico se rendía para hacer de su estilo una impronta: las grúas de tracción humana y los andamios medievales.

### 11.1. Grúas de tracción humana.

#### *Origen de las grúas.*

Para llegar a profundizar en cualquier elemento es importante conocer su origen. Se sabe que los primeros mecanismos de elevación son portuarios. El sector del puerto demandó antes que la construcción el empleo de mecanismos de elevación por una doble razón:

- Carga y descarga de mercancías.
- Los puertos como foco central de la sociedad medieval. Gran parte del desarrollo de las ciudades era debido a los ríos y por eso las sociedades crecían en sus inmediaciones: Sevilla-Guadalquivir, Londres-Támesis, París-Sena, etc.

Si bien es cierto que los mecanismos de elevación medievales conservados a día de hoy son escasos, tenemos suficientes fuentes documentales que nos dan buena cuenta de cómo funcionaban. Por ejemplo, sabemos que las grúas portuarias eran más potentes que las grúas tradicionales (armazón de dos maderos en L invertida o grúa doble en forma de T).

Las grúas de puertos denominadas «treadwheels» no se emplearon hasta la Edad Media, fundamentalmente, porque en épocas de potente auge constructivo, como la griega o la romana, se contaba con excesiva mano de obra esclava. Surgieron primero en Flandes, Holanda y Alemania en el siglo XIII; y, más tarde, en Inglaterra, en el s. XIV.

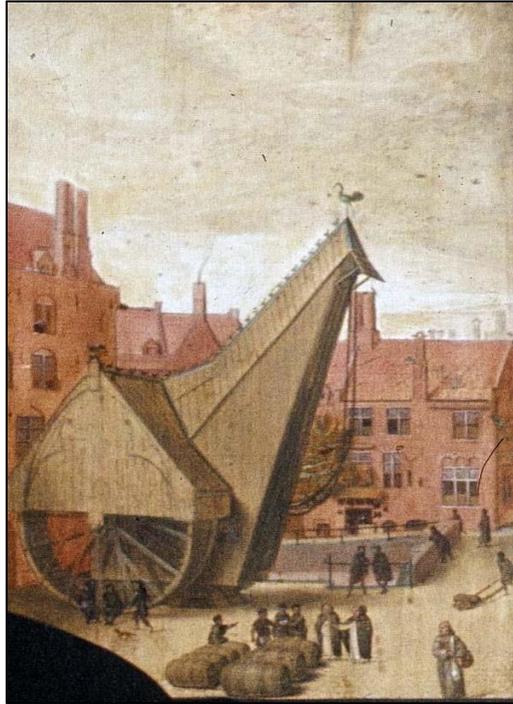


Ilustración 32. Grúa treadwheel de puerto.  
Fuente: Web <http://www.histarmar.com.ar>

En un origen estas grúas no estaban destinadas tanto a levantar grandes pesos sino a hacerlo con notables velocidades de elevación debido al trasiego de mercancías propias de los embarques y desembarques de las embarcaciones de los puertos. No obstante, con el tiempo, fueron experimentando mejoras:

- Ampliaron su potencia debido a dos motivos: incrementar el diámetro hasta los 6 metros —lo que permitía que más hombres caminaran en su interior— y colocación de dos ruedas por grúa en lugar de solo una.
- Fueron cubiertas con techos de madera para proteger de las inclemencias meteorológicas a los hombres que en su interior las accionaban.
- Incluyeron la función de giro a partir del s. XIV lo que permitió acortar los ciclos de trabajo.

#### *Las grúas en las catedrales.*

Autores como Jean Gimpel califican la construcción de las catedrales como «una primera revolución industrial» debido al excesivo cambio y crecimiento en técnicas y en conocimiento arquitectónico que supuso acometer estas colosales construcciones.

En la Edad Media comenzó a denominarse grúa a las «*máquina de elevación a grandes alturas de material de construcción que estaba compuesta, al menos, por una esbelta viga vertical*».<sup>69</sup> Se convirtieron las grúas en las máquinas más complejas de la Edad Media por la elevada potencia motriz. De hecho, tiene sentido que debido a una tecnología más compleja se obtenga el levantamiento de cargas de mayor entidad.

---

<sup>69</sup> Graciani García, A. *La técnica de la Arquitectura medieval*, p. 189.

De acuerdo a A. Graciani, las grúas medievales perseguían cuatro objetivos:

1. Comodidad de uso y facilidad de manejo.
2. Mejora en la seguridad. Se empezaron a usar engranajes de dientes rectos dotados de oscilantes y trinquetes, lo que permitía elevar las cargas de forma progresiva y quedar suspendidas.
3. Aumento de la potencia de carga. Se consigue por el refuerzo del eje o mástil y el ya citado aumento del diámetro de las ruedas de accionamiento.
4. Confort de accionamiento. Para ello se colocaron tejadillos sobre las ruedas

Los elementos básicos de la grúa medieval fueron los heredados de la época clásica:

- Gancho, cables de tracción y poleas
- Tambor de arrollamiento o, en sustitución de este último, cabrestante o rueda lateral de accionamiento como las de las grúas portuarias. Estas ruedas eran escalonadas en su interior y su andar era lo que proporcionaba la energía necesaria para izar las cargas. Por su forma resulta común denominarlas ruedas de ratón.

Otro elemento a destacar era el pescante, «*el madero que se pone horizontal u oblicuamente sobre una cornisa u otra parte avanzada, entregada su mitad para colgar a su extremo una garrucha o polea o para otro fin*».<sup>70</sup>

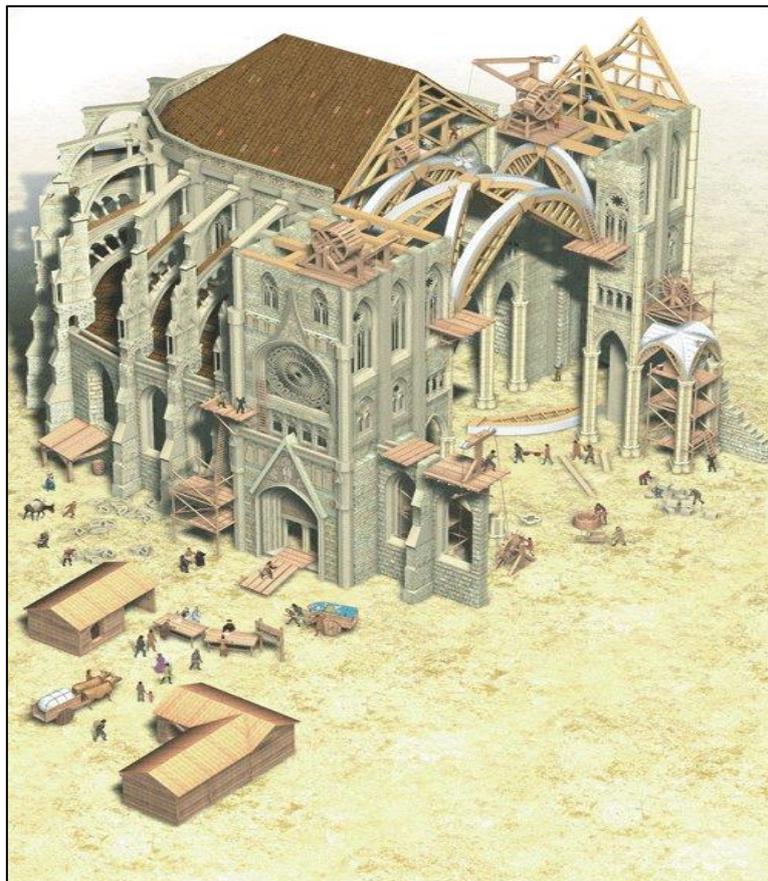


Ilustración 33. Sección del proceso constructivo de una catedral con grúas de tracción humana en la cubierta.  
Fuente: Web <http://www.catedralesgoticas.es>

<sup>70</sup> Rejón de Silva, D. A., *Diccionario de las Nobles Artes para Instrucción de los Aficionados y uso de los Profesores*, p. 160.

