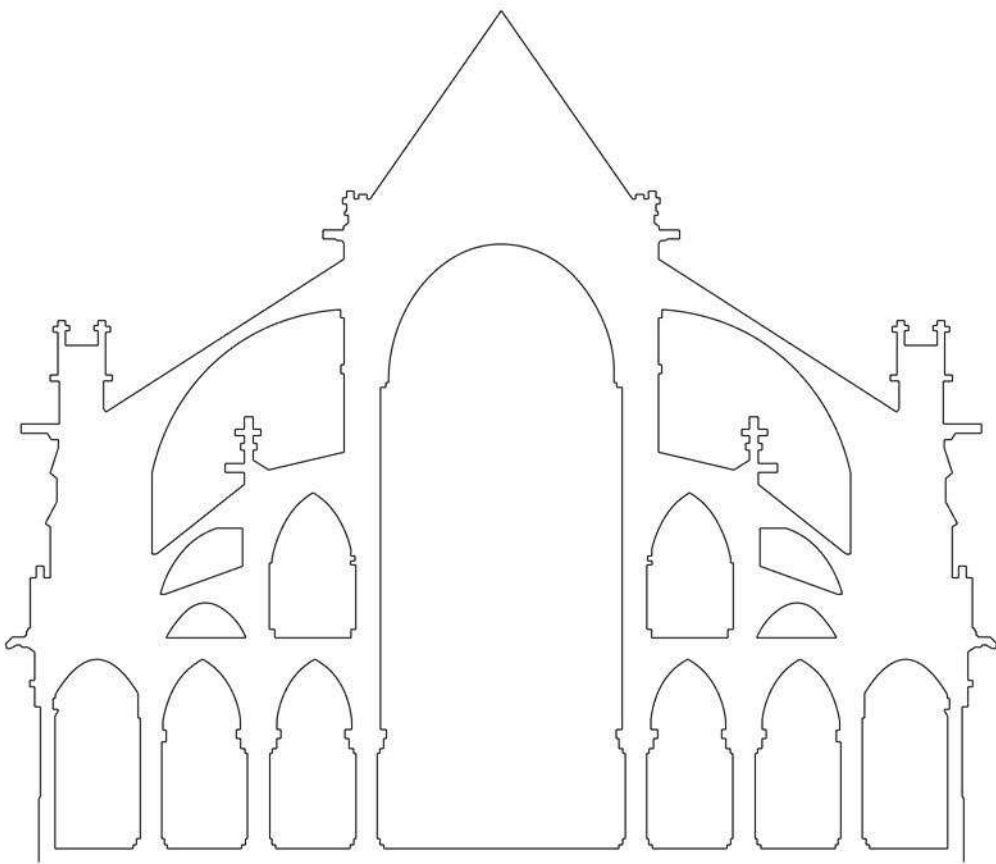


# NOTRE DAME DE PARÍS

LA RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA

IRENE ARAGÓN ORTEGA





# Trabajo de Fin de Grado

Semestre de primavera 2023-2024

## NOTRE DAME DE PARÍS LA RESTAURACIÓN DE LA CUBIERTA

*Estudiante*

Irene Aragón Ortega

*Tutor*

Adolfo García Ruíz-Espiga

Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas

*AulaTFG 8*

Héctor Navarro Martínez, *Coordinador*

Paula Villanueva Llaurado, *Adjunto*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Universidad Politécnica de Madrid



# ÍNDICE

## RESUMEN

## INTRODUCCIÓN

Motivación

Objeto de estudio

Metodología y objetivos

## 1. CONTEXTO HISTÓTICO

Historia de Notre Dame de París

Restauraciones posteriores

## 2. ESTADO DEL ARTE

Restauración de Viollet-le-Duc y Jean Baptiste Lassus

Incendio 2019

Daños

## 3. RESTAURACIÓN

Controversia

Trabajos de restauración

Análisis restauración cubierta

Análisis restauración técnicas actuales

Comparativa

Línea de investigación

## CONCLUSIONES

## FUENTES

Bibliografía

Artículos

Páginas Web

Procedencia de las ilustraciones



«Los mayores y más grandes productos de la arquitectura son menos obras individuales que obras sociales; más bien la creación de un pueblo que trabaja que la chispa de un hombre genial; el sedimento que deja un país, la acumulación que forman los siglos, el residuo de las sucesivas evaporaciones de la sociedad humana; en una palabra, especies en formación. Cada oleada de tiempo deposita su aluvión, cada raza coloca una nueva capa sobre el monumento, cada individuo aporta su piedra. Así lo hacen los castores, así hacen las abejas, así hacen los hombres. El gran símbolo de la arquitectura. Babel es una colmena.»

VICTOR HUGO, *Nuestra Señora de París*



---

## RESUMEN

La catedral de Notre Dame de París, icono histórico a nivel mundial, constituye uno de los emblemas arquitectónicos de Francia y de Europa.

Tras el incendio sufrido el pasado 15 de abril de 2019, se ha convertido en motivo de debate su rehabilitación, enfrentando a aquellos que defienden una restauración utilizando todas las técnicas y recursos disponibles frente a los que opinan que se deben seguir las técnicas originales y respetar las ruinas.

Este Trabajo de Fin de Grado se centra en el estudio y análisis de la evolución del edificio en su contexto histórico y cultural. Se pretende analizar en profundidad su situación actual, así como los distintos mecanismos que se están llevando a cabo para devolver la catedral a su imagen original.

Se realizará en primer lugar una fase de estudio del contexto histórico, haciendo especial énfasis en su arquitectura y construcción. Además, se estudiará, de forma más exhaustiva, la restauración llevada a cabo por Violet-Le-Duc en el siglo XIX.

A continuación, se desarrollará un análisis de todo lo acontecido durante el incendio que asoló la catedral, poniendo especial interés en llevar a cabo una recopilación del estado en el que quedaron los distintos elementos tras este, como fase previa para analizar la decisión tomada respecto a la restauración.

La fase final del trabajo se basa en llevar a cabo dos análisis. Un primero en el que se estudia la restauración según se está desarrollando, con las técnicas tradicionales, y otro en el que se analiza una hipotética restauración utilizando todos los recursos actuales disponibles. Para finalizar, se procede a realizar una comparación entre ambos análisis, para estudiar la idoneidad de cada uno de ellos.

## PALABRAS CLAVE

Restauración, Cubierta, Notre Dame de París, Incendio, Patrimonio arquitectónico



---

## INTRODUCCIÓN

### MOTIVACIÓN

La elección del tema para este Trabajo de Fin de Grado nace de un interés personal en la restauración y rehabilitación de edificios. En el transcurso del desarrollo de los estudios de grado siempre he sentido un especial interés hacia todos los temas o asignaturas vinculados a la restauración y el patrimonio arquitectónico. Es por esto que mi interés radica no tanto en la nueva arquitectura, sino en la preservación y recuperación del patrimonio.

La elección de la obra objeto de estudio se debe principalmente a su carácter mediático. La obra de restauración de la catedral de Notre Dame de París puede marcar un precedente respecto a próximas intervenciones de similar calibre, evidenciando aún más si cabe su importancia.

La escala y complejidad arquitectónica del proyecto, además de suponer un desafío, también permiten abarcar un mayor abanico de aspectos importantes a estudiar y tener en cuenta en una restauración.

Con este TFG se pretende ir más allá de la controversia creada en torno a la restauración. Se busca analizar y entender las implicaciones que tiene la decisión tomada frente a otras opciones, comprendiendo cuáles son los factores de mayor importancia a la hora de tomar una decisión de este calibre.

## OBJETO DE ESTUDIO

La catedral de Notre Dame es uno de los máximos representantes de la arquitectura gótica francesa. Declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO, es considerada uno de los emblemas no sólo de la capital, sino de todo el país.

Su construcción comenzó en 1163, siendo una de las primeras catedrales de estilo gótico en Francia. A lo largo de su historia ha sufrido numerosas restauraciones, siendo la más destacable la llevada a cabo por Viollet-Le-Duc y Jean-Baptiste Lassus, puesto que introdujo cambios significativos en la catedral.

En el año 2019, un incendio iniciado durante los trabajos de reparación de la cubierta derivó en la destrucción parcial de la catedral, destacando la pérdida de toda la cubierta y la aguja. Con el incendio se hizo evidente la necesidad de llevar a cabo una restauración, dando paso a un amplio abanico de propuestas y opiniones completamente opuestas, que derivaron en una gran controversia en la sociedad parisina.

Poniendo fin a este debate, el gobierno francés optó por la reconstrucción de la catedral a su imagen previa al incendio, con la utilización de los mismos materiales, buscando así recuperar la imagen de la catedral, y, por lo tanto, el skyline parisino.



*Imagen 1. La catedral de Notre Dame de París*

## METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

El trabajo se estructura en tres partes claramente diferenciadas y estructuradas para el correcto entendimiento del proceso seguido durante el desarrollo del trabajo.

El primer apartado se centra en conocer en profundidad el objeto de estudio, Notre Dame de París. Para esto, se lleva a cabo una recopilación de toda la información que nos permite situar la catedral en su contexto histórico, cultural y social.

De una forma genérica, se expondrán los aspectos generales de su construcción y todas las modificaciones sufridas a lo largo de su historia.

En el siguiente apartado se analiza el estado del arte. Para ello, se estudia, en primer lugar, la restauración llevada a cabo por Viollet-Le-Duc, puesto que constituye la última gran restauración previa al incendio.

De igual manera, se examina lo sucedido durante el incendio, haciendo hincapié en exponer en qué estado quedan los elementos más importantes de la catedral. Este apartado es clave para entender el punto de partida de los trabajos.

El último apartado se centra en los trabajos de restauración de la cubierta. De manera introductoria, se busca dar una imagen general de todo lo acontecido en torno a la restauración, analizando brevemente el debate generado en torno a esta.

Una vez comentados los aspectos más generales e importantes de la intervención, se procede a desarrollar un análisis de la cubierta desde dos puntos de vista.

Se expone, en primer lugar, un análisis de los trabajos de restauración tal y como se están llevando a cabo, con el uso de las técnicas originales. Para poder desarrollarlo, se recurre a los distintos análisis realizados sobre la cubierta a lo largo de su historia, así como a la empresa encargada de los trabajos de reconstrucción de la cubierta, Ateliers Perrault, buscando obtener toda la información necesaria.

El análisis restante se centra en el desarrollo de una hipótesis de restauración en la cual se utilizarían todas las técnicas y recursos actuales, buscando la mayor eficiencia posible.

Como culminación, se lleva a cabo una comparativa entre ambos análisis con el fin de entender las virtudes e inconvenientes de cada uno de ellos, buscando entender el porqué de la decisión finalmente adoptada.



## CONTEXTO HISTÓRICO

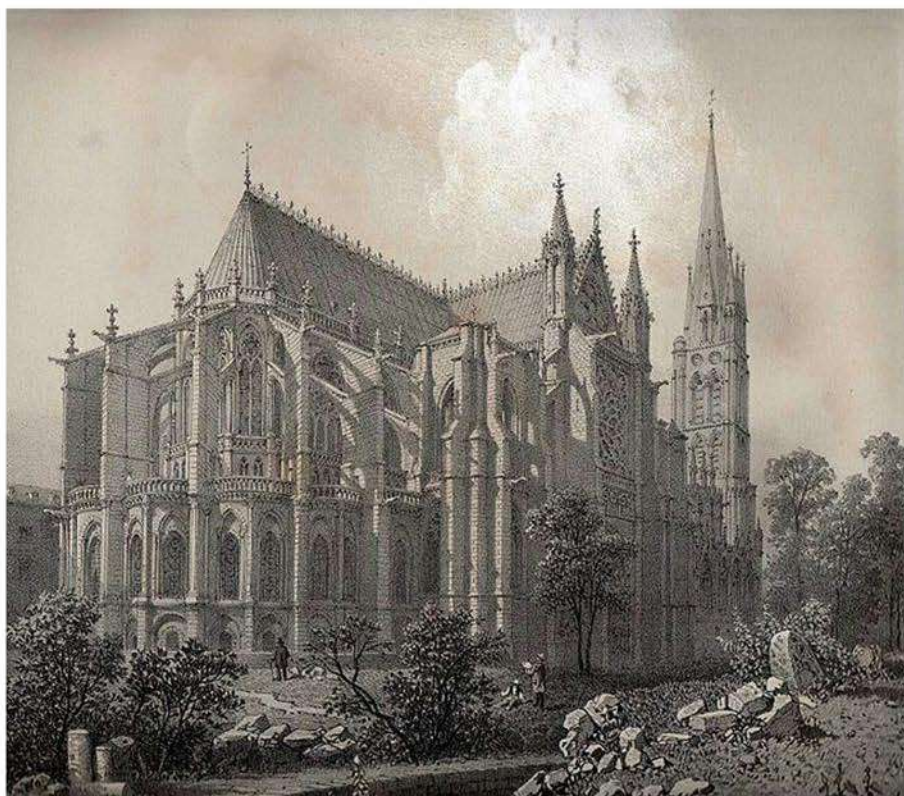
### HISTORIA DE NOTRE DAME DE PARÍS

La catedral de Notre Dame es, desde hace cientos de años, uno de los monumentos más emblemáticos de la capital francesa y un icono histórico a nivel mundial. En sus 800 años de vida, esta catedral ha sobrevivido estoicamente a una convulsa historia que había amenazado en numerosas ocasiones su supervivencia y, tras ser reducida a ruinas, a un proyecto de restauración que la elevó de nuevo hasta el cielo en el siglo XIX.

Su origen se remonta al siglo XII, con el nombramiento de Maurice de Sully como nuevo obispo de la ciudad de París, el cual, como forma de consolidar la sede episcopal de París, decide construir una catedral de grandeza incomparable. Para ello, se inspira en el modelo de la abadía de Saint Denis, donde se estaba aplicando por primera vez la llamada "estética de la luz", corazón del arte gótico. Durante el reinado de Luis VII, el proyecto se puso en marcha y fue bendecido económicamente por todas las clases sociales, lo que posibilitó que su construcción no tropezase con problemas de orden financiero, algo común en aquella época.

La Catedral de Notre-Dame nace, pues, como símbolo de la creciente prosperidad urbana de la ciudad de París, símbolo del poder del clero y la sociedad, pasando a ser uno de los más importantes ejemplos de la arquitectura gótica europea.

*Imagen 2: Catedral de Saint Denis*



La ubicación escogida para la construcción fue la Île de la Cité. Fue necesaria, para ello, la demolición de la antigua basílica de Saint Etienne, ubicada en la actual Plaza de Jean-Paul II, ya que no se adaptaba a estas nuevas ambiciones.

Además de las obras en la propia catedral, se realizaron reformas en la organización espacial del entorno, incluyendo el parvis, espacio delantero de la fachada principal. Previo a las obras, se trataba de un espacio de pequeñas dimensiones, al que se accedía desde la Rue Neuve Notre Dame, a eje con la fachada de la iglesia, ofreciendo una impresionante visión desde ella.

