

SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES

Francisco J. Sanchis Sampedro * Rafael J. Ligorit Tomás

ÁRBOLES DEL MUSEO PRÍNCIPE FELIPE

Valencia 2011 - 2012

Ángel Pascual Carrión Piles



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ



ÍNDICE

00. INTRODUCCIÓN	07
01. SUPERFICIE A ANALIZAR	09
02. DOCUMENTACIÓN DE LA SUPERFICIE	15
03. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO	25
04. ANÁLISIS GEOMÉTRICO	31
05. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	37
06. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	45
07. CONCLUSIONES	73
08. BIBLIOGRAFÍA	77

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto ha surgido del taller Superficies Arquitectónicas Singulares impartido en la Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Edificación por los tutores Rafael J. Ligorit Tomás y Francisco Sanchis Sampedro. El título del proyecto "Árboles del Museo Príncipe Felipe", explica desde diferentes análisis el contenido de los pilares del museo.

Los cinco pilares que se van a analizar a continuación son un ejemplo de la combinación de diferentes aspectos arquitectónicos en un mismo elemento.



01. SUPERFICIE A ANALIZAR



Ilustración 1.1. Vista exterior desde el sur-oeste del Museo Príncipe Felipe.

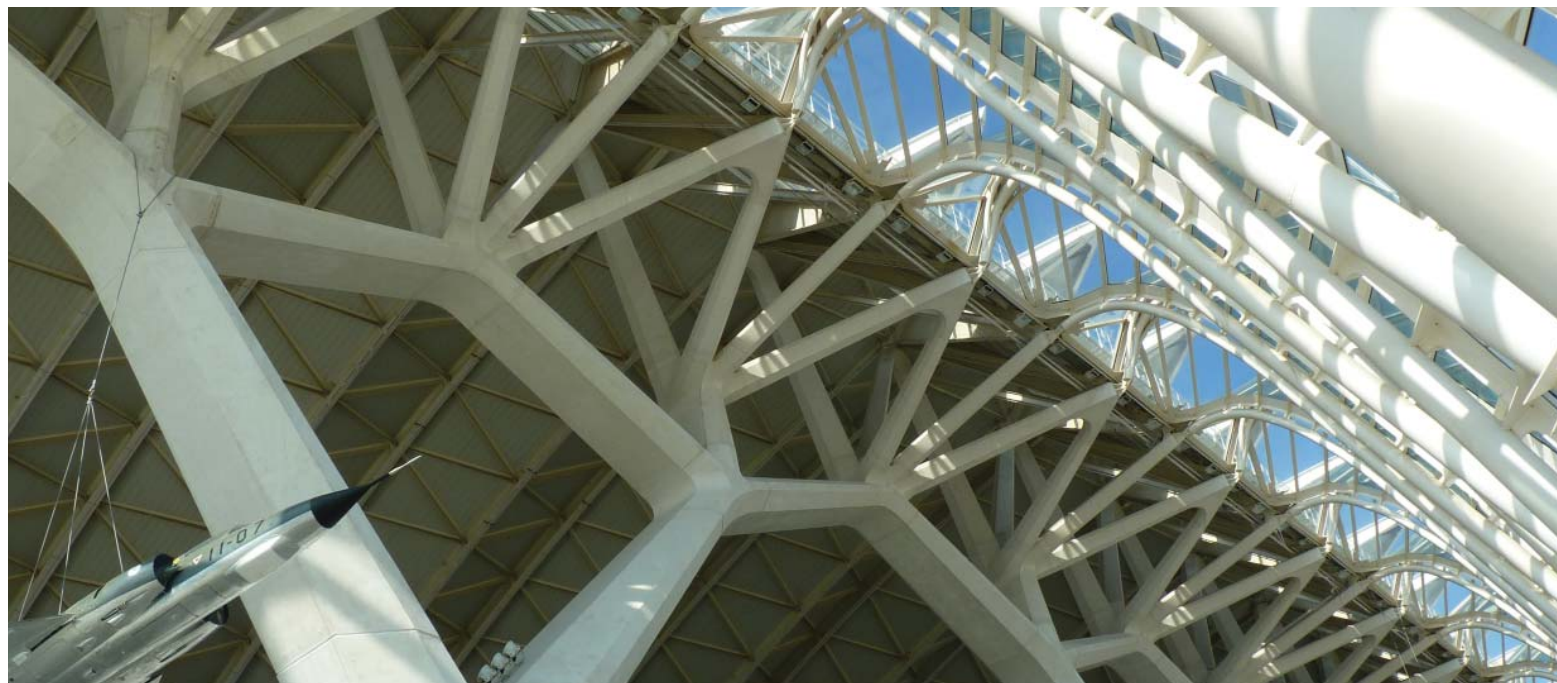


Ilustración 1.2. Vista a la ramificación de los árboles desde el interior del Museo Príncipe Felipe .