### *Las grúas en el gótico.*

Debido a la altura que exigía el gótico, las grúas empleadas en la construcción de las catedrales iban cambiando de lugar —con el correspondiente desmontaje y montaje— y ascendiendo hasta el punto de quedar almacenadas en los áticos de los templos. Algunos ejemplos de grúas alojadas entre la cubierta y las bóvedas de las catedrales los encontramos en:

- **Catedral de Canterbury (Inglaterra), finales s.XV.** Se trataba de una grúa para dos personas de un radio de 2,3 metros y que quedó en lo alto de la construcción para tareas de reparaciones. Llama la atención que la última vez que ha sido empleada ha sido en 1970.
- **Catedral de Colonia (Alemania), año 1400.** Tras siglo y medio de construcción —se inició la obra en 1248— se alojó a 157 metros de altura en el, por aquel entonces, edificio más alto del mundo. Esta treadwheel era de dos ruedas y tenía una altura de 15,7 metros.

A pesar de que estas grúas hicieron posible que el gótico luciera a cotas inimaginables, también son conocidas las desventajas<sup>71</sup> o limitaciones en su uso:

1. **Riesgo de vuelco.** Para casos en los que no se calculaba correctamente el límite de la carga.
2. **Pérdida de energía por fricción.** Calculada en un 20% del esfuerzo total ejercido en el accionamiento.
3. **Situación de la carga en grúas de brazo fijo.** Este tipo de brazos hacían que la grúa tuviera que ser situada muy próxima a la cornisa y tener que emplear la técnica del balanceo para recuperar la carga.
4. **Seguridad del giro.**

A modo de conclusión, podemos afirmar que encontramos el origen de la grúa de construcción en las grúas portuarias. El propio avance de la situación socio-económica del momento —necesidades constructivas, auge de la navegación y la industria minera-metalúrgica— pugna por la mejora de estos mecanismos de elevación de cargas haciendo que, aumentando su diámetro, incrementen su potencia. Además, desde el s. XIV incluyeron la función de giro, algo que resultó muy eficiente para acortar los ciclos de trabajo.

La mayoría de las ventajas que tienen hoy en día las grúas torre —alta capacidad portante, orientación o giro, distribución y traslación— eran cumplidas por las grúas medievales. En cambio, una virtud actual de las grúas torre nunca fue superada: la velocidad. Las grúas medievales tenían como gran desventaja la velocidad de ascenso y la mayor mano de obra para su accionamiento.

Las grúas treadwheels supusieron una mejora de la ventaja mecánica<sup>72</sup> (VM) hasta el punto de ser 14 a 1. Este concepto es el que relaciona la fuerza que hay que ejercer para elevar un

---

<sup>71</sup> Graciani García, A.: *Op. Cit.*, p. 205.

<sup>72</sup> Magnitud adimensional que indica cuánto se amplifica la fuerza aplicada usando un mecanismo para contrarrestar una carga de resistencia. En nuestro caso, cuánto esfuerzo se hacía en la rueda de caminado para izar los materiales a una determinada altura.

determinado objeto. Una VM 14:1 supone que las personas dentro de la rueda de accionamiento caminarán 14 metros para izar la carga 1 metro. Si consideramos una velocidad media de caminado de 5 km/h, ese esfuerzo equivalía a ascender 357,15 m/h, es decir, 6 m/min.

### 11.2. Andamios medievales.

Como hemos reiterado a lo largo del trabajo, una seña de identidad del gótico era la altura y para alcanzarla hacían falta andamios, los cuales constituyeron el armazón principal para llegar a lo más alto. Analizaremos a continuación el componente de la altura, el origen de los andamios y su empleo en el gótico.

#### *Un desafío, la altura.*

El gótico no dejó de mejorar sus marcas alcanzando cada vez más altura a medida que se sucedían los años y se iniciaban nuevas construcciones. Tanto es así que, en Francia, cuna del estilo, la progresión en elevación que fueron adquiriendo los templos siempre era *in crescendo*:

- París, 34 m en 1163
- Chartres, 37 m en 1194
- Reims, 38 m en 1211
- Amiens, 42 m en 1220
- Beauvais, 48 m en 1272

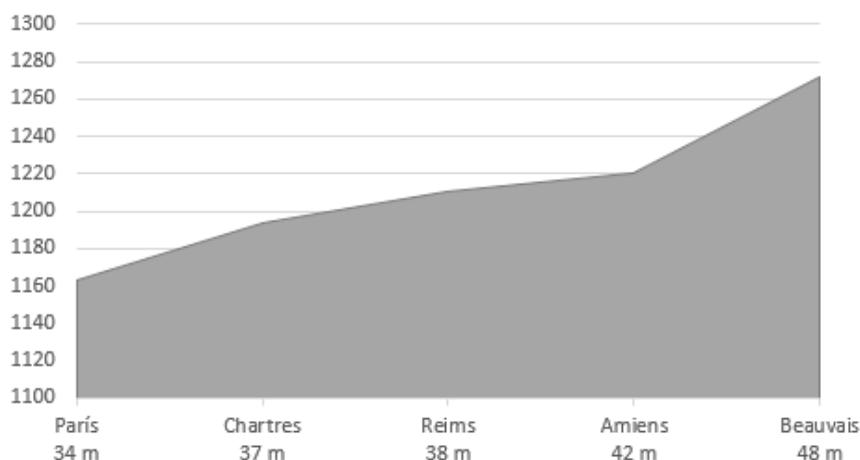


Ilustración 34. Evolución de la altura de las catedrales góticas en Francia.  
Fuente: Elaboración propia.

Entre la primera y última catedral citada hubo poco más de un siglo de diferencia y, sin embargo, se surcan los cielos con un tercio extra de crecimiento en altura. En contraposición, en Inglaterra, la altura no supuso tanta obsesión y el techo eclesiástico más alto estaba incluso por debajo del de menor francés: Westminster solo contó con 31 metros de altitud.

Una vez conseguida la altura, había que dotar el interior de luz. Esta accedía por medio de las fachadas longitudinales a las naves laterales y a través del claristorio a la nave central. Esto era posible debido a que la fachada se retranqueaba en la nave central con respecto a las laterales por encima de las cubiertas de estas últimas. Llegaron a existir catedrales con dobles naves

laterales, de forma que en total contaban con cinco naves. En estos casos, el retranqueo era gradual para que la luz accediera a todas las naves e hiciera del templo un lugar resplandeciente.



Ilustración 35. Claristorio de la catedral de Laon, Francia.  
Fuente: Web <https://www.historiasdelarteuned.wordpress.com>

La altura hacía que las naves se diseñaran en dos, tres o cuatro cuerpos a fin de hacer una articulación horizontal sobre el conjunto. Un ejemplo de cuatro cuerpos lo encontramos en la catedral gótica de Laon (Francia) iniciada hacia 1160 y compuesta por:

- Nivel 1: Arquería en el nivel inferior.
- Nivel 2: Galería<sup>73</sup> sobre las naves laterales. A lo largo de la parte que da al exterior (fachada) se distribuyen las vidrieras que dotan de luz a las naves laterales.
- Nivel 3: Triforio como mural plano. Se corresponde con la cubierta de las naves laterales.
- Nivel 4: Claristorio en el nivel superior. Permite la entrada de luz a la nave central.