La construcción de la catedral se extendió durante casi dos siglos. En 1182 se consagró el altar mayor, lo que hizo posible que Maurice de Sully pudiese celebrar la primera misa en la catedral. Entre 1220 y 1250 se prosiguen los trabajos, ya con la fachada y las galerías interiores, las ventanas y las capillas. Se construyeron, además, los grandes contrafuertes que soportan las bóvedas. Data de esta época la construcción de la primera aguja en el cruce entre la nave principal y el transepto, de la que no se conserva mucha documentación gráfica. La podemos apreciar en cuadros y obras artísticas de autores de la época, como la ilustración de Jean Fouquet en el libro *The hours of Étienne Chevalier*, o el cuadro de Nicolas Raguenet de 1753 *Le cloître Notre-Dame vu de l'île Saint-Louis*.

La finalización de las obras data de 1345, aunque a lo largo de su historia se han sucedido una serie de restauraciones para su conservación.



Imagen 3: Configuración Île de la Cité, siglo XIII



Imagen 4: Ilustración de Jean Fouquet, libro "The hours of Étienne Chevalier"



Imagen 5: Notre Dame de Paris, 1920.

## RESTAURACIONES POSTERIORES

Ya en el siglo XVII, el rey Luis XIV decidió modificar las vidrieras y sepulcros para adaptarlas al nuevo estilo que guiaba el gusto arquitectónico: el Barroco. En dicha restauración, no exenta de polémica, se derribaron varias esculturas y el coro alto, y las vidrieras de los siglos XII y XIII fueron reemplazadas por otros vidrios transparentes, solo los rosetones conservan parcialmente su vidrio natural. También la puerta central de la catedral fue modificada, al demoler uno de los pilares para poder ensancharla y permitir el paso de los grandes carruajes.

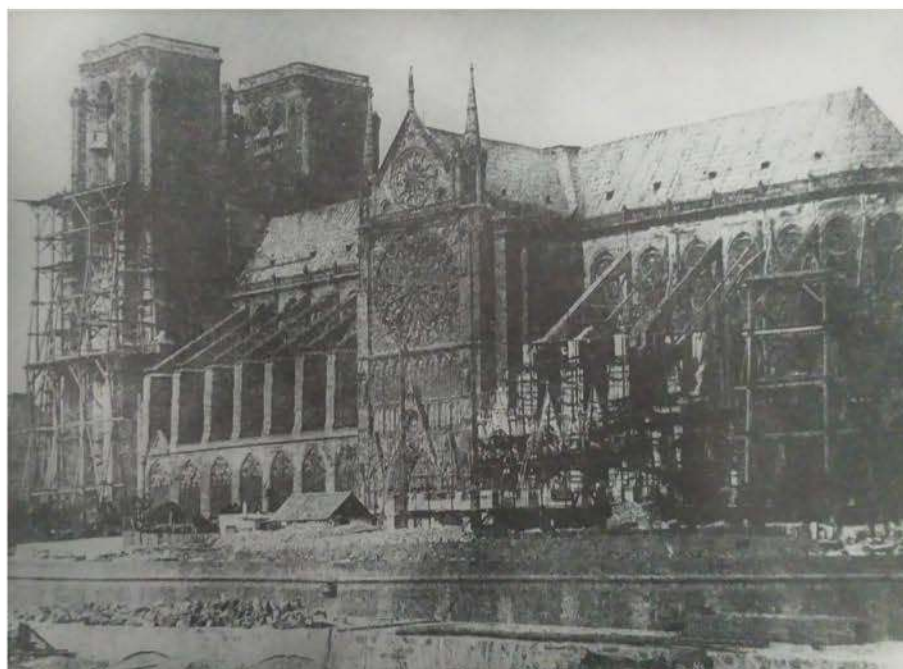
La transformación de este monumento arquitectónico fue adaptándose acorde a los cambios sufridos a lo largo de la historia. En 1789, durante la Revolución francesa, culminó con muchas zonas destruidas y muchos de sus tesoros robados.

El edificio, ya considerado un símbolo de poder, fue destruido y saqueado en numerosas ocasiones. Destaca la situación de las 28 estatuas de la Galería de los Reyes, situadas en la entrada principal, las cuales fueron decapitadas por el pueblo, al asociarlas con el linaje real de Francia, aunque realmente se trataba de antiguos reyes de Judea e Israel.

Los relicarios, las esculturas de la entrada, las estatuas y varias campanas de bronce fueron fundidos para hacer cañones durante la revolución, así como el plomo del tejado terminó sirviendo de munición para las armas. Tan solo se salvó la enorme campana Emmanuel, situada en la torre sur.

La caída de la iglesia durante el periodo revolucionario provocó su descristianización, por lo que la catedral volvió a su papel anterior cuando volvió la calma, aunque sin rastro de su esplendor anterior. Medio en ruinas, con los cristales rotos, nidos de aves en las bóvedas y sus esculturas y tesoros saqueados y profanados.

*Imagen 6: Catedral de Notre Dame sin su aguja, 1847.*



En 1801 Napoleón Bonaparte llegó a un acuerdo con la Santa Sede bajo el cual la Iglesia Católica recuperó el control de la catedral. Comenzaron así las obras de reparación y limpieza del edificio para que, en 1804, Napoleón pudiera ser coronado emperador allí.

En este punto, la catedral deja de verse como un lugar cualquiera para apreciarse desde un punto de vista más histórico y arquitectónico.



*Imagen 7: Llegada de Napoleón a Notre Dame de París para su coronación*



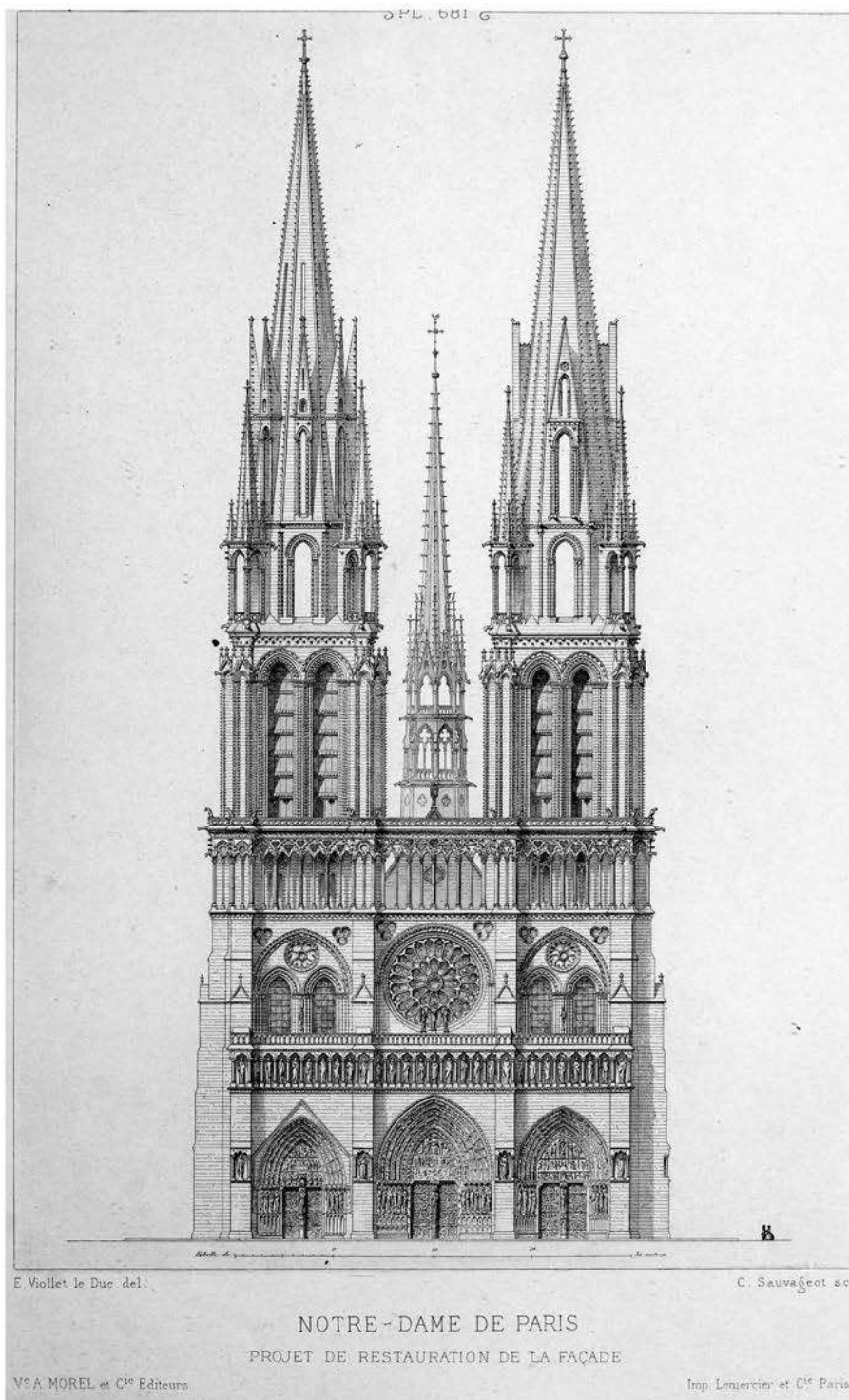


Imagen 8: Restauración de la catedral de Notre Dame por Viollet-le-Duc

## ESTADO DEL ARTE

### RESTAURACIÓN VIOLLET LE DUC Y JEAN BAPTISTE LASSUS

Un momento clave para la historia de la catedral fue la publicación en 1831 de la novela *Nuestra Señora de París*, de Víctor Hugo, la cual tuvo un papel principal a la hora de despertar el interés por el pasado medieval y el arte histórico. La historia de Quasimodo, el jorobado de Notre Dame, y de Esmeralda, despertó el encanto por este histórico escenario en el imaginario parisino de la época, lo que incentivó una campaña por parte del pueblo y las autoridades para recuperar esta magnífica obra de arte.

Todo ello derivó en la aprobación de mejoras por parte de la Administración de Interior, Cultos e Instrucción Pública en el año 1842, restaurando los pináculos del lado norte, la primera capilla del lado sur, y continuando con la construcción de los frontones. Finalmente, se llevó a cabo la presentación de un concurso en 1843, cuyos ganadores fueron Eugène Viollet-Le-Duc, y Jean-Baptiste-Antoine Lassus, con una suma de 2.560.00 francos cedidos por el rey Luis Felipe I que resultaron insuficientes y derivaron en una interrupción de las obras durante 8 años, cuando una dotación adicional de 3 millones de francos permitió reanudar las obras.

Al inicio de las obras, ambos reclamaron precaución ya que, en sus propias palabras:

«Una restauración puede ser más desastrosa para un monumento que la devastación de siglos y furor popular, porque el tiempo y las revoluciones destruyen, pero no agregan nada. Por el contrario, una restauración puede, añadiendo nuevas formas, eliminar una gran cantidad de vestigios de los cuales la escasez y el estado de obsolescencia aumentan incluso el interés. (...) El artista debe borrarse por completo, olvidar sus gustos, sus instintos, estudiar su sujeto, para encontrar y seguir el pensamiento que presidió la ejecución de la obra que desea restaurar (...).<sup>1</sup>»

Estas palabras no evitaron una interpretación muy personal del arte medieval, principalmente por parte de Viollet-le-Duc, lo que provocó que los trabajos no estuvieran exentos de críticas.

Durante la restauración, varias creaciones cambiaron la imagen de la catedral, entre ellas la incorporación de la sacristía en sustitución de la de Soufflot o la creación de un centenar de estatuas para la fachada inspiradas en las catedrales de Amiens, Chartres o Reims.

1. VIOLLET-LE-DUC,  
Eugène. *Une oeuvre entre  
restauration et création.*

La creación más importante fue la de una nueva aguja que cambió significativamente la silueta de la catedral. Desde el principio, Lassus se opuso a la construcción de una nueva aguja debido a la escasa información sobre la aguja original. Sin embargo, tras su muerte, en 1857, Viollet no tuvo ningún impedimento y decidió construir la aguja con un diseño propio, llegando esta a alcanzar los noventa y seis metros de altura. Sí que llegó a dejar constancia de la aguja original mediante dibujos en su Diccionario en el artículo “La Flecha”.

Otros cambios significativos fueron la creación de un nuevo rosetón sur, la restauración de los portales y la galería de los reyes o el reemplazo de la piedra de los arbotantes, entre otros.

En paralelo a la finalización de estas obras, en torno a 1870, el Barón Haussmann estaba llevando a cabo una reforma en la trama urbana de la ciudad. Debido a la ubicación de la catedral, estas obras afectaron a la configuración exterior de su contexto más próximo. Así, el parvis existente vio aumentado su tamaño de manera considerable, y frente a la catedral se construyó un nuevo edificio para la policía, destruyendo así cualquier resto de la antigua “rue neuve Notre-Dame”, y, por lo tanto, la visión que esta ofrecía a eje con la fachada.

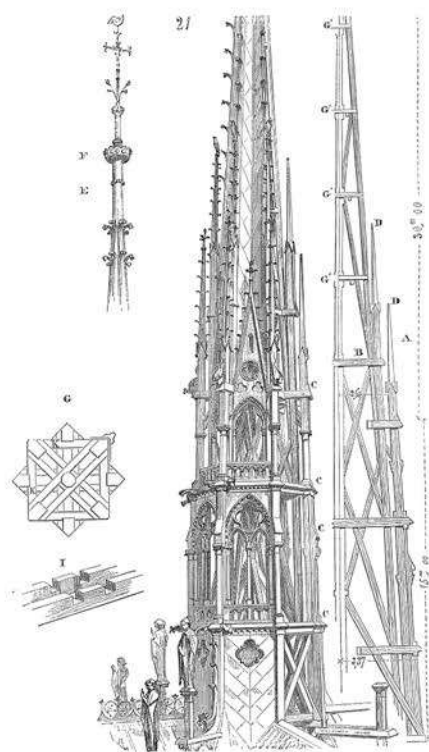


Imagen 9 y 10: Diseño de Viollet Le Duc para la aguja, 1857

## INCENDIO 2019

El 15 de abril de 2019 quedará marcado como día negro en la historia de la catedral de Notre Dame de París. Ese día, a las 18:20 h., se activó la primera alarma de incendio en Notre Dame. A esta alarma le siguieron 15 horas en las que se desarrolló el mayor incendio jamás sufrido en la catedral. Las causas del inicio todavía se desconocen a día de hoy, pero todo indica hacia un posible fallo en el sistema eléctrico.

El incendio se desarrolló en plenas obras de rehabilitación, las cuales habían comenzado dos años antes, tras un acuerdo entre el ministerio de cultura con la diócesis parisina para una inversión de 2 millones €/año durante 10 años. El objetivo principal de estas obras se centraba en limpiar la piedra de la iglesia y restaurar la aguja, que se encontraba en bastante mal estado, ya que la última intervención databa del año 1991, tras el nombramiento de la catedral como Patrimonio Mundial por la UNESCO.