El imponente edificio de Santiago Calatrava alberga numerosos espacios expositivos de grandes dimensiones sobre los principales dominios de la ciencia.

Visto desde fuera, semeja el esqueleto de un dinosaurio descomunal acostado sobre un charco de aguas cristalinas. Otros han comparado la imponentia del edificio que Santiago Calatrava diseñó para albergar el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia con una catedral futurista del saber. Pero cuando uno penetra en su interior se da cuenta de que la analogía del dinosaurio es más verosímil. En el Museo de las Ciencias de Valencia reina el alboroto. No podría ser de otra manera; el lema del centro lo deja bien claro: prohibido no tocar, no sentir y no pensar.

A la manera de los grandes pabellones de las grandes exposiciones históricas, se genera un edificio longitudinal a partir del desarrollo modular de su sección transversal en toda la longitud de la parcela asignada. Los testeros, asumen su carácter de remate final del edificio de modo simétrico, con una imagen tensional, de sujeción de los distintos módulos repetidos a la manera de contrafuertes laterales.

Así el edificio se configura como una gran cubierta soportada por una fachada vidriada y transparente al norte y por una fachada sur convenientemente opaca, ambas adaptadas a las particulares condiciones de soleamiento derivadas de la orientación en Valencia.

La estructura interna del edificio, que exteriormente se constituye como una gran cubierta, se dispone como un espectacular juego de plataformas suspendidas de un sistema estructural configurado por cinco grandes árboles de hormigón, cuyas ramificaciones sujetan la cubrición del edificio.

Los árboles son una de las piezas arquitectónicas que caracterizan al museo, denominados de este modo por estar compuestos por un tronco principal que se ramifica en dos direcciones. Tanto el tronco como sus ramas principales, son huecos y se han construido anteriormente en hormigón estructural (H-300) blanco y visto, montándolos en obra. Situados en el interior del museo son el núcleo de comunicación vertical de las instalaciones y de circulación de personas, aparte de actuar de apoyo de un extremo de la cubierta y de la parte superior de la fachada norte.