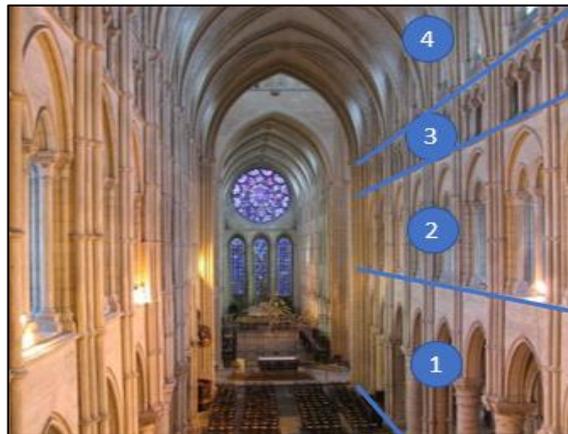


Ilustración 36. Altura de nave en cuatro cuerpos de la catedral gótica de Laon, Francia.  
Fuente: Web <https://www.sobrefrancia.com>

En el exterior, las fachadas solían componerse de una organización tripartita acorde a la estructura del edificio: nave lateral con torre, nave central y segunda nave lateral con torre.

<sup>73</sup> Este elemento dejó de emplearse en el gótico más tardío.

Tanto para la construcción exterior de las fachadas como la interior (diferentes niveles de las naves) hacían faltan vastas estructuras de madera que sirvieran de plataforma de trabajo a los albañiles: los andamios.



Ilustración 37. fachada tripartita de la catedral de Notre Dame, París.

Fuente: Web <http://www.encyclopedia.us.es>

#### *Origen de los andamios.*

El desarrollo que caracterizó la construcción en la Baja Edad Media dejó también patente una evolución en los medios auxiliares empleados en obra. Así pues, se observa una diferencia sustancial entre los andamios de principio y final del medievo:

- Los primeros sistemas eran más pesados pues constituían, además de la propia plataforma de trabajo, el lugar para el acopio de material. Se trataba de estructuras apoyadas en el suelo y conectadas a la fábrica por medio de almojayas<sup>74</sup> a mechinales.
- Desde mediados del siglo XII, las mejoras en la maquinaria de elevación permitieron a los andamios ser simplemente plataformas de trabajo, pues los materiales se izaban a partir de grúas, lo que permitió aligerar las estructuras andamiadas. Esto permitió crear tipologías de andamios más flexibles como andamios de puentes, es decir, estructuras voladas al exterior. Este tipo de plataforma exigía un contrapeso que garantizara la estabilidad y evitase el riesgo de vuelco y, precisamente, para este contrapunto se empleó el peso de las propias máquinas de elevación.

El material empleado en los andamios, por lo general, lo constituía un entramado sólido de madera que resistía el peso. El esqueleto se unía entre sí por medio de cuerdas, lonjas de cuero o clavos. Además, también se empleaban conexiones a la fábrica por medio de anclajes de hierros y maderos fijados a los edificios.

En los proyectos catedralicios, los soportes verticales de los andamios quedaban hundidos en la tierra y los horizontales anclados a la propia edificación por medio de mechinales<sup>75</sup> abiertos en la estructura con objeto de servir de amarre. La estructura del andamio se hacía compacta

<sup>74</sup> Madero cuadrado y fuerte que, asegurado en la pared, sirve para sostener andamios y para otros usos.

<sup>75</sup> Oquedad cuadrada que se deja en las fachadas de los edificios para introducir en él la estructura de anclaje horizontal de los andamios.

mediante la unión de los travesaños por medio de sobas o ramas de sauces. Destacamos que, en ocasiones, «con estas mismas ramas se elaboraban zarzos o paneles rectangulares que servían como plataforma de trabajo»<sup>76</sup>.

El principal enemigo de una estructura no consolidada, como lo eran los andamios, siempre es el viento, algo que aún a día de hoy sigue siendo así. Para conocer la admisibilidad de las condiciones de trabajos se empleó una costumbre que consistía en la colocación de un trozo de tela en lo alto de la estructura de forma que se conociera la fuerza y dirección del viento.

Podemos afirmar que los andamios, a los cuales se accedía por medio de escaleras móviles, se vieron condicionados por el método de colocación de los sillares en las obras de construcción. De acuerdo a Castro Villalba, existen dos hipótesis<sup>77</sup>:

- **Hipótesis 01. La construcción de sillares por hiladas completas.**

Este método constructivo parece poco eficiente al ir hilada a hilada completando el perímetro de la edificación. Que cada hilada se concluyera antes de comenzar la siguiente implicaría disponer de un andamio corrido a lo largo de todo el perímetro de la obra que iría recreciendo por igual a medida que se ganaba en altura. En cambio, como ventaja, este método garantizaría una altura homogénea de las hiladas al ser colocados los sillares por niveles de una vez, evitando clasificaciones enojosas de diferentes tamaños.

- **Hipótesis 02. Construcción por fachadas.**

Este método resulta más coherente al punto de que no sería necesario un andamio a lo largo de todo el perímetro de la construcción. De esta forma, una sola estructura podría ser reaprovechada tras un proceso de desmontaje, movimiento y montaje en otro punto de la obra. Este método no empleaba las adarajas<sup>78</sup> pues las esquinas se levantaban en un primer momento y solo el restante volumen de cada paño era lo que se construía de forma independiente. La contraposición a esta lógica constructiva la ponía las clasificaciones de material por tamaños, dado que no todas las hiladas eran de la misma altura.

No solo el método constructivo, sino también el tamaño de los sillares condicionaba los andamios. La dificultad en su manejo debido a sus grandes masas condicionaba a solo uno o dos bloques de piedra por cada andamio. Nuevamente, Castro Villalba nos habla de dos hipótesis<sup>79</sup>:

- La forma desigual de los sillares viene producida por reaprovechamiento de otros proyectos. Es lo que se denominaban sillares de recuperación y forzosamente esta técnica condiciona a conformarse con la geometría y tamaños de origen.
- La forma desigual de los sillares la determina un aprovechamiento óptimo de material existente en los bloques de cantera. Pese a que hacer una extracción *in-situ* diera que

---

<sup>76</sup> Hislop, M.: Op. Cit., p. 42.

<sup>77</sup> Castro Villalba, A. *Historia de la construcción medieval. Aportaciones*, pp-36-37.

<sup>78</sup> Dentellones que se forman en la interrupción lateral de un muro para su trabazón al proseguirlo.

<sup>79</sup> Castro Villalba, A.: Op. cit., p. 35.

pensar que podrían obtenerse bloques homogéneos, hacerlo así supondría un desperdicio de material.

### *Los andamios en el gótico.*

Las catedrales medievales impusieron el empleo de los andamios, además de en la construcción del entramado de pilares y muros<sup>80</sup>, en dos importantes elementos góticos —los chapiteles y el cimborrio— que se impulsaban hacia las nubes. Constituyeron estos entramados constructivos una estructura imprescindible para hacer ganar altura al estilo y convertir en realidad los proyectos catedralicios.