El fuego comenzó cuando la jornada laboral ya había terminado, y se estaba llevando a cabo una eucaristía. Sin embargo, un fallo en la alarma contra incendios impidió la inmediata actuación de los bomberos, transcurriendo así media hora desde el inicio del incendio hasta que llegaron los bomberos y comenzaron a extinguir las llamas, dando por extinguido el incendio a las 10 de la mañana del 16 de abril.

Debido a que el esqueleto de la catedral está sustentado principalmente por los contrafuertes, pináculos y arbotantes, fue imposible el uso de helicópteros para la extinción del fuego, ya que el elevado peso del agua y su intensidad en la caída habría podido provocar el destroz de alguno de estos elementos, y consecuentemente, de toda la estructura del monumento.

*Imagen 11: Catedral de Notre Dame en llamas, 2019*



## DAÑOS

La consecuencia más visible del incendio fue la cubierta de la catedral, pero también afectó a distintos espacios del edificio. La mayor parte de los daños interiores se concentran bajo el crucero del templo, que daba soporte a la aguja, la cual se derrumbó durante el incendio.

### ESTRUCTURA

El sistema empleado por los arquitectos medievales trasladaba el empuje de la nave central al exterior a través de los arbotantes (arcos) hasta los contrafuertes (muros exteriores). Esto hizo indispensable que durante los trabajos de extinción se evitase el empleo de agua a presión sobre estos elementos, para poder favorecer la resistencia de la estructura.

### CUBIERTA

Este armazón, datado del siglo XIII y conocido como la *fôret* (el bosque) debido a las grandes toneladas de troncos de roble que sirvieron para su construcción (1.300 robles talados en una superficie de 21 hectáreas de bosque), quedó completamente destruido tras el fuego, ya que este se propagó muy rápidamente al entrar en contacto con la madera.



*Imagen 12: Colapso de la cubierta durante el incendio, 2019*

## AGUJA

La aguja, que se alzaba 93 metros sobre el suelo, y el campanario, situado en la parte posterior de la nave, se derrumbaron una hora después del comienzo del incendio. La “flèche”, añadida entre los años 1859 y 1860, se trataba de una estructura de madera cubierta de pizarra.

Su derrumbe provocó el colapso de parte de la cuarta bóveda sexpartita. Las primeras informaciones hacían presagiar que el fuego había consumido el gallo de cobre repujado que se encontraba en la cima del pináculo, pero finalmente pudo ser recuperado. Esta escultura albergaba las reliquias de Santa Genoveva y San Denis, así como un fragmento de la Corona de Espinas de Cristo, y fue encontrada entre los escombros días después.

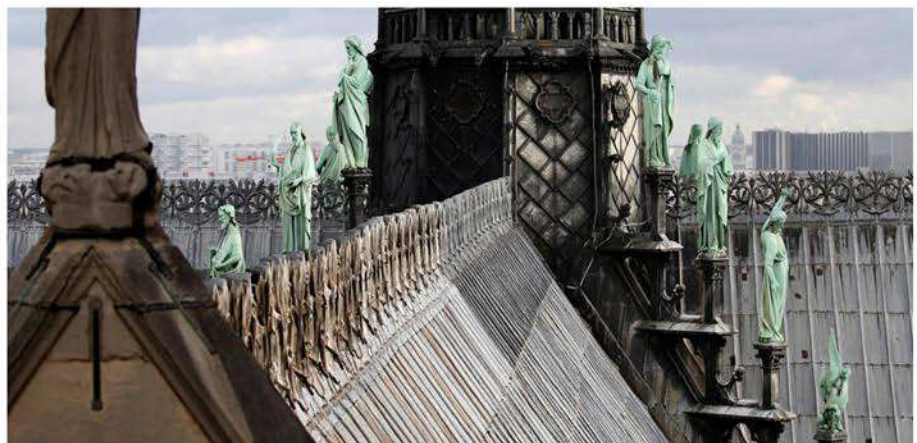
*Imagen 13: Colapso de la aguja durante el incendio, 2019*



## ESTATUAS

Las 16 estatuas de cobre colocadas en la base de la aguja durante la ampliación de Notre Dame en 1860, se salvaron al haber sido desmontadas en los días previos al incendio para su restauración. En el momento del incendio se encontraban en un almacén de la ciudad de Périgueux, al suroeste del país, donde han sido renovadas.

*Imagen 14: Estatuas de cobre salvadas del incendio*



## BÓVEDAS

Pese a mantenerse en pie y resistir el incendio, la estructura del edificio sufrió numerosos daños, principalmente debido a el derrumbe de tres de las bóvedas: la situada en la confluencia del crucero, bajo la aguja, parte de la cuarta (de las nueve con las que cuenta la nave principal) y la mitad de una situada en el brazo sur.



*Imagen 15: Derrumbe de la bóveda del crucero, 2019*

## CUADROS

Los grandes cuadros de los siglos XVI y XVII, conocidos como Mays, situados en las paredes de la nave, el coro y las capillas, consiguieron salvarse del incendio. Sin embargo, no se pudo evitar que fueran dañados por el agua durante la extinción, según admitió el ministro francés de Cultura. Sus dimensiones impidieron que pudiesen ser puestos a salvo a tiempo. Esas escenas religiosas, que recuerdan la vida de los apóstoles, fueron obsequios del gremio de orfebres parisinos entre 1630 y 1707. Llegaron a existir 66, de los que 13 seguían expuestos al público hasta el momento del incendio.



*Imagen 16: Mays en el interior de Notre Dame, siglo XVII*

## ROSETONES

Las vidrieras, que representan pasajes bíblicos, fueron construidas en el siglo XIII y renovadas en distintas ocasiones. Aunque permanecen en su lugar, en algunas se ha fundido el plomo que unía los cristales.

Los tres rosetones principales, de 13 metros de diámetro, no han sido destruidos, aunque el fuego sí ha afectado a los de menor tamaño situados en el nivel de la cubierta calcinada, los cuales presentan algunos desperfectos.

Los andamios circundantes, instalados para facilitar las obras iniciadas en la catedral hace meses, resistieron las llamas y contribuyeron a la protección de la estructura, al amortiguar la caída de la aguja.

*Imagen 17: Estado de los rosetones tras el incendio, 2019*



## ÓRGANOS

De los tres órganos instalados en la catedral, el de mayor tamaño, construido sobre la entrada principal entre los siglos XV y XVII, sobrevivió al incendio, aunque la estructura quedó dañada debido a la caída de algunos escombros, polvo y agua. El instrumento, que cuenta con una caja adornada con autómatas y 7.374 tubos, había sido restaurado en 2014. El que se encontraba en el coro, que cuenta con 1.840 tubos, también se salvó de la destrucción.

No corrió la misma suerte el órgano portátil, que en el momento del incendio se encontraba situado en el crucero y quedó destruido por las llamas.



## RESTAURACIÓN

### CONTROVERSIA

Tras la conmoción inicial vivida durante el incendio que destruyó parte de la catedral de Notre Dame, llegaron las preguntas, y, con ellas, la controversia: cómo se va a reconstruir, cuánto va a costar, qué pasos se han de dar para la recuperación y qué implica una restauración de este patrimonio cultural de la humanidad.

La Carta de Venecia (1964) establece que “los elementos que reemplacen partes inexistentes deben integrarse armoniosamente, pero distinguiéndose claramente de los originales, a fin de que no se falsifique el documento artístico o histórico”. El concepto de integración armoniosa, sin embargo, puede implicar una gran variedad de soluciones, algunas de ellas bastante inesperadas o que no estaban contempladas como tal en un inicio.

Teniendo esto en mente, surgieron numerosas posturas respecto a cómo hacer frente a una intervención de este calibre. Se podrían destacar dos enfoques, radicalmente opuestos tanto en la forma de pensar como en la de actuar.

Desde el primer momento surgieron voces abogando por un enfoque desde la conservación, la humildad y el respeto a las preexistencias, defendiendo una restauración a imagen de lo existente previo al incendio.

Yendo aún más allá, ciertas corrientes apostaron por respetar el ‘espíritu común que guió la construcción de la catedral en sus inicios, resaltando la importancia de la sociedad de su tiempo, calificándola como una obra colectiva. En este sentido reclamaban la participación pública para consensuar la mejor solución, buscando darle protagonismo y voz a la sociedad actual, de manera análoga al origen de su construcción.

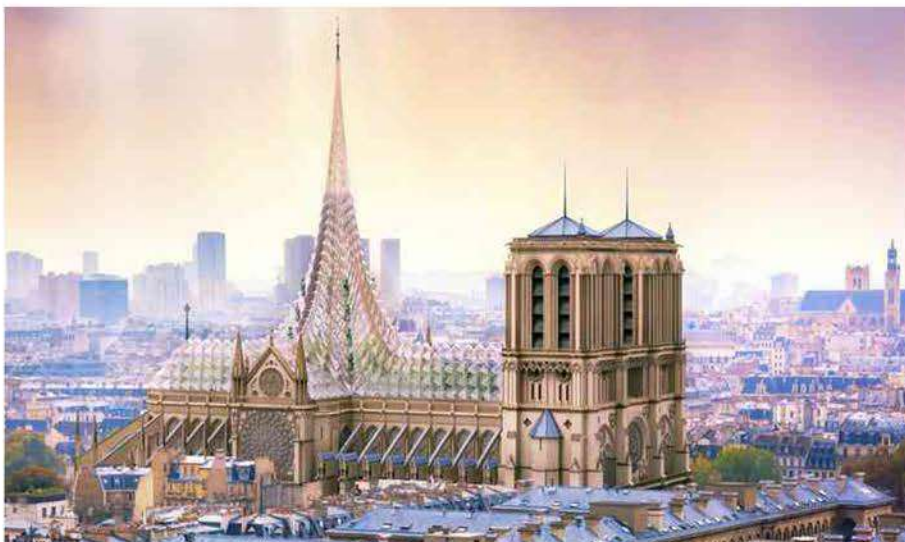
Por otro lado, surgen tendencias que aprovechan la ocasión histórica para abogar por la contemporaneidad, proponiendo propuestas transgresoras que reafirman el presunto espíritu de nuestra época.

Esta postura se vio reforzada por la convocatoria de un concurso abierto internacional para restaurar Notre Dame por parte del gobierno francés.

«El concurso internacional permitirá resolver la cuestión para saber si hace falta reconstruir la aguja que fue pensada y construida por Viollet-le-Duc, en las mismas condiciones, idéntica, o si hace falta, como ocurre en la evolución del patrimonio y la evolución de la Catedral, dotar a la Catedral de Notre Dame de París de una nueva aguja adaptada a las técnicas y a las cuestiones de nuestra época. <sup>2</sup>»

2. PHILIPPE, Edouard.  
Primer Ministro de Francia

Si bien es cierto que hubo bastante variedad en todas las propuestas, destacaron de manera remarcable algunas de carácter inverosímil, estrafalarias e incluso imposibles de llevar a cabo, entrando en el campo de las vanidades.



*Imagen 18: Propuesta  
Vincent Callebaut  
Architectures*

El debate se dio por finalizado cuando el gobierno francés, una vez pasado el shock inicial y consultado con expertos, optó por llevar a cabo una reconstrucción exacta al estado previo al incendio, descartando así la idea de publicar oficialmente el concurso.

«¿Cuál catedral restaurar entonces? ¿La medieval profundamente alterada en el barroco? ¿La barroca destruida por la revolución? ¿O la neogótica, reinventada por el romanticismo? En este caso, como en todos los edificios con una larga historia, está claro que hubo muchas catedrales en su devenir, todas ellas hijas de su tiempo y todas ellas igualmente valiosas. <sup>3</sup>»

Las palabras utilizadas fueron clave, puesto que al decir “estado previo al incendio” hace referencia a su “último estado visual conocido”, entendiéndose este como su imagen tras las restauraciones realizadas por Viollet-le-Duc, descartando devolver la catedral a un hipotético “estado original”.

Esta decisión, como no podía ser de otra manera, no estuvo exenta de polémica.

No sólo fue criticada por los defensores de las otras corrientes, explicadas previamente, sino que desencadenó a su vez un debate ecologista.

La decisión de devolver la catedral a su imagen previa al incendio implica, por defecto, el uso de los materiales y las técnicas originales.

Para reconstruir la cubierta ha sido finalmente necesario talar más de 1000 árboles, muchos de ellos robles centenarios, destinados a la reconstrucción de la torre y la estructura del techo. A esto se le suma el uso de plomo para la aguja, generando una alta contaminación.

3. MARTINEZ NESPRAL, Fernando. Reconstrucción o reinterpretación. En Línea.

---

Por suerte, toda la controversia generada ha quedado opacada por el movimiento de solidaridad que surgió por parte de la sociedad, dispuesta a ayudar en cualquier ámbito que fuese necesario.

La respuesta fue tal que llegaron a recaudarse 846 millones de euros en donaciones de 340.000 donantes en 150 países, superando incluso la previsión del coste de las obras de restauración, valorado en 700 millones de euros, aunque no se sabrá el coste total hasta dar por finalizada la obra completamente.

Las ayudas no se sucedieron únicamente en el ámbito económico, también fueron muchos los investigadores que manifestaron su voluntad de ayudar y poner sus conocimientos y competencias al servicio del edificio y los trabajos de restauración.

Para aunar y organizar toda esta actividad, el Ministerio de Cultura designó al Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) para coordinar un taller científico que fuese el epicentro de nuevos descubrimientos en paralelo al taller de restauración.

Este taller cuenta con una cincuentena de equipos de investigación y laboratorios repartidos por toda Francia y agrupa un total de 175 investigadores, aportando informaciones útiles a la obra de restauración y renovando los conocimientos sobre el edificio, su historia, entorno y, más ampliamente, sobre las catedrales y el patrimonio.

## TRABAJOS DE RESTAURACIÓN

Todos los trabajos de restauración están organizados en grupos de trabajo temáticos, divididos principalmente por zonas o elementos concretos. Cada equipo de trabajo está constituido siguiendo una jerarquía, para asegurar el correcto funcionamiento de todo el conjunto.

No obstante, para el adecuado funcionamiento y coordinación entre las distintas intervenciones, se optó por designar al arquitecto Philippe Villeneuve como supervisor general de todas las obras de restauración.

Los trabajos de intervención comenzaron de inmediato. Los dos primeros años de trabajo se dedicaron a asegurar el edificio, completar los estudios del proyecto y adjudicar licitaciones, comenzando la fase de restauración oficialmente en septiembre de 2021.

Durante toda esta primera fase, se retiraron más de 40.000 postes quemados y derretidos del andamio que había en el momento del incendio, además de catalogar todas las piezas de las antiguas vigas de madera calcinadas.

«Todo se estudia, los escombros son cosas que ya no te sirven. Para ellos, todos esos restos son parte de la catedral, y se van a estudiar, y se van a guardar. <sup>4</sup>»

Una vez retirados todos los restos del incendio, se erigió una estructura de andamios para que el equipo de maestros artesanos, científicos, arquitectos e ingenieros -así como cientos de trabajadores- tuvieran acceso a los muros y vitrales que sobrevivieron al incendio, y poder llevar a cabo los estudios pertinentes para entender en qué estado habían quedado los distintos elementos de cara a los futuros trabajos de restauración.

Uno de los mayores problemas de toda esta fase fueron las toneladas de polvo de plomo tóxico que cubrían el espacio, lo que dificultó y ralentizó los trabajos realizados.



Imagen 19: Trabajos en el interior de la catedral

4. GÓMEZ BAPTISTA, Fernando. Ilustrador de infografías para National Geographic.

Los trabajos de restauración comenzaron a finales de enero de 2021. Se han llevado a cabo grandes avances en la cúpula, de 33 m de altura y con más de 3000 metros cuadrados de vitrales en sus paredes, que fue uno de los primeros elementos en derrumbarse durante el incendio.

Se priorizaron los trabajos en la estructura de hierro que rodea la cúpula, lo que a su vez permitió iniciar el proceso de restauración de la cubierta y los muros exteriores.

Los trabajos no solo son en el ámbito estructural, sino que incluyen la restauración de los vitrales y las obras de arte que fueron afectadas por el incendio, buscando devolver a su estado original a esculturas y pinturas.

De momento todos los plazos se están cumpliendo, por lo que se espera la reapertura de la catedral para el 8 de diciembre de 2024. No obstante, pese a reabrirse el templo, está previsto que los trabajos se extiendan hasta finales de 2027, cuando se prevé la finalización de la remodelación de la explanada y los alrededores de la catedral.

Una vez sentadas todas las bases, y con una visión general de lo que se está llevando a cabo, este trabajo pretende entender hasta qué punto la solución tomada fue la más adecuada, así como cuales fueron los factores de mayor peso a la hora de tomar esta decisión. Para ello, se estudian dos posibilidades, bastante similares en cuanto a forma e imagen, salvando las diferencias, pero a su vez opuestas en cuanto a los recursos y mecanismos empleados para llevarse a cabo.

Se estudia, en primer lugar, la que se está llevando a cabo, para la que se utilizan todos los recursos generados durante toda la historia de la catedral. Frente a esta, se plantea una restauración que premie la eficacia por encima del sentimentalismo, abogando por la utilización de todos los recursos a disposición de la restauración.

*Imagen 20: Trabajos de restauración en la cubierta*



## ANÁLISIS RESTAURACIÓN CUBIERTA

Tras ocho siglos protegiendo la catedral de París, la Forêt, nombre con el que era conocida la estructura de la cubierta, comenzó a arder en la tarde del lunes 15 de abril de 2019, desapareciendo en su práctica totalidad, y llevándose por delante la aguja del siglo XIX.

Si bien es cierto que la caída de la aguja fue lo más lacerante, debido a su imagen simbólica, fue mucho más grave la desaparición de la armadura, construida en tres etapas: una primigenia, en 1160, desaparecida y cuya madera fue reutilizada, la del coro en 1220, y la de la nave en torno a 1230.

El nivel de desarrollo de la estructura de la cubierta fue prodigioso, puesto que usaron toda la tecnología a su alcance, la cual acabó siendo insuficiente en ese momento, por lo que tuvieron que innovar en muchas de las soluciones técnicas, dejando entrever la calidad de los carpinteros de la época.

La decisión de llevar a cabo una reconstrucción a imagen de la existente previamente le añade cierto nivel de complejidad, no tanto por la forma en sí sino por la elección de utilizar las técnicas originales, elevando de manera considerable el grado de dificultad.



*Imagen 21. Estructura de madera de la cubierta de Notre Dame*

## MADERA

Se estima que, en la construcción de la estructura gótica de la nave, el coro y el crucero, se utilizaron alrededor de 1.000 robles, siendo el 97% de ellos tallados a partir de troncos de entre 25 y 30 centímetros de diámetro, con una longitud máxima de 12 metros. Los troncos restantes, alrededor del 3%, contaban con unas dimensiones de 50 centímetros de diámetro, así como 15 metros de longitud máxima, y eran los destinados a vigas de atado.

La mayoría de los troncos procedían de árboles jóvenes, alrededor de 60 años, de bosques maduros con alta densidad, por lo que se veían forzados a crecer rápidamente hacia la luz en la copa y no en espesor. Estos bosques, gestionados según una silvicultura basada en la regeneración mediante talas y sin raleo, produjeron masiva y rápidamente robles perfectamente adaptados a la madera y a las técnicas de construcciones empleadas, basadas en escuadrar con hacha y corte.

La tala de 1.000 robles, actualmente, no supone un obstáculo, ya que el país cuenta con el mayor bosque de Europa, con 17 millones de hectáreas de bosques, de las cuales 6 millones son robledales, con un crecimiento constante en los últimos años. De igual manera, la selección no se produciría mediante tala rasa, ya que los bosques maduros actuales son diferentes de los del siglo XIII, y estos "pequeños" robles que son necesarios se encuentran dispersos entre los bosques actuales. Por lo tanto, se cortarían mediante tala selectiva, con talas individuales específicas dentro de los bosques maduros, limitando así el impacto ecológico en los ecosistemas forestales.

La mayor dificultad no está, por lo tanto, en el hecho de encontrar la madera necesaria para llevar a cabo todos los trabajos de restauración, sino encontrar artesanos o carpinteros que la trabajen de manera manual.

*Imagen 22: Cubierta catedral de Notre-Dame de Paris, el «Bosque»*



Cada viga corresponde a un roble cuadrado (tronco cortado en sección rectangular) con un hacha, manteniendo de esta manera el corazón de la madera en el centro de la pieza. Es por esto que los robles talados deben ser escogidos de manera precisa, ya que los carpinteros buscan unas secciones concretas que se ajusten a las necesidades de las piezas. El escuadrado se hace lo más cerca posible de la superficie del tronco con poca pérdida de madera, buscando generar piezas con secciones dimensionalmente estables.

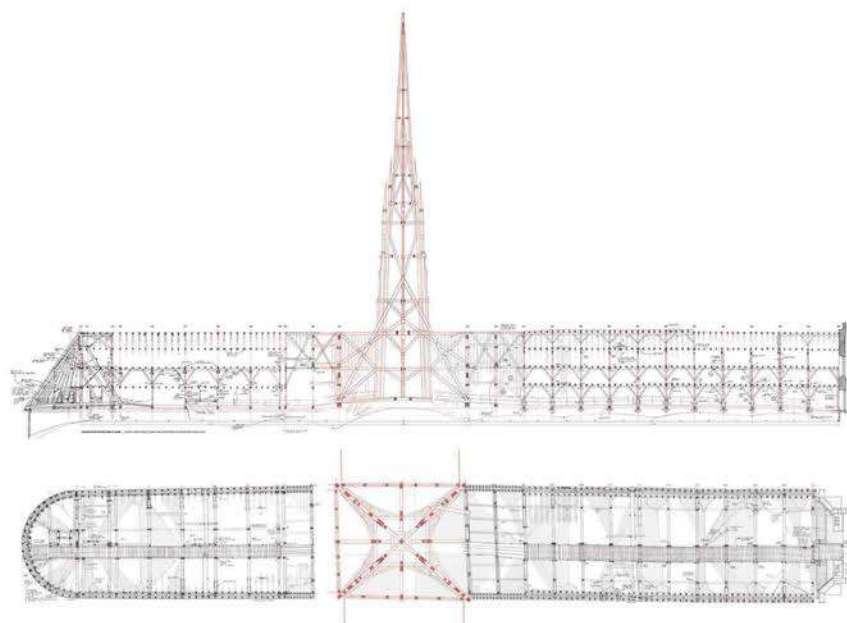
Las técnicas para el trabajo con la madera empleadas son consideradas como "tradicionales". Contrariamente a lo que se piensa popularmente, estas técnicas han dejado de ser utilizadas casi en su totalidad por las principales empresas de carpintería, ya que han quedado obsoletas, optando por una modernización de los trabajos junto con mejoras en las herramientas de mecanizado digital y en las máquinas eléctricas.

Ni siquiera las empresas dedicadas a trabajar con monumentos históricos cortan la madera con hacha, sino que se abastecen directamente del aserradero. Sólo unas pocas empresas artesanales siguen cortando con hacha ancha, tratando de preservar la esencia de su oficio mediante el control de toda la cadena operativa, desde la selección de árboles en el bosque hasta la tala manual y su instalación.

Es por esto que la utilización de estas técnicas en los trabajos de restauración supone un problema. No por su complejidad, sino por la dificultad de encontrar artesanos con los conocimientos suficientes como para ser capaces de llevar a cabo estos trabajos tan importantes.

## MARCOS

La cubierta de Notre Dame era una construcción de grandes dimensiones: unos 115,6 m de largo, 13 m de ancho y 9,75 m de alto para la nave y el coro. La dificultad de la estructura radica, como en la mayoría de las estructuras góticas, en la dificultad para adaptar la armadura a paredes delgadas perforadas por grandes vidrieras, y a los fuertes empujes del viento sobre los tejados altos y empinados.



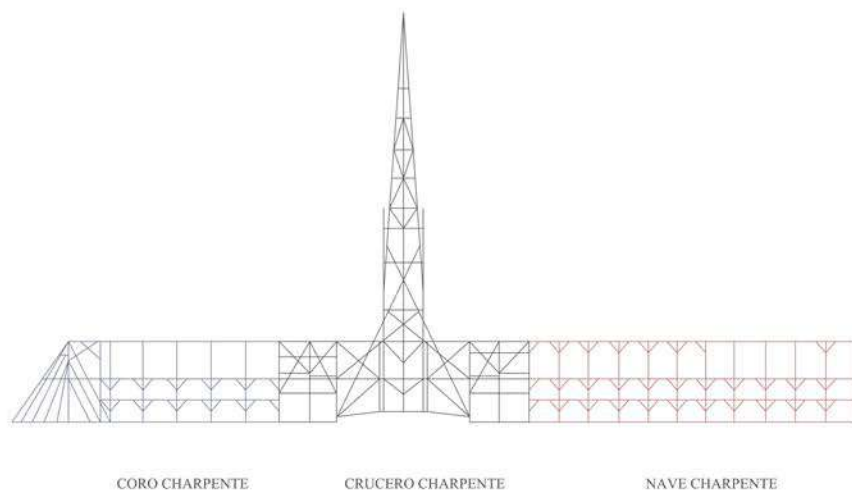
*Imagen 23: Cubierta catedral de Notre-Dame de Paris*

El maestro carpintero de Notre-Dame resolvió este desafío diseñando una estructura compleja pero equilibrada, estable en sí misma y en las paredes, utilizando numerosos elementos, cargando a la estructura con todos los sistemas necesarios, con cientos de piezas secundarias, haciéndola mucho más densa que la mayoría de armazones de su época, lo que le valió el sobrenombre de "bosque".

Podemos diferenciar tres zonas, con soluciones estructurales desiguales.

- 1.El coro charpente , construido después de 1220, probablemente de 1225 a 1230.
- 2.La nave charpente , ligeramente posterior, presuntamente construida entre 1230 y 1240.
- 3.El crucero charpente , reconstruido en su totalidad durante las obras de restauración de Lassus y Viollet-le-Duc, junto con la aguja y los primeros marcos de la nave y el coro cerca de la aguja.

Imagen 24: Zonas cubierta  
Notre Dame de Paris



Los charpentes de la nave y el coro no son idénticos, pero sí notoriamente similares. La estructura de la nave es ligeramente posterior a la del coro, lo que hace suponer que los carpinteros aprendieron de sus errores y perfeccionaron la estructura, aprendiendo de lo que habían desarrollado previamente.

Tanto las estructuras del coro como de la nave fueron realizadas con un tipo de armadura que se desarrolló durante el gótico francés del siglo XIII, denominado chevrons-formant-fermes (pares formando cerchas).

Se trata de un sistema estructural articulado, compuesto de dos partes principales: el marco principal ( fermes principales o chevrons maîtres ), y los marcos comunes ( fermes secondaires o chevrons ). El charpente se ensambla mediante la repetición de unidades estructurales, cada una compuesta por un marco principal y un número determinado de marcos secundarios. Estos últimos se colocan a una distancia que varía entre 60 y 80 cm. Normalmente, una unidad estructural utiliza de 4 a 5 fermettes , por lo que normalmente tiene una longitud de 3 a 4 metros.

En el coro de Notre-Dame los marcos principales están espaciados 4,8 m y se utilizan cuatro marcos comunes, espaciados 82 cm. En la nave esta distancia se ha reducido a 3,5 m y las fermettes están espaciadas 75 cm. El pórtico principal se une entonces a los pórticos comunes mediante una estructura longitudinal, compuesta por vigas horizontales y por refuerzos tirantes (los aisseliers).