- Los **chapiteles** constituían un elemento gótico muy económico que potenciaba un estilo cada vez más ascensional. Tenían por objetivo realzar la religiosidad del templo y que pudiera ser contemplado a larga distancia al ser situados sobre las torres. A diferencia de otros elementos del gótico, en los chapiteles no primaba tanto el diseño y la ornamentación desmesurada, sino la propia altura en sí. El de la catedral de Salisbury (Inglaterra, hacia 1220) alcanzó los 123 metros convirtiéndose así en el más alto de Inglaterra y la estructura medieval más elevada de Europa.



*Ilustración 38. Aguja tipo calada la torre de la catedral de Burgos, España.  
Fuente: Web <http://www.diccionarioartecopedro.blogspot.com>*

En las torres y los chapiteles —o flecha como también eran denominados— era donde los edificios dejaban en muchas ocasiones de ser fieles a lo proyectado, pues la falta de ingresos hacía que estos elementos, últimos en erigirse, fuesen en muchas ocasiones

---

<sup>80</sup> En el estilo románico predominaba otro tipo de construcción con la cúpula como punto álgido de los proyectos arquitectónicos. Nos ha llamado la atención una anécdota relacionada con los andamios empleados en la construcción de la cúpula de Santa María de Fiore (Florencia, Italia) en la que, de acuerdo a R. Aroca, «para resolver el problema de los andamios se llegó a proponer seriamente llenar el crucero —hasta la altura de la cúpula— de tierra con algunas monedas, y que luego los pobres de la ciudad la retiraran para recuperarlas». Con el tiempo, la experiencia demostró que la mejor solución constructiva para las cúpulas, debido a su comportamiento estable, era su construcción por anillos de forma uniforme, de forma que los andamios podían sostenerse sobre la propia obra ejecutada.

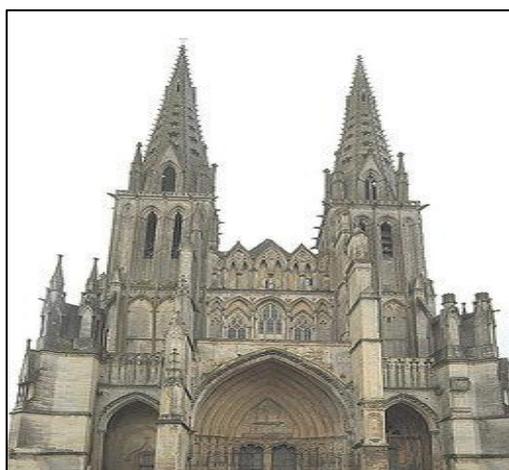
sacrificados. Esto sucedió en Reims (Francia) donde aún perduran los arranques de los chapiteles que nunca coronaron sus dos torres.

Existieron chapiteles tanto en piedra como en madera, pues cada material tenía sus ventajas. De un lado, la piedra era más duradera y resistente a la intemperie; en cambio, la madera permitía un ritmo de construcción mucho más ágil y por eso la mayoría se elaboraron en este material. Un ejemplo de construcción de chapitel en piedra lo encontramos en la iglesia de Santiago en Louth, Lincolnshire (Inglaterra) que se eleva 43 metros sobre la torre y tardó 14 años en erigirse, lo que hace una media de tan solo 3 metros por año.

También existieron chapiteles calados que fue una contribución alemana de inicios del siglo XIV. Contamos a día de hoy con ejemplos de ellos en la catedral de Burgos, España, o la de Colonia, Alemania. Estos últimos fueron diseñados en su época pese a no ser construidos hasta el siglo XIX.

El proceso de construcción de los chapiteles era a partir de un mástil de madera situado desde la base hasta la cúspide en el eje central de la aguja o flecha. En ocasiones se reforzaba la estructura con tirantes de hierro. Alrededor se levantaba un andamio a base de un armazón de madera ensamblado que sería entablado para crear superficies de trabajo para que desde el interior los carpinteros procedieran a la colocación de los paneles que recubrirían el chapitel. En ocasiones se emplearon otros materiales como plomo o tejas cerámicas.

Como muchos aspectos del gótico, el empleo de sus elementos generaba dificultades constructivas. Así pues, siendo las torres, generalmente, de planta rectangular y los chapiteles, generalmente, de planta octogonal, la transición de un elemento a otro suponía un pequeño inconveniente para dotar al conjunto de armonía y homogeneidad. El gótico lo solucionó añadiendo pináculos y pequeñas ventanas en gabletes, de forma que los elementos que partían de la torre invadían visualmente la base del chapitel. El objetivo de esta ornamentación era distraer la atención de la disparidad de las dos formas rectangulares y octogonales de los dos elementos que cohesionaba.



*Ilustración 39. Transición de torre a chapitel con ventanas en gablete de una catedral gótica.  
Fuente: Web <https://www.ecured.cu>*

A veces, la construcción de estos enormes chapiteles o flechas supuso una clara prueba de los escasos conocimientos que, a veces, tenían los constructores medievales, pues desafiaban las alturas y, al final, acababan hundiéndose. Lo que más pasó factura fueron el cambio de generaciones y el desconocimiento de la capacidad de carga para los que estaban diseñados los pilares o muros que debían sostener los chapiteles que, aún quizás estando previstos, no lo serían de tanta elevación como finalmente se proyectaron.

- El **cimborrio** conformaba otro elemento de altitud. Era la torre situada sobre la intersección de la nave, el presbiterio y los dos transeptos, es decir, era la torre que se erigía sobre el crucero de la catedral. La necesidad de construir los cimborrios era la de iluminar dicha intersección pues hacían las veces de linternas. Al situarse sobre el crucero, rompían la homogeneidad de las cubiertas sobre la nave central y los transeptos y reforzaban el espíritu de verticalidad propio del gótico.

Este elemento era un punto débil a nivel estructural, ya que a veces no estaba planificado, pero se acababa construyendo. Eso fue lo que sucedió en la abadía de Fountains, en Yorkshire (Inglaterra), donde al cabo de los 100 años de terminar la obra, los pilares y los arcos comenzaron a fallar.

Otras veces, los cimborrios otorgaban problemas a las estructuras por haber sido recrecidos con objeto de realzar los templos e incluso adosándoseles chapiteles que añadían aún más peso. Esto último tuvo lugar en la catedral de Wells, Inglaterra, en la que se construyó su cimborrio entre 1175 y 1260 para más adelante recrecerlo entre 1315 y 1322. En 1338 el edificio adoleció el esfuerzo extra al que estaba sometido por el incremento de peso y los cimios y el propio cimborrio mostraron síntomas de inestabilidad. La solución pasó por construir un arco diafragma o arco tijera como estructura auxiliar para absorber el peso añadido.



Ilustración 40. Interior y exterior del cimborrio de la catedral de Sevilla, España.  
Fuente: Web <http://www.historicalsoundscapes.com>

En resumen, se puede afirmar que la evolución de las técnicas constructivas no solo permitió abordar proyectos de mayor envergadura, sino que afectó positivamente en la mejora de los

medios auxiliares a emplear haciendo, en particular, de los andamios estructuras menos pesadas y más enfocadas a lo que hoy en día son: plataformas de trabajo.

Los vanos que se abrían en las fachadas para hacer entrar la luz, hicieron erigir muros cada vez más y más altos. Del mismo modo, el encuentro de las naves y los transeptos no podían ser sombríos y se construyeron cimborrios sobre los cruceros para que estos no quedaran huérfanos de luz. Por si fuera poco, el estilo quería llamar la atención de cualquier peregrino y se levantaron sofisticados y esbeltos chapiteles en forma de aguja que hiciesen visible la casa de Dios en la lejanía del horizonte.