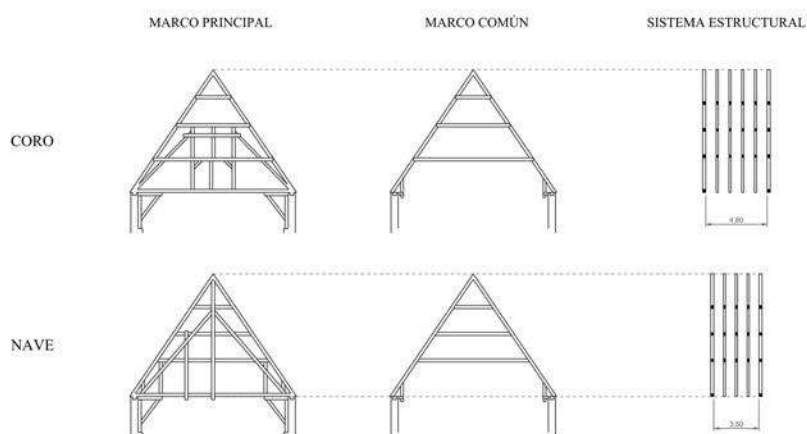


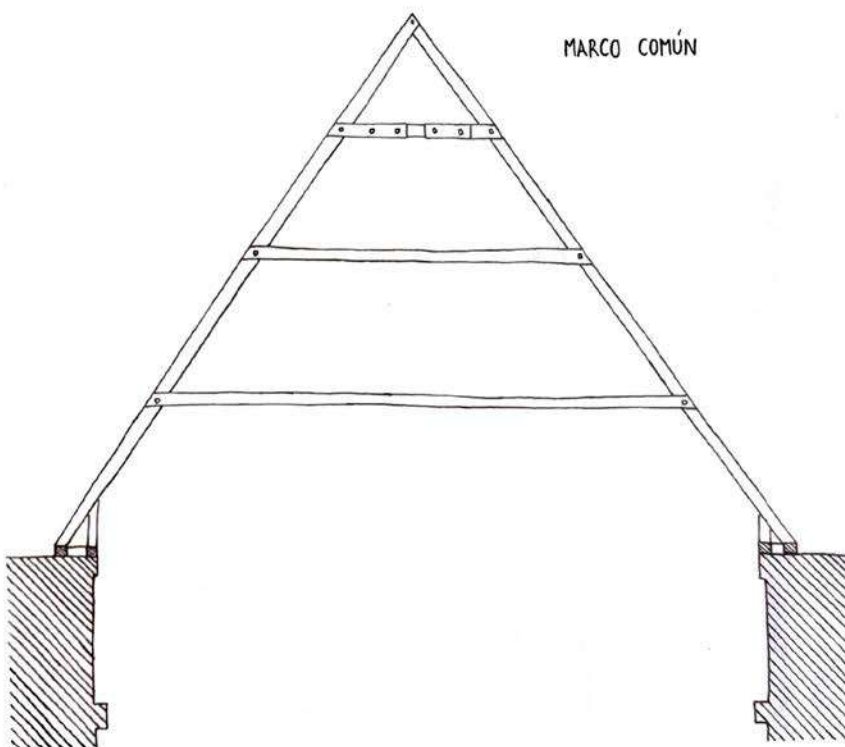
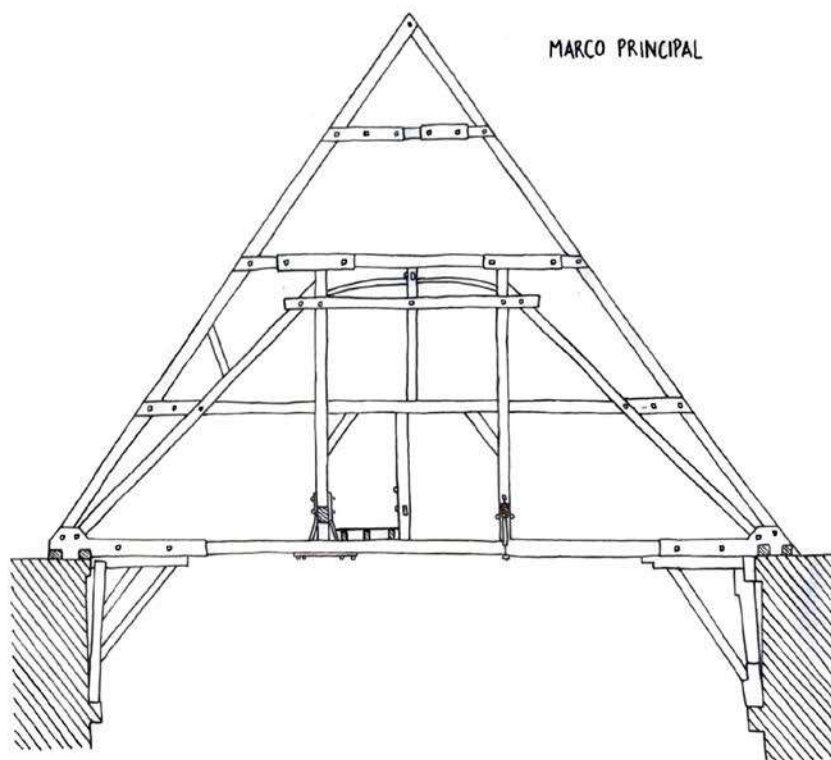
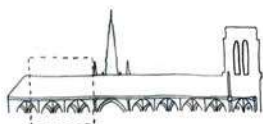
Imagen 25: Sistema estructural cubierta Notre Dame de París

## CORO

En el caso del coro, la cercha principal está formada por dos juegos de pares: uno exterior que soporta la cobertura y uno interior menos inclinado, que, junto al poinçon (pendolón) forman un arbalétrier (ballesta), por su parecido funcional con el arma que le da nombre. Los pares internos están comprimidos por el pendolón, que tira hacia abajo, al ser el responsable principal de soportar la flecha del entrain (tirante), de 14 metros, y de los entrains retroussés (nudillos). Además, en sentido longitudinal, el sous-faîtage, un sistema de pilares jabalconados con carreras que discurren bajo los nudillos, tiene la misión de repartir la flecha de los elementos horizontales cargando en esta ocasión sobre los pares exteriores.

Por su parte, las cerchas secundarias, cuatro por cada principal, únicamente poseen pares exteriores y nudillos, con la función de dar soporte a la cobertura y transmitir cargas.

Imagen 26: Estructura del coro



## NAVE

En el caso de la nave, la cercha principal está formada por dos juegos de pares, al igual que en el coro: uno exterior que soporta la cobertura y uno interior menos inclinado.

En este caso, encontramos una estructura asimétrica. Presenta únicamente un entrain (tirante), de 14 metros, en el lado norte, coincidiendo con la presencia en este lado de la estructura en forma de pasarela destinada al mantenimiento.

Presenta, de igual manera que la zona del coro, el sous-fâitage, un sistema de pilares jabalconados en sentido longitudinal, con carreras que discurren bajo los nudillos, con la función de repartir la flecha de los elementos horizontales cargando en esta ocasión sobre los pares exteriores.

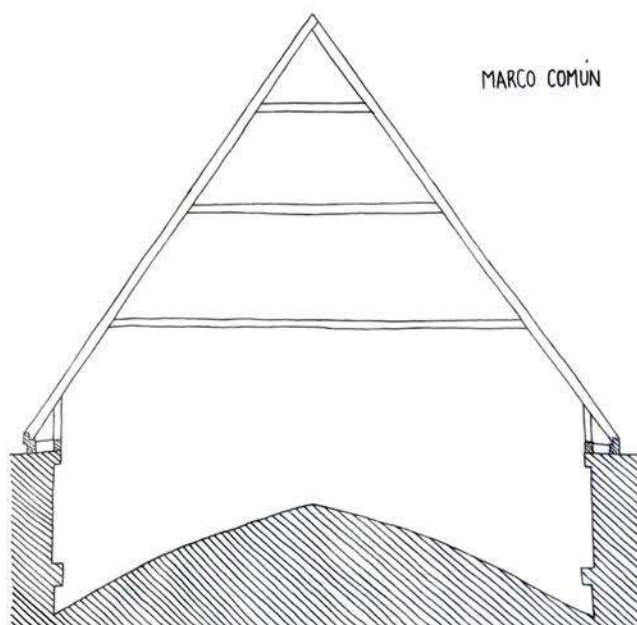
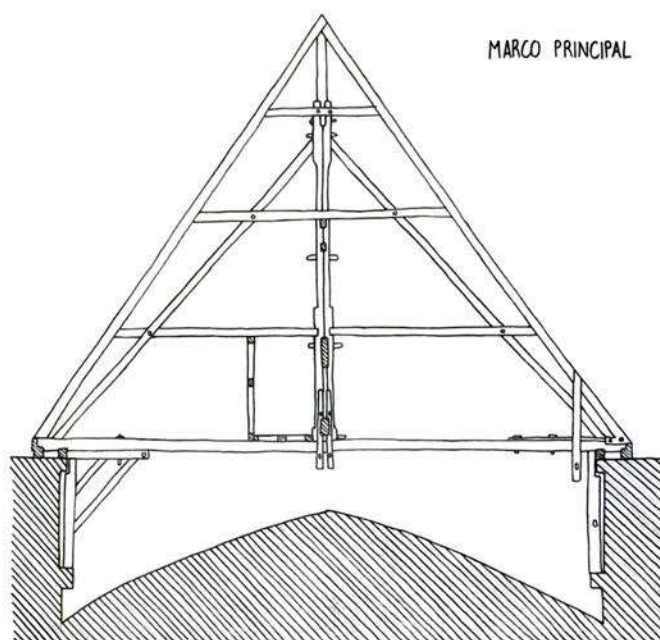
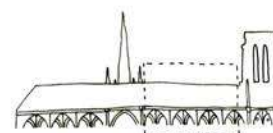


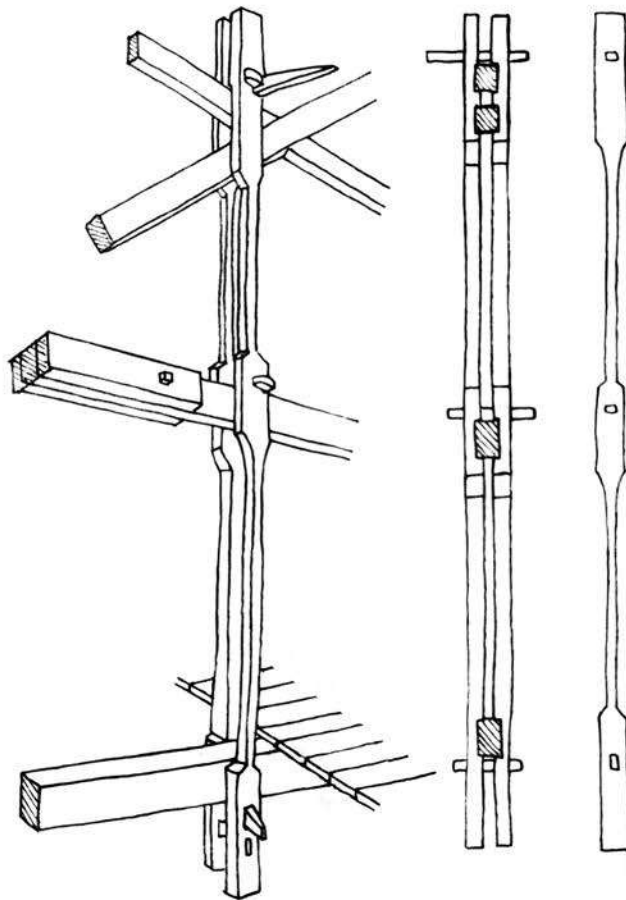
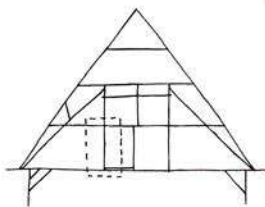
Imagen 27: Estructura de la nave



## NUDOS

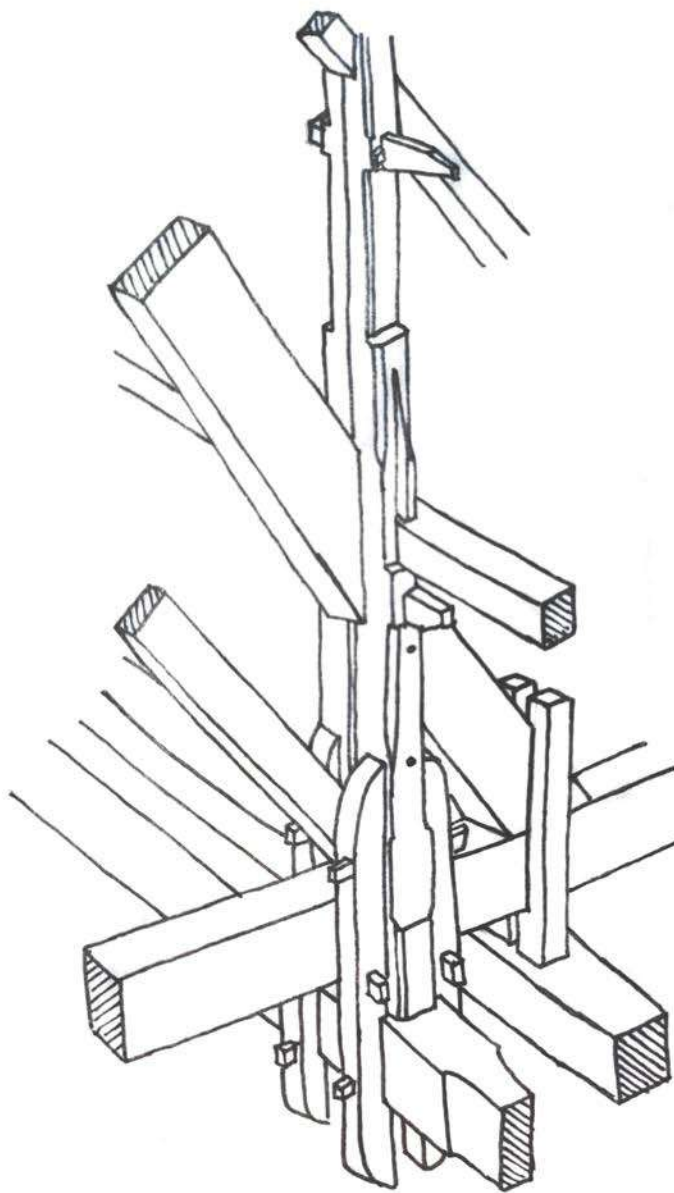
La principal complicación, atendiendo a la producción y el montaje, en ambos marcos, no es la complejidad de su geometría, sino los nudos y uniones que presentan. La mayor parte de los marcos están resueltos mediante ensamblajes, utilizando clavos y tornillos para reforzar las uniones. Estas, aunque no son demasiado complejas de llevar a cabo, sí que implican un mayor periodo de fabricación de las piezas, así como de montaje.

Imagen 28: Detalle nudo zona coro

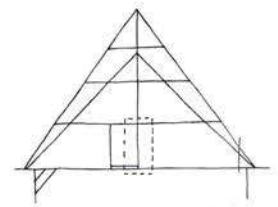


La dificultad no radica tanto en la ejecución de estas uniones, sino en la sección de las piezas necesarias para desarrollar este tipo de uniones.

La mayor parte de los nudos no se llevan a cabo mediante los elementos entre sí, sino que se emplean unas piezas auxiliares, igualmente de madera, que son las encargadas de unir todo entre sí. De esta manera, se obtiene un nudo mucho más cargado y denso, lo que, a la vez que ayuda a reforzar el sobrenombre del bosque para la cubierta, le aporta una estética única.



*Imagen 29: Detalle nudo  
zona nave*



Esta complejidad, aunque le aporte el componente estético, supone un problema en los encuentros entre la estructura restaurada y la existente, debido a la dificultad del montaje. Seguramente debido a esto, en las obras de restauración se optó por hacer una excepción y simplificar estos nudos, buscando facilitar los trabajos de puesta en obra.

Es preciso destacar que el empleo de las técnicas originales tiene una implicación en cuanto al proceso de fabricación de las piezas. El trabajo manual implica la elaboración de manera individualizada de cada una de las piezas, lo que genera que cada una de ellas sea única, pero a la vez abre la puerta a imperfecciones y ralentiza los tiempos de fabricación.

Imagen 30: Detalle nudo zona coro

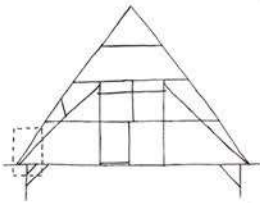
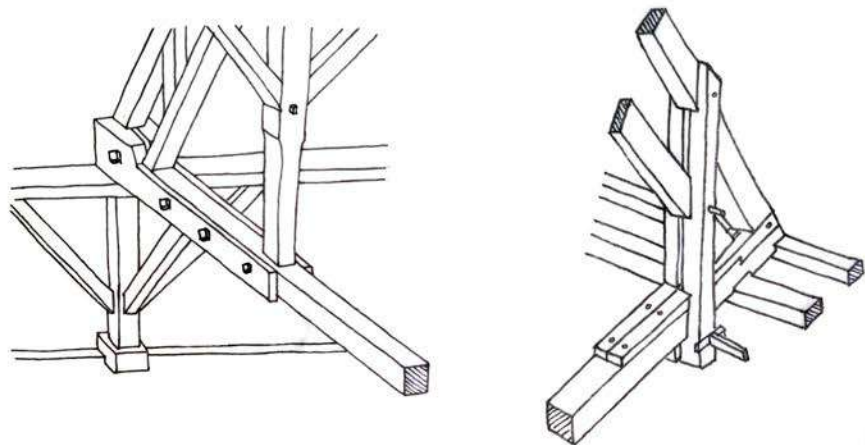
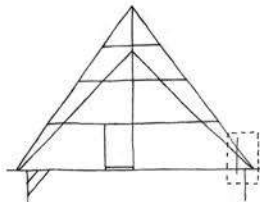


Imagen 31: Detalle nudo zona nave



## MONTAJE Y TRANSPORTE

Las dimensiones de cada marco hacen imposible su transporte de manera íntegra desde la fábrica hasta la catedral. No obstante, parece completamente evidente la necesidad de llevar a cabo un montaje previo en fábrica para asegurar que todo funcione y esté bien ejecutado. Una vez realizada esta comprobación, sería necesario desmontar de nuevo el marco de manera casi completa, salvo algunas uniones que cumplirían con las medidas establecidas para su transporte.

Cabe destacar, en este caso, que un montaje en obra, por muy cuidadoso que sea, nunca sería igual de preciso y limpio que uno en fábrica.

Una vez en su localización, y montado cada marco, toda la maquinaria actual permite desarrollar con facilidad el montaje, izando cada pieza de manera individual hasta su colocación. En este punto, es clave el encuentro entre la estructura existente y la restaurada. Es por esto que seguramente simplificaron este nudo, de cara a facilitar la unión entre ambos elementos.

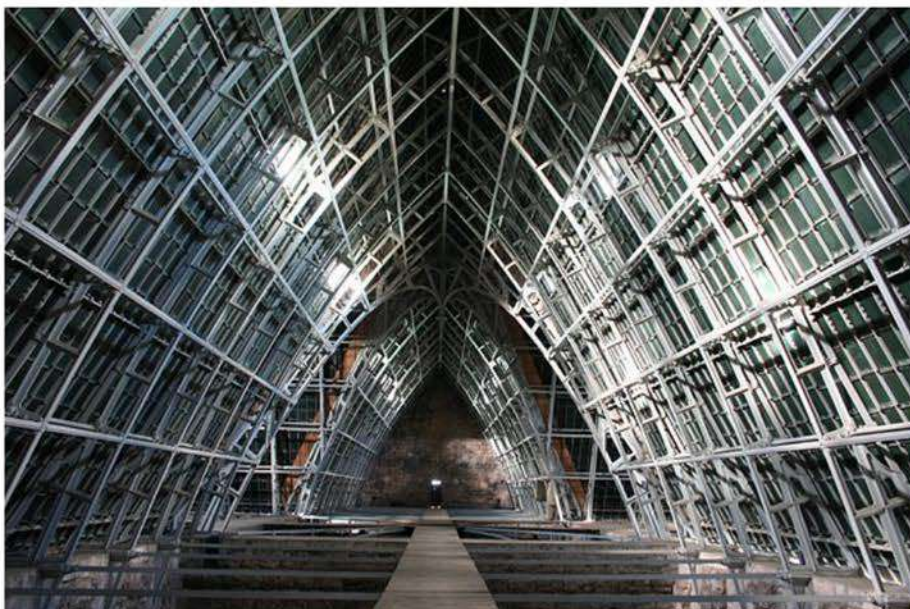
## ANÁLISIS TÉCNICAS ACTUALES

«Nôtre Dame de París es el monumento de alta tecnología más importante de su época en términos de ingeniería gótica. Como muchas catedrales, su historia es de cambio y renovación. A lo largo de los siglos, los techos de las catedrales medievales han sido devastados por incendios y reemplazados. En todos los casos, el reemplazo utilizó la tecnología de construcción más avanzada de la época; nunca replicó el original. <sup>5</sup> »

Existen, de hecho, numerosos ejemplos que defienden y apoyan este criterio. La cubierta de la catedral de Chartres ardió en 1836 –con consecuencias muy similares a Notre Dame de París, y el ingeniero Émile Martin diseñó una estructura a base de perfiles tubulares metálicos en forma de quilla invertida, que está en pie desde entonces; la catedral de Metz se incendió en 1877, y también se resolvió la nueva cubierta con un entramado metálico; en el caso de Reims, cuya techumbre ardió en el incendio producido por el bombardeo alemán en 1914, el arquitecto Henri Deneux recurrió a un sistema de piezas prefabricadas de cemento armado unidas por chavetas de roble conformando los pórticos estructurales, todo ello bajo una nueva estructura fuertemente apuntada que reconstruía el volumen exterior original.

Todos estos ejemplos nos llevan a cuestionar todas las posibilidades que se han dejado atrás con la decisión de la utilización de las técnicas originales, lo que podría haber sido y no fue.

Quedan, por lo tanto, en la imaginación, soluciones revolucionarias e innovadoras, al igual que lo fueron en su momento las desarrolladas en la catedral de Chartres o de Reims.



*Imagen 32 : Estructura metálica del techo de la catedral de Chartres*

Entendiendo lo excepcional de la situación, no solo por las características en las que se ha dado, sino por el simbolismo y lo que representa la catedral en la sociedad, se plantea un análisis de una posible restauración bastante conservadora en cuanto a lo existente, pero buscando la mayor eficiencia en todo el proceso, huyendo de esta manera del relato sentimentalista acerca de la utilización de las técnicas originales.

El análisis, por lo tanto, pasa por utilizar toda la tecnología disponible, sin cuestionar la forma, únicamente buscando la mayor eficiencia, empleando todos los recursos actuales al alcance.

### MADERA

Es evidente que existe un abanico de opciones a la hora de abordar una reconstrucción de este calibre desde un punto de vista más tecnológico. En la mayoría de los casos la solución pasa por un cambio de material, pero, como ya se ha comentado, debido al simbolismo de la madera en la catedral de Notre Dame, se plantea el uso de la madera tecnificada como solución idónea para vincular pasado y futuro.

En la actualidad, prácticamente la totalidad de la madera que se utiliza en construcción se trata de madera laminada, principalmente debido a sus propiedades y a la mayor versatilidad que ofrece en cuanto a dimensiones, permitiendo fabricar piezas estructurales de cualquier longitud, anchura y espesor.

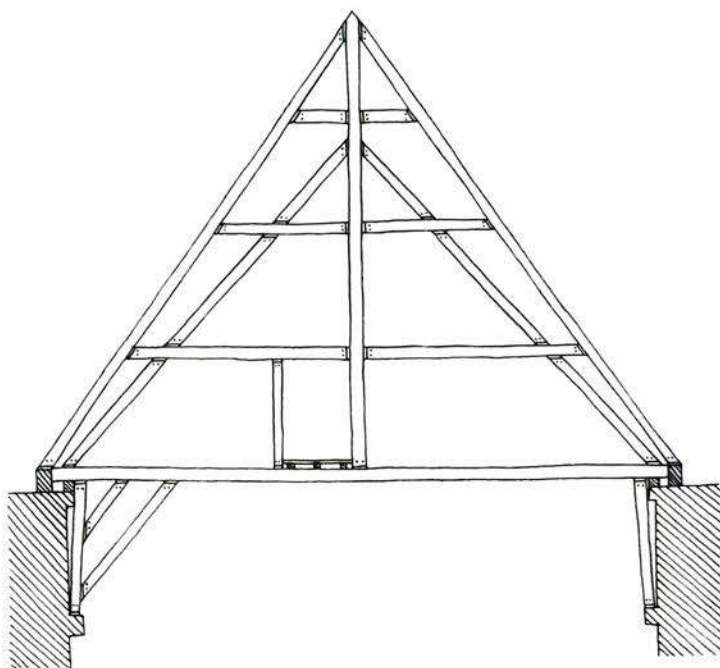
El proceso de fabricación de la madera laminada es un trabajo bastante mecanizado e industrializado. Como su propio nombre indica, está conformada por la unión de láminas de madera, lo que implica que se pueda fabricar a partir de piezas de menor longitud que se unen según las necesidades dimensionales mediante uniones finger-joint o endentadas. La industrialización de todo el proceso de fabricación no solo facilita y acelera los trabajos, sino que aumenta la cantidad de producción, al no depender tanto de árboles grandes y longevos, pudiendo utilizar en su lugar otros más jóvenes y de menor tamaño, limitando así el impacto ecológico en los ecosistemas forestales.

Es importante destacar los controles de resistencia y humedad incluidos en el proceso de fabricación, además del tratamiento de la propia madera según las necesidades requeridas por la clase de servicio a la que va a estar sometida, lo que asegura una gran calidad y adecuación de la madera a las necesidades de la catedral.

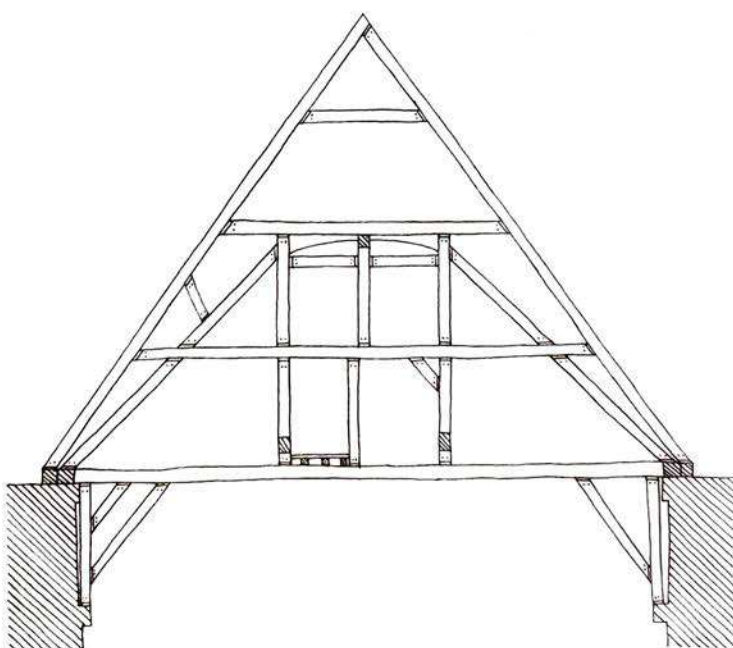
Entendiendo esto, no solo resulta sencillo encontrar carpinteros, o más bien, empresas competentes para desarrollar los trabajos con suficiente conocimiento, sino que, gracias a la abundancia de estos, es posible contrastar información y opiniones respecto a cómo actuar, principalmente en algunas zonas que requieran de alguna solución excepcional, lo que enriquece y mejora los trabajos a realizar.

## MARCOS

Recuperando lo mencionado previamente, el análisis a realizar busca plantear la utilización de todos los recursos a favor de la restauración, sin cuestionar la idoneidad de la forma existente. Es por esto que se lleva a cabo un estudio de la estructura presente en la catedral conservando los dos tipos de marcos que la componen. Se plantea, por lo tanto, respetar la morfología previa al incendio, abogando por la eficiencia de los elementos que la componen y del proceso de fabricación de estos.



*Imagen 33: Marco de la nave con madera laminada y herrajes ocultos*



*Imagen 34: Marco del coro con madera laminada y herrajes ocultos*

El uso de madera laminada junto con todos los recursos actuales simplifica en gran medida toda la estructura, principalmente en lo que respecta a los nudos y las distintas uniones. El hecho de no requerir elementos adicionales para conformar las uniones no solo reduce el uso de la madera necesaria, sino que además está simplificando la sección de los distintos elementos que conforman los marcos, los cuales pasan a tener una sección constante en toda su longitud.

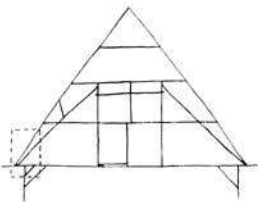
Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta son los avances en cuanto a la maquinaria y fabricación que se han desarrollado en los últimos años, los cuales permiten que no solo se mecanice la fabricación del material necesario, la madera laminada, sino que también sea posible la industrialización de todo el proceso de fabricación de los marcos.

La sección constante de las piezas facilita la producción en cadena de todas las piezas necesarias. Si bien es cierto que cada una de ellas tiene unas dimensiones propias, al repetirse la estructura un determinado número de ocasiones, ya que los marcos de una misma zona son iguales, se consigue una mayor eficacia y rapidez. Esto no sólo acelera los tiempos de producción de los elementos necesarios, sino que asegura un nivel de calidad y precisión notablemente altos, lo cual es sumamente importante en este tipo de estructuras, donde los nudos están diseñados milimétricamente.

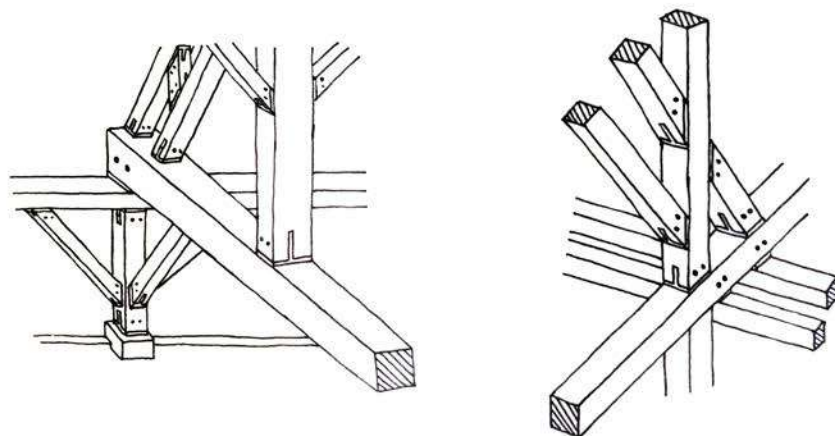
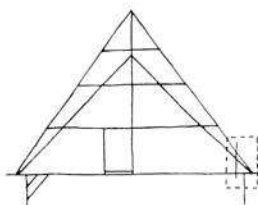
### NUDOS