En definitiva, la altura no fuese un hándicap para el gótico y, ni siquiera, fue enemigo de un estilo que encontró en los andamios un elemento imprescindible con el que consiguió surcar el cielo medieval.

### 11.3. Equipos de obra actuales.

Si por algo se caracteriza la tecnología es por su evolución. En materia constructiva se ha pasado de no disponer de elementos tecnológicos (Stonehenge, Inglaterra, hacia 2800 a.C.) a, poco a poco, ir incorporándolos: palanca, rodillos, poleas, grúas de tracción humana, etc.

Con el paso del tiempo, la mano de obra en la actualidad ha quedado relegada únicamente a aquellos trabajos para los que no existe maquinaria como, por ejemplo, la colocación de solería o el labrado de fábricas de ladrillo, o trabajos que requieran de cierta precisión. Otro escenario en el que se prescindiría de maquinaria es para ejecutar obras de pequeño volumen dado que su empleo no resultaría rentable económicamente.

Hoy en día es inconcebible un proyecto de edificación sin equipos o maquinaria de obra. No solo por la mejora que nos brindan en cuanto a rendimientos, sino porque incluso aspectos legales exigen su empleo al amparo de garantizar la Seguridad y Salud Laboral. A continuación, listamos los motivos que justifican como necesidad básica el empleo de maquinaria de construcción:

- Disminución del coste de la mano de obra. Las unidades de obra realizadas con maquinaria suponen un ahorro económico muy importante.
- Alto rendimiento que favorece la consecución de los plazos. Por ejemplo, un hombre en una hora de trabajo es capaz de extraer 1 m<sup>3</sup> de material, por los 100 m<sup>3</sup> que es capaz de sacar una excavadora.
- Ciertas unidades son imposibles de hacer de forma manual, como pilotajes, pantallas de cimentación, soldaduras, etc.
- Prohibición expresa para hacer determinadas operaciones de forma manual: fabricación de hormigón o ejecución de las cabezas de los remaches.
- Las exigencias en el campo de la calidad en edificación hacen que ciertas tareas no puedan acometerse con mano de obra: fabricación de mortero, tareas de compactación.
- Obligatoriedad de adjuntar la relación de maquinaria para poder presentarse a ciertos concursos de licitación en aras de garantizar los plazos y la calidad.

- Obligación legislativa en el empleo de maquinaria a fin de garantizar la seguridad, de acuerdo al Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Obligatoriedad de un Estudios de Seguridad y Salud para determinados tipos de obras, de acuerdo al Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. La citada ley en su artículo 5 del capítulo II, indica que la memoria descriptiva del estudio deberá contener una descripción de «*los procedimientos, equipos técnicos y medios auxiliares que hayan de utilizarse o cuya utilización pueda preverse*».

Tras esta justificación del empleo de equipos de obra en la actualidad y haber analizado las grúas y los andamios medievales, examinaremos estos dos elementos empleados en obras a día de hoy. Dada la completa red documental contemporánea que acerca de estos equipos existe, simplemente nos detendremos en una breve descripción de cada uno, así como el apunte que en apartado normativo regula su empleo.

El paso de tantos siglos desde que el gótico se constituyó nos ofrece una evolución tecnológica imprescindible con la que ya no se concibe otra forma de hacer edificios. He aquí, los tres equipos de obra más importantes que vemos vinculados con nuestro estudio:

#### *Grúas de pequeño brazo.*

Conocidas hoy en día como winches, maquinillos o grúas plumas, son los dispositivos de elevación de menor porte empleados en construcción. Sus principales ventajas son, de un lado, su bajo coste y fácil colocación; y de otro, su empleo sin necesidad de proyecto de instalación y con personal no especializado. Como inconvenientes destacan la baja dimensión y capacidad de carga (entre 150-300 kg), las alturas reducidas (máximo 60 metros) y las velocidades de elevación (19-38 m/min).



*Ilustración 41. Grúa de pequeño brazo.*

*Fuente: Web <http://www.carm.generadordeprecios.info>*

Este tipo de mecanismos se rige por el Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención. Además, al igual que el resto de equipos de construcción, está sujeto a:

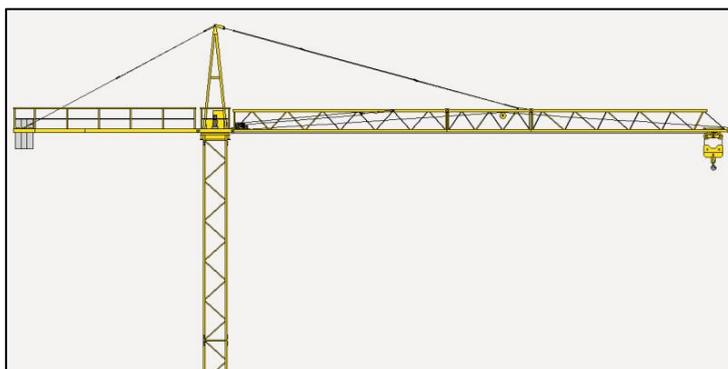
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

El pequeño porte y la limitada capacidad hacen que estos mecanismos se empleen para obras de reforma, para el montaje de andamios, así como complemento de otras máquinas de elevación.

#### *Grúas torre.*

Son las grúas por excelencia empleadas en construcción. Sus múltiples ventajas, entre las que destacan la distribución espacial por los barridos tan amplios que ofrece y la alta capacidad de elevación que oscila entre los 700 y los 2500 kg, hacen que resulten especialmente rentables en la fase de estructura de una obra de edificación. Como inconvenientes, podemos citar:

- Solo son rentables para grandes proyectos donde se amortice su tiempo de uso.
- Precisan tiempo de montaje.
- Requieren de proyecto y personal especializado para su manejo.



*Ilustración 42. Grúa torre.*

*Fuente: Web <http://www.carm.generadordeprecios.info>*

Como todo equipo contemporáneo es múltiple la legislación que regula las grúas torre. Entre otra, destacamos:

- Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.
- Real Decreto 836/2003, de 27 de junio, por el que se aprueba una nueva Instrucción técnica complementaria MIE-AEM-2 del reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención referente a grúas torre.
- Norma UNE 58101-2:2011. Aparatos pesados de elevación. Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte 2: Condiciones de instalación y utilización.

Existen multitud de tipologías de grúas de acuerdo a criterios de movilidad, tipo de pluma o tipo de montaje. Podemos citar algunos ejemplos: grúa torre de pluma horizontal, basculante o

articulada; grúa torre fija, de libre sustentación, arriostrada, desplazable en servicio o trepadora; y grúa torre auto desplegable o desmontables. Cada uno de estos tipos aporta ciertas ventajas, pero lo que tienen en común todos son los movimientos que permiten el desplazamiento básico de las cargas: elevación, descenso y distribución. Además, algunos de los modelos mencionados permiten movimientos concretos como la traslación y la angulación.