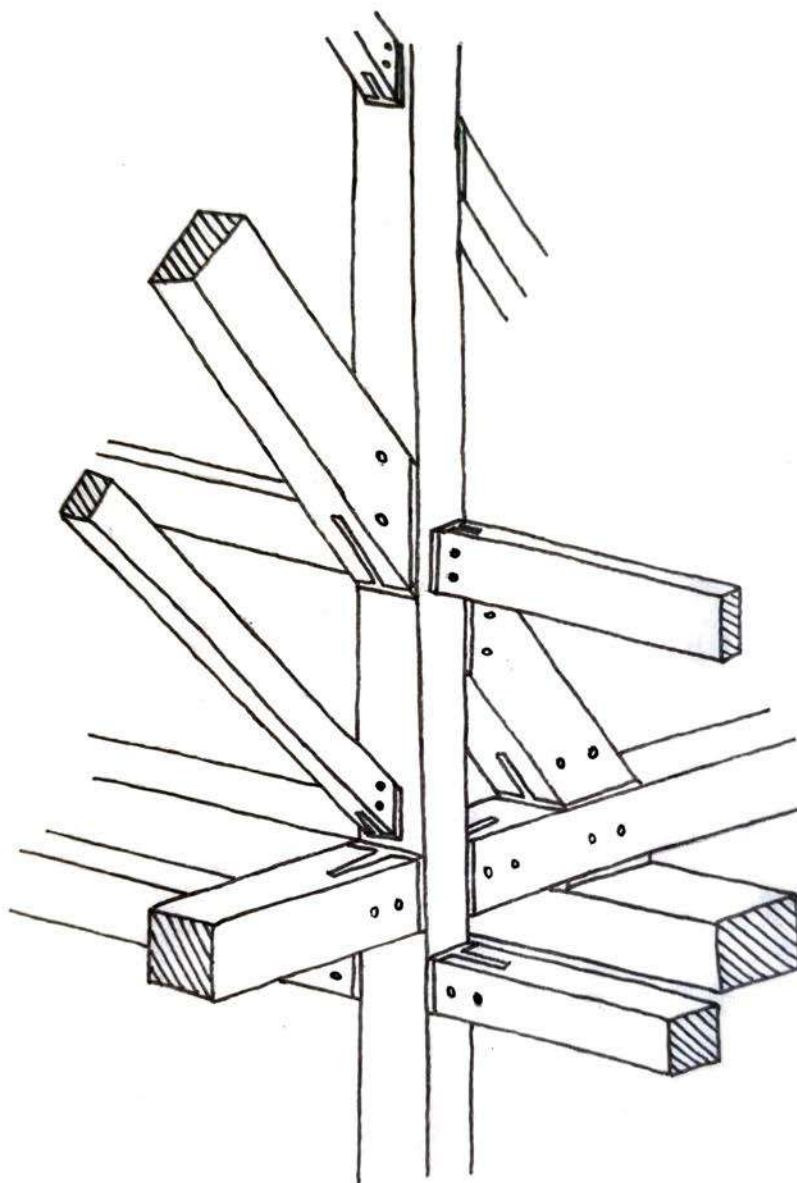
En cuanto a la ejecución de los nudos, parece lo más acertado sustituir las uniones tradicionales por uniones mecánicas, con la intervención de herrajes metálicos. La decisión acerca de si es más conveniente para la estructura el empleo de herrajes ocultos o vistos requiere de un análisis exhaustivo del correcto funcionamiento de la estructura y la transmisión de las cargas. No obstante, en cuanto a la ejecución y la producción esto no influye en exceso.

*Imagen 35: Detalle nudo zona coro*

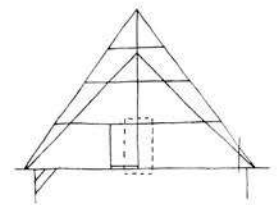


*Imagen 36: Detalle nudo zona nave*





*Imagen 37: Detalle nudo  
zona nave*



En ambos casos la dificultad y el nivel de ejecución son bastante similares. A simple vista, puede parecer que los herrajes ocultos suponen un mayor grado de dificultad, y es así en cierta medida. La realidad es que, al contrario que los herrajes vistos, los ocultos modifican ligeramente la sección, al tener que ensamblarse en ellas. Esto hace imprescindible que, en las etapas de diseño, se prevea su localización exacta en la estructura, así como su forma y dimensiones, de cara a que en el proceso de fabricación se tengan en cuenta los huecos destinados a albergar el ensamblaje.

Todo este proceso, al llevarse a cabo de una manera industrializada en las fábricas, no solo asegura un gran nivel de precisión, sino que no genera ninguno tipo de dificultad extra respecto a los herrajes vistos, los cuales no modifican la sección de las piezas.

Por lo tanto, si se llevan a cabo los trabajos de manera exhaustiva y cuidadosamente, como es lo esperado en este caso, la solución empleada en términos de eficacia no varía demasiado.

Se plantea, por lo tanto, una de las posibles opciones en cuanto al desarrollo de los nudos, teniendo siempre presente que otro tipo de herrajes tendrán el mismo desarrollo y las mismas implicaciones atendiendo únicamente al análisis que se está realizando.

Parece lógico que, debido a la importancia que se le da a la estética de la armadura de cubierta original, se busque una solución que logre ese mismo cometido, salvando siempre las distancias, y es por esto por lo que se han analizado los marcos planteando el empleo de herrajes ocultos, obteniendo de esta manera un resultado limpio y sencillo, debido en parte al hecho de que las uniones presentan una menor cantidad de elementos.

Con el planteamiento de la utilización de herrajes ocultos sería necesario tener en cuenta si sería preciso determinar si se trata de herrajes estándar o singulares. A pesar de que la estructura es reconocida por su singularidad, al simplificarla con el uso de madera laminada, se asimila notoriamente a una cercha, por lo que sus uniones no son excesivamente lejanas a las estandarizadas en este tipo de estructuras, procediendo, por lo tanto, con el uso de herrajes normalizados.

## MONTAJE Y TRANSPORTE

Mecanizar el sistema de producción, implica, por defecto, una mayor eficacia y agilización de todo el proceso de fabricación, lo que incluye el montaje. Las dimensiones, como ya se ha comentado en el análisis previo, no permiten un total montado en fábrica y posterior traslado hasta la catedral, para su colocación final en obra.

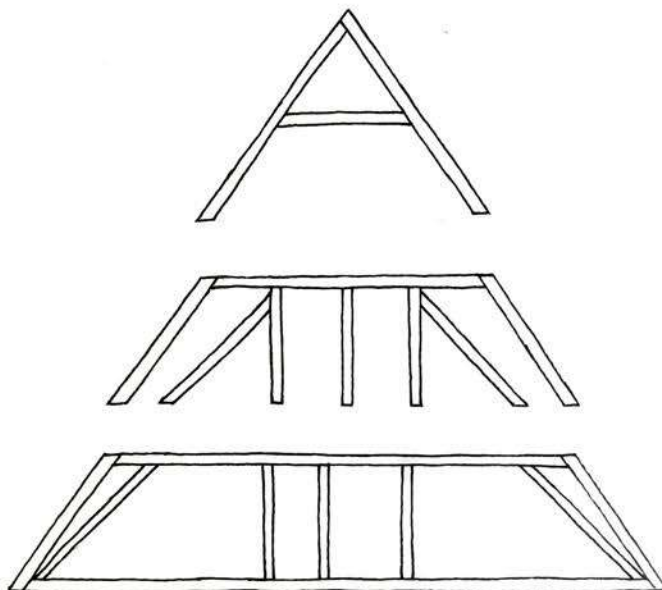
Sería una opción a tener en cuenta diseñar y calcular la estructura de tal manera que se pudiese “dividir” en dos grandes piezas, lo que permitiría su traslado más óptimo. Esto aseguraría una mayor calidad en la ejecución y dejaría menos espacio para el error, más probable en el montaje en obra.

Sin embargo, entendiendo todos los factores que influyen, podría no llegar a ser la mejor solución. Sería necesario tenerlo en cuenta desde un principio, en las etapas iniciales de los trabajos, puesto que en los cálculos de la estructura influirían notablemente la posición de las uniones, y el hecho de ciertas piezas no sean continuas, sino que están divididas a la mitad o incluso en tres partes, afectaría de manera notoria en la resistencia de la estructura.

Teniendo esto en cuenta, se opta por plantear la estructura original, sin hacer ningún tipo de modificación de cara a facilitar el transporte, ya que, a simple vista, sin realmente estudiar esta vía, no parece una opción remunerada.

El montaje de los marcos, por su parte, no supone ningún desafío extra. Las uniones, como ya se ha analizado, son de igual manera bastante sencillas de ejecutar, por lo que todo el proceso de montaje no plantea una gran dificultad, y se puede suponer un nivel de ejecución bastante alto, aunque siempre inferior que si se desarrollara en fábrica.

Para la colocación en obra es de vital importancia una estructura auxiliar, un sistema de andamiaje alrededor, que haga posible y facilite todos los trabajos de acople de la cubierta a la estructura existente, haciendo posible la presencia de los trabajadores en ese punto crucial para que puedan acometer la unión entre ambas estructuras.



*Imagen 38: Posible subdivisión de la estructura para el transporte*

## COMPARATIVA

La decisión de restaurar la catedral a su estado previo al incendio se basó en una gran variedad de aspectos y matices, imposibles de tener en cuenta en un análisis de este calibre.

Teniendo esto presente, se lleva a cabo una comparativa entre los dos análisis realizados, no tanto con la intención de llegar a una conclusión respecto a cuál es mejor de los dos, sino para entender qué elementos y factores aporta cada uno de ellos, así como las partes menos acertadas, también presentes, de cara a poder tener una opinión crítica de ambas alternativas.

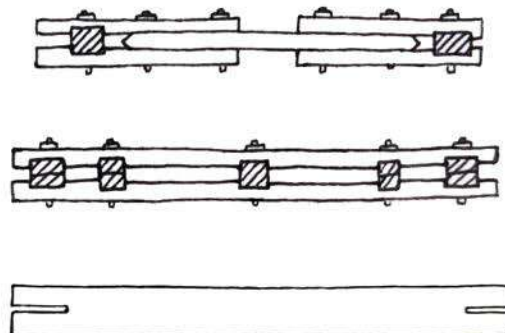
Existe una clara diferencia entre una obra realizada de forma tradicional y una realizada con técnicas industriales, ya que la madera escuadrada con hacha es más sólida y estable que la madera laminada aserrada. De esta forma, no se deforma durante el secado, la madera es menos costosa porque se adapta al corte y los residuos son mínimos, además de resultar más atractivo por el respeto a la forma natural del tronco.

El uso de madera laminada, por su parte, ayuda a optimizar la utilización de material, no solo porque permite generar piezas con un mayor abanico de dimensiones, sino que disminuye el impacto negativo que puede llegar a ocasionar la presencia de los nudos característicos de la madera natural, generando una menor cantidad de residuos materiales.

Por otro lado, el uso de las técnicas actuales no solo ayuda a simplificar los nudos, sino que permite el uso de una menor cantidad de madera, al emplear herrajes metálicos para las uniones en lugar de elementos auxiliares de madera.

Sin embargo, estos nudos generan una falta de continuidad en las piezas que sí se consigue en la estructura original, al plantear nudos pasantes. Sería necesario, por lo tanto, entender que implicación tiene esto en el funcionamiento de la estructura y la transmisión de las cargas.

Imagen 39: Comparativa sección de las piezas



La mecanización del proceso, con el uso de todas las técnicas y maquinarias a disposición, en contraposición a la necesidad de hacer cada pieza de manera individual y exclusiva, aporta el factor del tiempo, el cual es, sin dudar, un aspecto de peso a tener en cuenta en este caso, dadas las circunstancias excepcionales que lo rodean.

Suponen, por lo tanto, un aspecto decisivo, los conocimientos previos de la estructura. La estructura tradicional llevaba en pie varios siglos antes de ser destruida por el incendio, además de ser infinitamente estudiada, por lo que existe una total confianza en su funcionamiento y en las técnicas que se emplearon para su construcción, pues han perdurado todo este tiempo y solo han perdido la batalla contra el fuego.

Por el contrario, todos los cambios que implican las técnicas actuales tendrían que ser revisados y analizados en un estudio detallado para ver su viabilidad y adecuación, atrasando todo el proceso de restauración.

Sería necesario estudiar el comportamiento de la madera laminada, así como la viabilidad de los distintos nudos y herrajes planteados, asegurando un funcionamiento global de toda la estructura y una correcta transmisión de todas las cargas. No solo es importante el funcionamiento en sí de la nueva estructura, sino sería clave asegurar que la transmisión de las cargas a los muros exteriores se lleve a cabo de la misma manera que la estructura previa al incendio, al ser un punto clave en las estructuras góticas.

Está claro que no es una cuestión inmediata ni remotamente evidente cuál de las dos estrategias es más conveniente en este caso. Es por esto que en la decisión final no se tuvo en cuenta únicamente los aspectos técnicos y prácticos, entrando en juego aspectos sociales y económicos que no son tan fáciles de calificar.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Una vez concluido el análisis, y entendiendo la limitación de este a un único factor como son las técnicas, se plantea una posible línea de investigación para continuar con el estudio desarrollado.

El análisis llevado a cabo se ha limitado a tener en cuenta principalmente variantes relacionadas con la eficacia del proceso y las técnicas, dada la limitación de tiempo, sin entrar a detallar la importancia y optimización de la forma en sí misma. Sería interesante, por lo tanto, llevar a cabo una investigación más detallada que sea capaz de introducir variables como la eficacia de la estructura y su forma, complementando así todo lo analizado en este presente trabajo. Es por esto que se plantea como una posible vía de desarrollo la optimización topológica como medio de generación de soluciones para el desarrollo de la estructura de cubierta.

Esta técnica es un método de optimización de la forma que usa modelos algorítmicos para optimizar el rendimiento y la eficiencia del diseño eliminando el material sobrante de las zonas que no necesitan soportar cargas considerables o resolviendo desafíos de diseño.

De esta manera, introduciendo este recurso en el proceso de desarrollo de los trabajos de restauración, se podría contemplar desde las etapas iniciales la idoneidad de los materiales, así como su adaptación a las técnicas de fabricación más adecuadas en este caso. Esto aportaría una nueva solución incorporando el factor de la forma, muy necesario y clave en una estructura de este calibre.



---

## CONCLUSIONES

Pasados 5 años desde el incendio, y a tan solo unos meses de reabrir, parece que las aguas respecto a las decisiones tomadas sobre la restauración de la catedral de Notre Dame se han calmado. Quizás no tanto porque los expertos hayan cambiado de opinión, sino más bien porque, una vez iniciados los trabajos, no había vuelta atrás.

La decisión finalmente tomada se basó principalmente en recuperar la imagen de la catedral previa al incendio, utilizando para ello las técnicas originales. Se descartó, así, la oportunidad de mostrar y dejar constancia del impacto que supuso el incendio para la catedral, como sí que se hizo en restauraciones anteriores, donde en ningún momento se buscó eliminar la historia de la catedral.

Esta decisión, aunque no exenta de polémica, la encuentro bastante justificada y coherente. Está claro que en una situación tan compleja como lo es la restauración de la catedral de Notre Dame de París, no existe la solución ideal, puesto que existen diversos matices y aspectos que condicionan todas y cada una de las opciones. El gobierno francés optó, quizás, por la solución más fácil y práctica, no sólo desde un punto de vista técnico, con la seguridad que aporta lo conocido, sino por la figura que supone la catedral, icono social.

Si bien es cierto que los expertos pueden tener argumentos en contra de la restauración a imagen de lo existente previo al incendio, o más bien, a favor de otro tipo de restauración, la realidad es que la sociedad no cuenta con los suficientes conocimientos técnicos como para hacer un juicio de valor al respecto. Para ellos, la catedral es un símbolo inamovible, y la gran mayoría de la sociedad no hubiese entendido otra opción que no fuese la que finalmente fue tomada.

Es por esto que, con este Trabajo de Fin de Grado, se busca aportar ciertos conocimientos técnicos que ayuden a entender de forma general las implicaciones técnicas que implica la solución aportada, así como comprender qué repercusiones tendrían otro tipo de soluciones, principalmente desde un punto de vista técnico y de eficiencia.