No podemos pasar por alto este apartado sin mostrar un caso de uso de este tipo de grúas en un proyecto catedralicio contemporáneo como lo es *La Sagrada Familia* de Antonio Gaudí en Barcelona (España). En este templo, cuyo proceso de construcción sigue en curso —se prevé que se pueda concluir en 2026 coincidiendo con el centenario de la muerte de quien la ideó—, se emplean hasta cinco grúas torre como se muestra en la siguiente imagen:

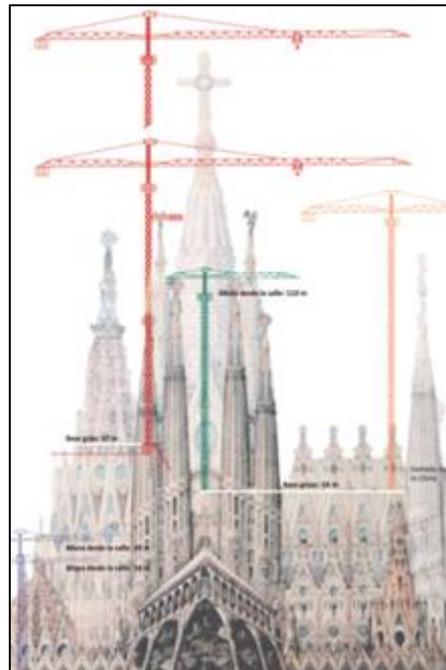


Ilustración 43. Foto grúas torre en la Sagrada Familia de Barcelona, España.  
Fuente: Web <https://www.pressreader.com>

Una de estas grúas es la principal (color rojo) y está próxima al eje de la catedral, pues se emplea en la construcción del cimborrio y las torres centrales. Se trata de una grúa torre tipo trepadora que se alzarán desde los 141 metros que ya tiene hasta los 180 metros de altura. Se ha fabricado en Francia y se ha adaptado a las necesidades particulares del proyecto. Una peculiaridad que tiene es que los movimientos se monitorizan por cámaras para no dañar al monumento. Solo hay 14 grúas de este tipo en el mundo y está al mismo nivel que las empleadas para desmontar las tuneladoras. Con una pluma de 70 metros, puede levantar hasta 20 toneladas y se emplea también para desplazar otras grúas torre de menor tamaño de un punto a otro de la obra.

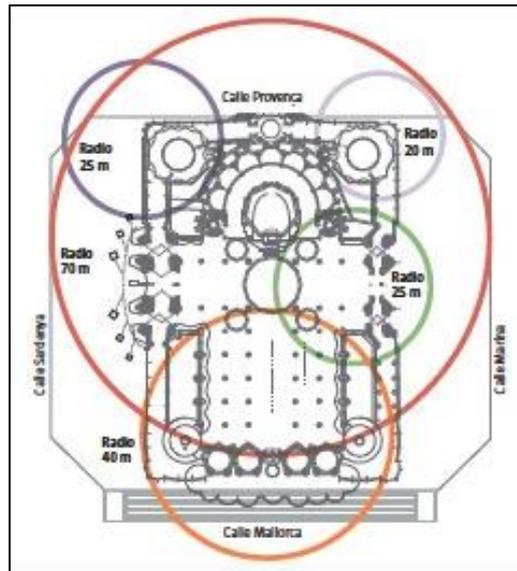


Ilustración 44. Radios de acción de las cinco grúas torre de la Sagrada Família de Barcelona, España.  
Fuente: Web <https://www.pressreader.com>

El uso de tantas grúas viene justificado por los barridos que cada una de ellas tiene y las distintas alturas en las que se acometen los trabajos. Como particularidad respecto al convencional empleo de este tipo de grúas, destacamos que se sitúan a cotas diferentes, no siendo el suelo su base, pues prácticamente el actual trabajo de la catedral se centra a grandes alturas.

#### *Plataformas Elevadoras Móviles de Personal (PEMP).*

Junto a los andamios, hoy en día se dispone de un equipo destinado exclusivamente a ser plataforma de trabajo: las Plataformas Elevadoras Móviles de Personal (PEMP), unas estructuras que proporciona a los trabajadores un lugar de trabajo en altura cuya posición puede ser modificada con facilidad. Es muy útil en trabajos de corta duración en los que sustituyen con eficacia a los tradicionales andamios.

La normativa de aplicación de las PEMP es múltiple. Destacamos:

- Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, relativo a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- Real Decreto 56/1995, de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992, ampliando el campo de aplicación a las máquinas con función de elevación o desplazamiento de personas.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Y, aunque no son de obligado cumplimiento, las normas:

- UNE-EN 280:2014. Plataformas elevadoras móviles de personal. Cálculos de diseño. Criterios de estabilidad. Construcción. Seguridad. Exámenes y ensayos.
- UNE-58921:2017. Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisiones e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP).

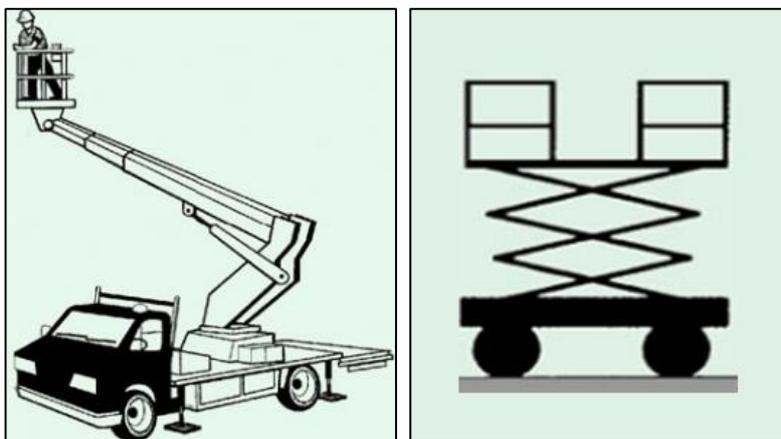


Ilustración 45. Diferentes tipologías de PEMP.  
Fuente: NTP<sup>81</sup> 634: Plataformas elevadoras móviles de personal (año 2003).

El mercado ofrece una gran variedad de tipología de PEMP: autopropulsadas, sobre camión, remolcadas, de tijera, articuladas y telescópicas. En función al tipo de equipo, se pueden alcanzar alturas muy variadas que van desde los 10-20 metros de las PEMP de tipo tijeras a los 40 metros que alcanzan las telescópicas. Incluso, algún modelo de esta tipología situado sobre camión alcanza los 90 metros de altura.

A pesar de que hoy en día se siguen empleando estructuras andamiadas, las PEMP constituyen el complemento perfecto para determinados trabajos en altura, ya que no requieren montaje y sitúan al operario directamente sobre la zona en la que ha de trabajar como, por ejemplo, la reparación de fachadas.

---

<sup>81</sup> Las NTP o Notas Técnicas de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

## 12. Conclusiones.

Para poder extraer las conclusiones de este trabajo, debemos acudir a los objetivos que nos habíamos marcado inicialmente:

- a. **Objetivo:** Hacer un pormenorizado análisis de la gestión y proceso constructivo de una catedral medieval.

**Conclusión:** Tras tratar con profundidad la gestión del proceso edificatorio, hemos analizado los diferentes aspectos que lo conforman:

- **El suelo** de la Edad Media no estaba regulado por ninguna normativa. Las catedrales se levantaban en el centro de las ciudades y componían un imprescindible motor económico (mercado), político (reyes) y eclesiástico (religiosos) para todos los ciudadanos. En cambio, hoy el suelo está sistematizado por ley y ha de obedecer a una clasificación y una calificación concreta, respetar una edificabilidad e incluso conceder cesiones a las administraciones públicas.
- **Los agentes del proceso** que legisla la LOE hoy en día existían también en la Edad Media, si bien el foco cambia con respecto a quien los asume como, por ejemplo, el promotor que en el caso de las catedrales era la propia iglesia. Respecto al resto de agentes (proyectista, constructor, director de obra y de ejecución), hemos relacionado la vinculación expresa de buena parte de las funciones que atribuye la LOE a las ocupaciones asumidas por un maestro de obras medieval. Igualmente, han quedado evidenciadas las tareas que no podían ser inherentes a esta figura: estar en posesión de una determinada titulación, tener en cuenta aspectos urbanísticos o medioambientales y la participación o elaboración de cierta documentación (actas, licencias, autorizaciones preceptivas), entre otras.
- **Los oficios** que participaban en una catedral eran muy variados, pero dado el material base que se empleaba en la construcción —la piedra—, los canteros constituían la mano de obra esencial. Constituían un universo imprescindible dentro de los templos y por ello hemos analizado sus distintas funciones (extracción, tallado, colocación y engastado), las herramientas empleadas y los sistemas de pago, así como las famosas marcas de cantería.
- **La gestión y los aspectos organizativos** nos ha permitido revelar que las instituciones denominadas Fábricas de las catedrales eran órganos existentes encargados del mantenimiento del templo, pero a las que les encomendaron el gobierno de las obras de construcción. Con una estructura jerarquizada liderada por el Mayordomo, cumplieron un papel imprescindible en la gestión económica y material de las obras catedralicias.
- **Las etapas constructivas** del proceso edificatorio evidencia que solo las instalaciones han constituido la etapa disonante entre un proyecto actual y uno medieval. Consideramos que las exigencias de los usuarios y la regulación en

materia de calidad y seguridad y salud son las que han hecho de las instalaciones un motor, hoy esencial e imprescindible, para la calidad de vida de todos.

- **Los equipos de obra y medios auxiliares** han experimentado una evolución abismal. Las grúas medievales encontraron su origen en las portuarias y los andamios eran de madera y se ataban con cuerda, cuero o clavos. No solo la tecnología hoy nos permite construir de forma más rápida y precisa con grúas torres o Plataformas Elevadores Móviles de Personal, sino lo que es más importante: la legislación que regula estos equipos hace que el trabajo actual sea más seguro.

- b. **Objetivo:** Componer un texto de carácter expositivo en el que reunir, ordenar y tratar el tema objeto de estudio.

**Conclusión:** Con un estado de la cuestión ampliamente documentado, además del tratamiento y exposición de los datos que envuelven al estudio monográfico, hemos querido también aportar un punto de vista distinto pretendiendo ponernos hoy «las gafas de la época» para ver desde una perspectiva presente la gestión y el análisis de un proyecto constructivo pasado. De este modo:

- Nos hemos nutrido de publicaciones de incalculable valor sobre la construcción o la gestión de las catedrales. A tal efecto, hemos consultado textos de interesantes autores como: Malcolm Hislop, cuya obra *Cómo construir una catedral* nos ha permitido adentrarnos en descripciones exhaustivas del proceso de diseño y construcción de una catedral medieval; Félix Escrig, más enfocado en el estudio de las estructuras; y Juan Clemente Rodríguez Estévez, realmente útil en el aspecto de la gestión y organización de la construcción de las catedrales.
- Consideramos que hemos contribuido al enriquecimiento del tema a partir del enfoque dado al estudio, pues hemos adoptado un punto de vista que permitiera contrastar la forma de construir de hoy con la empleada en la Edad Media. Partíamos con un objetivo preliminar con el qué y el quién respondidos y este estudio lo hemos orientado al cómo. Tras toda la labor de lectura, composición y redacción, a la pregunta cómo su pudieron erigir estos colosales templos, podemos responder a partir de tres principios: la reinvención del estilo gótico, la adaptación tecnológica y los constructores del momento. Los aspectos más notorios que diferencian estas dos épocas constructivas tan separadas en el tiempo se hallan en: la formación, el conocimiento, la tecnología y la legislación reguladora.

- c. **Objetivo:** Hacer una evaluación completa del proceso edificatorio de las catedrales por medio de la fórmula que condiciona el éxito de un proyecto: el plazo, el coste, la calidad y la seguridad.

**Conclusión:** Aunque los plazos y los costes siguen siendo aún motivo de no cumplimiento en multitud de proyectos contemporáneos, la calidad y la seguridad se encuentran altamente reguladas por normativa. Gracias a la legislación, a la concienciación y

también indirectamente, a la tecnología —enfocado, sobre todo, al empleo de equipos de obra y medios auxiliares—, vivimos en una etapa en la que los accidentes laborales en obras de construcción se han reducido sobremanera. Del mismo modo, el mayor error temido en la construcción medieval, el riesgo por desplome, en la actualidad es inconcebible. En cambio, en las catedrales estaba latente motivado no solo por carencias de los procesos constructivos sino por la longevidad que los caracterizaba, lo que suponía cambios generacionales que hacía tomar decisiones erróneas.

### 13. Reflexión del alumno.

El auge de ramas ajenas a la construcción, como la navegación y el comercio, hicieron llegar progresos de gran relevancia en la Edad Media. Así un andamio bélico se tornó en un andamio de obra y una grúa de puerto llegó a ser una grúa de construcción.

El gótico se ganó a pulso ser un estilo casi de auto-creación, pues a cada problemática se ofrecía una solución constructiva que iba definiendo su impronta. De este modo, sus razones de ser fueron:

- **Las cargas:** contrafuertes, arbotantes y pináculos.
- **La altura:** torres, chapiteles y cimborrios.
- **La sofisticación:** tracerías y labrados.
- **La luz:** vidrieras y rosetones.

Para el gótico el límite lo marcaba el cielo. Surgió en la Edad Media gracias una simbiosis constructiva en la que las grandes catedrales demandaban grandes máquinas; y las grandes máquinas hicieron factible las grandes catedrales.

Coincidimos con algunos autores y sostenemos que la construcción gótica es más ágil, sencilla y económica que la romántica, por lo que constituyó un buen patrón para que, aunado a la etapa de mejor esplendor económico en la que nació, se expandiera con rapidez por Europa. Los puntos que ayudan a justificar esta teoría pueden resumirse en:

- La característica principal del estilo fue la reiteración de las mismas soluciones constructivas (arbotantes, contrafuertes, bóvedas de crucería), lo que permitió una mejora de la técnica. La estandarización de la arquitectura gótica supuso, de forma indirecta, una simplificación constructiva formidable.
- Los transportes se comenzaron a hacer por vía fluvial abriendo las opciones de construcción a zonas donde no había materia prima.
- La dotación de luz como símbolo de la gloria divina hizo que todas las grandes ciudades demandaran nuevos templos, lo que llevó a la construcción a un álgido momento.

En definitiva, tal y como relata F. Escrig, *«el éxito del gótico fue inmediato e incuestionable, pues se trata de una forma profundamente original, relativamente fácil de construir y de una extraordinaria resistencia estructural»*<sup>82</sup> a lo que añadido: y una exquisita factura visual e indudable técnica constructiva.

---

<sup>82</sup> Escrig F. y Valcárcel J. P.: Op. Cit., p. 162.