Realizado el análisis, queda en evidencia, aún más si cabe, la dificultad en cuanto a la toma de decisiones para abordar los trabajos. Ambas soluciones analizadas, e incluso las que no se han contemplado en los análisis, presentan virtudes y perjuicios a partes iguales, con la intervención de diversos matices.

Es imposible establecer una como la más adecuada, simplemente es importante entender a qué aspectos se le están dando prioridad en la restauración, y está claro que, en este caso particular, la historia y el simbolismo de un monumento como lo es la catedral de Notre Dame han sido prioritarios por encima del resto.



---

## FUENTES

### BIBLIOGRAFÍA

- ERLANDE-BRANDENBURG, Alain. *Notre-Dame de París*; París: Éditions de la Martinière, 1997. Versión inglesa consultada: *Notre-Dame de París*; Nueva York: Harry N. Abrams, INC.; 1998; 256 páginas. Traducción de John Goodman.
- DE ÁLVARO CASADO, ANDREA (2022). *Intervención en edificios históricos. La restauración de Notre Dame*. TFG. Universidad Politécnica de Madrid
- GAUSSUIN, B. *Eugène Viollet-le-Duc: una obra entre la restauración y la creación*; Bogotá. 2017; 70 páginas.
- LAGE FOJO, Laura (2020). *La recuperación de Notre-Dame. Patrimonio colectivo y controversia*. TFG. Universidad Politécnica de Madrid
- LASSUS, Jean-Baptiste Antoine y Viollet-le-Duc, Eugène-Emmanuel. *Project de restauration de Notre-Dame de Paris*; París: Mme de Lacombe, 1843. Versión digital: *Project de restauration de Notre-Dame de Paris*. Proyecto de Gutenberg EBook. 2006.
- VIOLLET-LE-DUC, Eugène. *Cuaderno de notas. Restauración (Del Diccionario Razonado de la Arquitectura)*; Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1995; 22 páginas.

## ARTÍCULOS

AD EDITORIAL TEAM. *Incendio masivo en la Catedral de Notre Dame: estructura principal “salvada y preservada”*. Traducción de Fabian Dejtiar. ArchDaily (01/03/2024)

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/915139/incendio-en-la-catedralde-notre-dame>

BONSAI ARQUITECTOS. *Renovar con madera. Reflexiones en torno a la la reconstrucción de Nôtre Dame*. Madera y construcción (05/05/2024)

<https://maderayconstruccion.com/renovar-con-madera-reflexiones-en-torno-a-la-reconstruccion-de-notre-dame/>

COLLIVA, Claudia. *Así ha sido la restauración de US \$760 millones de la catedral de Notre Dame en París*. CNN (30/04/2024)

<https://cnnespanol.cnn.com/2023/12/24/restauracion-millones-catedral-notre-dame-trax/>

CRESPO GARAY, Cristina. *La catedral de Notre Dame: 800 años de historia arden en París*. Historia National Geographic (01/03/2024)

<https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/04/la-catedral-de-notre-dame-800-anos-de-historia-arden-en-paris>

DEL CORTE, Daniela. *¿Cómo será Notre Dame después del incendio?* Arquitectura y diseño (10/04/2024)

<https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/como-sera-reconstruccion-notre-dame-tras-incendio/22628>

ÉPAUD, Frédéric. *El marco de Notre-Dame: poner fin a los estereotipos*. CNRS News (05/05/2024)

<https://news.cnr.fr/opinions/the-framework-of-notre-dame-putting-an-end-to-stereotypes>

FROMONT, Rémi y TRENTESAUX, Cédric. *Le relevé des charpentes médiévales de la cathédrale Notre-Dame de Paris: approches pour une nouvelle lecture*. Monumental, 2016, págs 70-76.

GÓMEZ, Juanje, AZPURUA, Ana Elena y VERDE, Amaya. *Paso a paso, así devoraron las llamas la catedral de Notre Dame de París*. Univision Noticias (01/03/2024)

<https://www.univision.com/noticias/mundo/paso-a-paso-asi-devoraron-las-llamas-la-catedral-de-notre-dame-de-paris>

LOUIS, Lisa. *Reconstrucción de Norte Dame crea polémica*. DW (31/03/2024)

<https://www.dw.com/es/reconstrucción-de-notre-dame-crea-polémica/a-57205550>

- MONTIEL ÁLVAREZ, Teresa. *John Ruskin vs Viollet le Duc. Conservación vs Restauración*. ArtyHum. Revista digital de Artes y Humanidades, vol. 3, 2014, págs 151-160.
- PATRICK WALSH, Niall. *Notre-Dame debe ser restaurada exactamente a su estado original, declara el Senado francés*. Traducción de Mónica Arellano. ArchDaily (02/03/2024)  
<https://www.archdaily.cl/cl/918108/notre-dame-debe-ser-restaurada-exactamente-a-su-estado-original-declara-el-senado-frances>
- PATRICK WALSH, Niall. *Sobre el incendio de la catedral de Notre-Dame: ¿qué sucedió y qué sigue?* Traducción de Mónica Arellano. ArchDaily (01/03/2024)  
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/915267/sobre-el-incendio-de-la-catedral-de-notre-dame-que-sucedio-y-que-sigue>
- ROJAS ÁNGEL, César. *Francia anuncia concurso internacional para reconstruir la aguja de la Catedral de Notre Dame*. France 24 (05/05/2024)  
<https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/04/la-catedral-de-notre-dame-800-anos-de-historia-arden-en-paris>
- ROMERO, Alejandro. *Balance de daños de Notre Dame*. El País (05/03/2024)  
<https://elpais.com/especiales/2019/incendio-notre-dame/desperfectos/>
- VANNUCCI, Paolo. *Un estudio sobre el funcionamiento estructural de la antigua charpente de Notre-Dame, con una perspectiva histórica*. Revista de Patrimonio Cultural , 49, 2021, págs 123-139.

## PÁGINAS WEB

Albanécar. *La Forêt de Notre Dame*. (30/04/2024)

<https://www.albanecar.es/la-foret-de-notre-dame/>

Formlabs. *Nociones básicas de optimización topológica: Cómo usar modelos algorítmicos para crear un diseño ligero*. (25/05/2024)

<https://formlabs.com/es/blog/optimizacion-topologica/>

Historia National Geographic. *National Geographic estrena el documental Notre Dame: La increíble carrera contra el infierno*. (01/03/2024)

<https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/08/national-geographic-estrena-el-documental-notre-dame-la-increible-carrera-contra-el-infierno>

Ministère de la culture. *El astillero de Notre-Dame de París*. (05/05/2024)

<https://www.culture.gouv.fr/es/Tematicos/Ciencias-del-patrimonio/Tematicas-de-investigacion/El-astillero-de-Notre-Dame-de-Paris>

Multimedios génesis. *El increíble trabajo de restauración de la catedral de Notre Dame en París*. (08/05/2024)

<https://multimediosgenesis.com.ar/contenido/43673/el-increible-trabajo-de-restauracion-de-la-catedral-de-notre-dame-en-paris>

Notre Dame de París. *La arquitectura de la catedral*. (05/03/2024)

<https://www.notredamedeparis.fr/>

Numérique & Patrimoine. *Restituer la Forêt de Notre-Dame de Paris*. (05/05/2024)

[https://home.mis.u-picardie.fr/~mouaddib/SFR\\_JE\\_17\\_11\\_2022/2022\\_11\\_17\\_JacquotK\\_RestituerLaForetdeNotreDamedeParis.pdf](https://home.mis.u-picardie.fr/~mouaddib/SFR_JE_17_11_2022/2022_11_17_JacquotK_RestituerLaForetdeNotreDamedeParis.pdf)

---

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

### Imagen 1: La catedral de Notre Dame de París

[https://www.abc.es/internacional/abci-envia-foto-comparte-nosotros-recuerdo-notre-dame-paris-201904161319\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/internacional/abci-envia-foto-comparte-nosotros-recuerdo-notre-dame-paris-201904161319_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

### Imagen 2: Catedral de Saint Denis

[https://aminoapps.com/c/historiadelarte/page/item/basilica-de-saintdenis/PJpx\\_4RPf3IdzdGZRpYxkRMKrmqEVkzloY](https://aminoapps.com/c/historiadelarte/page/item/basilica-de-saintdenis/PJpx_4RPf3IdzdGZRpYxkRMKrmqEVkzloY)

### Imagen 3: Configuración Île de la Cité, siglo XIII

Fotografía obtenida del libro “ Notre Dame de París”, Alain Erlande-Brandenburg

### Imagen 4: Ilustración de Jean Fouquet, libro “ The hours of Étienne Chevalier”

FOUQUET, Jean. Ilustración. Fotografía obtenida de la pág.44 del libro “ Notre Dame de París”, Alain Erlande-Brandenburg

### Imagen 5: Notre Dame de París, 1920.

<https://www.nationalgeographic.es/photography/2019/04/fotos-de-archivo-de-notre-dame>

### Imagen 6: Catedral de Notre Dame sin su aguja, 1847

Fotografía obtenida de la pág.222 del libro “ Notre Dame de París”, Alain Erlande-Brandenburg

### Imagen 7: Llegada de Napoleón a Notre Dame de París para su coronación

<https://www.worldhistory.org/trans/es/2-2251/coronacion-de-napoleon-i/>

### Imagen 8: Restauración de la catedral de Notre Dame por Viollet-le-Duc

<https://archimaps.tumblr.com/post/175962138357/viollet-le-duc-srestoration-project-for-notre>

### Imagen 9: Dibujos de la aguja de Viollet-le-Duc, 1857

<https://elbarroquista.com/2019/04/18/notredame2019/>

### Imagen 10: Dibujos de la aguja de Viollet-le-Duc, 1857

Fotografía obtenida de la pág.223 del libro “ Notre Dame de París”, Alain Erlande-Brandenburg

### Imagen 11: Catedral de Notre Dame en llamas, 2019

[https://www.lespanol.com/cultura/patrimonio/20200415/decision-salvo-notre-dame-derrumbe-incendio-devoro-catedral/482453031\\_o.html](https://www.lespanol.com/cultura/patrimonio/20200415/decision-salvo-notre-dame-derrumbe-incendio-devoro-catedral/482453031_o.html)

**Imagen 12: Colapso de la cubierta durante el incendio, 2019**

<https://culturainquieta.com/arte/arquitectura/las-entranas-de-notre-dame-en-paris-18-meses-despues-del-devastador-incendio/>

**Imagen 13: Colapso de la aguja durante el incendio, 2019**

<https://www.nytimes.com/es/2019/04/15/espanol/notre-dame-incendio.html>

**Imagen 14: Estatuas de cobre salvadas del incendio**

<https://elpais.com/especiales/2019/incendio-notre-dame/desperfectos/>

**Imagen 15: Derrumbe de la bóveda del crucero, 2019**

<https://elpais.com/especiales/2019/incendio-notre-dame/desperfectos/>

**Imagen 16: Mays en el interior de Notre Dame, siglo XVII**

<https://www.lefigaro.fr/culture/les-tresors-inconnus-de-notre-dame-de-paris-20210521>

**Imagen 17: Estado de los rosetones tras el incendio, 2019**

<https://elpais.com/especiales/2019/incendio-notre-dame/desperfectos/>

**Imagen 18: Propuesta Vincent Callebaut Architectures**

[https://vincent.callebaut.org/object/190503\\_tributetonotredame/tributetonotredame/projects](https://vincent.callebaut.org/object/190503_tributetonotredame/tributetonotredame/projects)

**Imagen 19: Trabajos en el interior de la catedral**

<https://www.dw.com/es/el-futuro-de-la-catedral-de-notre-dame-es-incierto/a-49336409>

**Imagen 20: Trabajos de restauración en la cubierta**

<https://www.sandiegouniontribune.com/en-espanol/noticias/story/2020-06-08/reanudan-labores-de-restauracion-en-la-catedral-notre-dame>

**Imagen 21. Estructura de madera de la cubierta de Notre Dame**

<https://designboom.es/arquitectura/finalmente-se-instala-la-ajua-de-notre-dame-un-ano-antes-de-la-inauguracion-prevista-de-la-catedral-13-12-2023/>

**Imagen 22: Cubierta catedral de Notre-Dame de Paris, el «Bosque»**

<https://maderaestructural.wordpress.com/2020/01/11/el-armazon-de-madera-de-notre-dame-sera-reconstruido-de-manera-identica-a-la-original/>

**Imagen 23: Cubierta catedral de Notre-Dame de Paris**

<https://www.albanecar.es/la-foret-de-notre-dame/>

**Imagen 24: Zonas cubierta Notre Dame de Paris**

Elaboración propia

**Imagen 25: Sistema estructural cubierta Notre Dame de Paris**

Elaboración propia

**Imagen 26: Estructura del coro**

Elaboración propia. A partir de:  
Le relevé des charpentes médiévales de la cathédrale  
Notre-Dame de Paris: approches pour une nouvelle lecture.  
Rémi Fromont y Cédric Trentesaux. Monumental, 2016.  
PAG 70-76

**Imagen 27: Estructura de la nave**

Elaboración propia. A partir de:  
Le relevé des charpentes médiévales de la cathédrale  
Notre-Dame de Paris: approches pour une nouvelle lecture.  
Rémi Fromont y Cédric Trentesaux. Monumental, 2016.  
PAG 70-76

**Imagen 28: Detalle nudo zona coro**

Elaboración propia. A partir de:  
Numérique & Patrimoine. Restituer la Forêt de Notre-Dame de  
Paris.

**Imagen 29: Detalle nudo zona nave**

Elaboración propia. A partir de:  
Le relevé des charpentes médiévales de la cathédrale  
Notre-Dame de Paris: approches pour une nouvelle lecture.  
Rémi Fromont y Cédric Trentesaux. Monumental, 2016.  
PAG 70-76

**Imagen 30: Detalle nudo zona coro**

Elaboración propia. A partir de:  
Numérique & Patrimoine. Restituer la Forêt de Notre-Dame de  
Paris.

**Imagen 31: Detalle nudo zona nave**

Elaboración propia. A partir de:  
Le relevé des charpentes médiévales de la cathédrale  
Notre-Dame de Paris: approches pour une nouvelle lecture.  
Rémi Fromont y Cédric Trentesaux. Monumental, 2016.  
PAG 70-76

**Imagen 32 : Estructura metálica del techo de la catedral de Chartres**

<https://arquine.com/reconstruction-e-invencion/>

Imagen 33: Marco de la nave con madera laminada y herrajes ocultos

Elaboración propia

Imagen 34: Marco del coro con madera laminada y herrajes ocultos

Elaboración propia

Imagen 35: Detalle nudo zona coro

Elaboración propia

Imagen 36: Detalle nudo zona nave

Elaboración propia

Imagen 37: Detalle nudo zona nave

Elaboración propia

Imagen 38: Posible subdivisión de la estructura para el transporte

Elaboración propia

Imagen 39: Comparativa sección de las piezas

Elaboración propia