## 14. Fuentes.

### 14.1. Bibliografía.

- Azcónegui Morán, F. y A. Castellanos Migueles (Coord.). 1993. *Guía práctica de la cantería*. León: Editorial de los oficios
- Cabeza Gelabert, L. 1993. *Del arte de la cantería al oficio de la cantería. La organización de los trabajos*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Castro Villalba, A. 1996. *Historia de la construcción medieval. Aportaciones*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Cómez Ramos, R. 1999. *Los constructores de la España Medieval*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Duby, G. 1993. *La época de las catedrales. Arte y sociedad*. Madrid: Cátedra.
- Erlande-Brandenburg, A. 1992. *El arte gótico*. Madrid: Akal.
- Erlande-Brandenburg, A. 1993. *La catedral*. Madrid: Akal.
- Escrig F. y Valcárcel J. P., 2004. *La modernidad del gótico. Seis puntos de vista sobre la arquitectura medieval*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Vicerrectorado de investigación.
- Escrig F., 2004. *Las grandes estructuras de los edificios históricos. Desde la Antigüedad hasta el gótico*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.
- Falcón Márquez, T. 1984. *La catedral de Sevilla. El edificio gótico*. Sevilla: Guadalquivir.
- Grodecki, L. 1989. *Arquitectura gótica*. Madrid: Aguilar-Asuri.
- Hislop Malcolm, 2013. *Cómo construir una catedral*. Madrid: Akal.
- Jiménez Martín, A.; Collantes de Terán Sánchez, A.; Rodríguez Estévez, J. C.; Pinto Puerto, F.; Ruiz de la Rosa, J. A.; Ampliato Briones, A. 2006. *La catedral gótica de Sevilla, fundación y fábrica de la obra nueva. Colección Divulgación Científica*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Vicerrectorado de investigación.
- Palacios Gonzalo, J. C.; Martín Talaverano, R.; Bravo Guerrero, S. C.; Genin, S., Vidal, R. M.; Rodríguez Cobos, D.; Martínez Moreno, D. 2015. *Taller de construcción gótica I*. Madrid: Minilla-Ilería.
- Rejón de Silva, D. A. 1995, *Diccionario de las Nobles Artes para Instrucción de los Aficionados y uso de los Profesores*. Madrid: Ed. Facsímil del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

- Sobrino Miguel. 2019. *Catedrales*. Madrid: La esfera de los libros.
- Scott, Robert y A. Hoffmann, Caro. 2016. *La empresa gótica*. Barcelona: Stella Maris.
- Von Simson, O. 1980. *La catedral gótica. Los orígenes de la catedral gótica y el concepto medieval de orden*. Madrid: Alianza.

#### 14.2. Artículos y otras publicaciones.

- Jiménez Sancho, A. 2000. *Rellenos cerámicos en las bóvedas de la Catedral de Sevilla*. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Sevilla: Universidad de Sevilla, Junta Andalucía y COAAT Granada.
- Ruiz de la Rosa, J. A. 1989. *Control de las formas en el Gótico: aplicación a la catedral de Sevilla. Análisis de pináculos*. Congreso de Medievalismo y Neomedievalismo en la Arquitectura Española, Desamortización y Restauración Monumental.
- Barrios Padura, A.; Borja Barrera, F.; Valverde Espinosa, I; Martínez Girón, A.; Polo Velasco, J.; Jiménez Martín, A.; Barrios Sevilla, J. 1997. *Estudio de la cimentación de los pilares de la catedral de Sevilla*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Izquierdo Aranda, T. 2013. *Carpintero y maestro constructor en la arquitectura valenciana (siglos XIV-XV)*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Laguna Paúl, T. 2012. *Llegada y primeras obras de Miguel Perrin en la Catedral de Sevilla. El programa escultórico de la reconstrucción del Cimborrio de Juan Gil de Hontañón*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Calama Rodríguez, J. M.; Domínguez Caballero, R. M. 2009. *Organización de los recursos humanos y materiales en el inicio de la construcción de la catedral de Sevilla (1436-1439)*. Actas del sexto Congreso Nacional de Historia de la construcción. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Cortés Albalá, I.; Albarreal Núñez, M. J.; Flores Alés, V.; Heredia Morante, R.; Herrero Vázquez, E. A.; Llácer Pantión, R.; Lloréns Corraliza, S.; Revuelta Marchena, P.; Rico Delgado, F.; Yanes Bustamante, E. 2012. *Guía para la redacción del proyecto de fin de grado en ciencia y tecnología de la edificación*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Gómez Sánchez, J. A. 2009. *Sobre Sebastián de Pesquera y Claudio de León, vidrieros de la Catedral de Sevilla*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

### 14.3. Normativa.

- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).
- Ley 1/1994 de 11 de enero de Ordenación del Territorio de Andalucía (LOTA).
- Ley 7/2002 de 17 de diciembre de Ordenación Urbanística de Andalucía (LOUA).
- Anteproyecto de Ley de Impulso para la Sostenibilidad del Territorio de Andalucía (LISTA).
- Ley de 12 de mayo de 1956 sobre régimen del suelo y ordenación urbana.
- Ley 51/2003 de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.
- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, relativo a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- Real Decreto 56/1995, de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992, ampliando el campo de aplicación a las máquinas con función de elevación o desplazamiento de personas.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.
- Real Decreto 836/2003, de 27 de junio, por el que se aprueba una nueva Instrucción técnica complementaria MIE-AEM-2 del reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención referente a grúas torre.
- Norma UNE 58101-2:2011. Aparatos pesados de elevación. Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte 2: Condiciones de instalación y utilización.

- Norma UNE-EN 280:2014. Plataformas elevadoras móviles de personal. Cálculos de diseño. Criterios de estabilidad. Construcción. Seguridad. Exámenes y ensayos.
- Norma UNE-58921:2017. Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisiones e inspecciones de las Plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP).

#### 14.4. Enlaces de internet.

- [www.arteinternacional.com](http://www.arteinternacional.com), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.uned.es](http://www.uned.es), consulta realizada el 27/oct 2020.
- Twitter @elbarroquista, consulta realizada el 03/ene 2021.
- [www.glosarioarquitectonico.com](http://www.glosarioarquitectonico.com), consulta realizada el 12/dic 2020.
- [www.artehistoria.com](http://www.artehistoria.com), consulta realizada el 03/ene 2021.
- [www.e-educativa.catedu.es](http://www.e-educativa.catedu.es), consulta realizada el 27/oct 2020.
- [www.catedraldesevilla.es](http://www.catedraldesevilla.es), consulta realizada el 03/ene 2021.
- [www.educastur.es](http://www.educastur.es), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.geologiadesegovia.info](http://www.geologiadesegovia.info), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.historiadelarte.com](http://www.historiadelarte.com), consulta realizada el 27/oct 2020.
- [www.artehistoria.com](http://www.artehistoria.com), consulta realizada el 27/oct 2020.
- [www.cienciahistorica.com](http://www.cienciahistorica.com), consulta realizada el 12/dic 2020.
- [www.histarmar.com.ar](http://www.histarmar.com.ar), consulta realizada el 16/dic 2020.
- [www.catedralesgoticas.es](http://www.catedralesgoticas.es), consulta realizada el 03/ene 2021.
- [www.historiasdelarteuned.wordpress.com](http://www.historiasdelarteuned.wordpress.com), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.sobrefrancia.com](http://www.sobrefrancia.com), consulta realizada el 12/dic 2020.
- [www.encyclopedia.us.es](http://www.encyclopedia.us.es), consulta realizada el 03/ene 2021.
- [www.diccionarioarteconpedro.blogspot.com](http://www.diccionarioarteconpedro.blogspot.com), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu), consulta realizada el 27/oct 2020.

- [www.historicalsoundscapes.com](http://www.historicalsoundscapes.com), consulta realizada el 16/dic 2020.
- [www.carm.generadordeprecios.info](http://www.carm.generadordeprecios.info), consulta realizada el 25/nov 2020.
- [www.pressreader.com](http://www.pressreader.com), consulta realizada el 12/dic 2020.