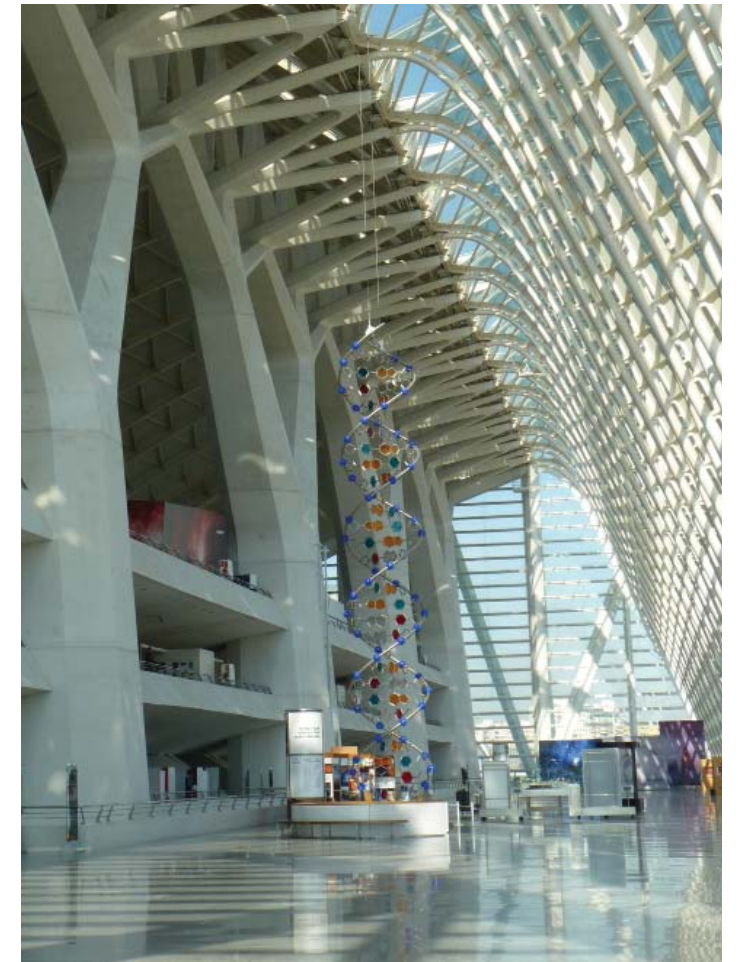


Ilustración 1.3. Vista interior del Museo Príncipe Felipe.

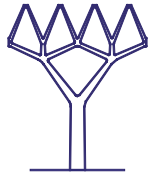


Ilustración 1.4. Vista aérea de parte de la Ciudad de Valencia.



Ilustración 1.5. Vista aérea de la Ciudad de las Artes y las Ciencias.



Ilustración 1.6. Vista aérea del Museo Príncipe Felipe.



Ilustración 1.7. Vista exterior desde el nordeste del Museo Príncipe Felipe.

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE LA SUPERFICIE

01. Por ser un elemento estructural importante

Las cinco columnas centrales, son un elemento estructural importante ya que forman el apoyo de la cubierta y la fachada norte, por lo que soportan una considerable carga. Su forma arbolada nos muestra la adaptación de la sección de sus ramas a los esfuerzos de momento y cortante. Conforme las ramas se van uniendo y acercando al tronco, van creciendo en sección.

02. Las múltiples funciones que desempeña

Las funciones que desempeñan los pilares son:

- Elemento resistente (descrito en el apartado anterior).
- Núcleo de comunicación vertical, ya que por ellos pasan las instalaciones y la circulación de personas, a través de ascensores y escaleras embebidos en el fuste de la columna.
- La estructura de la columna se muestra al público del museo sin ningún revestimiento, por lo que podemos decir que también es parte de la escultura que conforma el edificio.

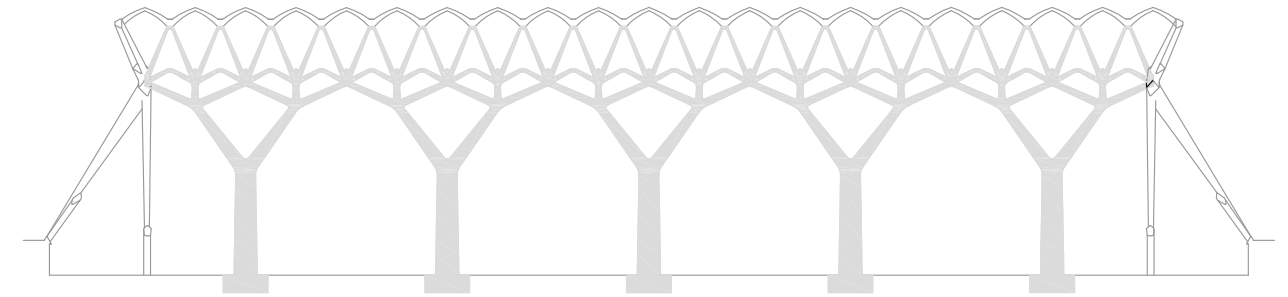


Ilustración 1.8. Esquema estructural de los pilares arbolados.



Ilustración 1.9. y 1.10. Accesos a la comunicación vertical del museo, mediante ascensores o escaleras embebidos en las columnas.



Ilustración 1.11. Foto interior de la Catedral de la Sagrada Familia de Barcelona.



Ilustración 1.12. Foto interior de la Lonja de Valencia.



Ilustración 1.13. Nudo ramificado del árbol.

03. La historia y los elementos que le preceden en forma

En el estilo gótico ya se veía la afinidad de las columnas con los árboles, como se puede mostrar en la lonja de Valencia. También otros arquitectos, como Gaudí utilizaron dicha semejanza. La ramificación superior del pilar configura una estructura espacial, que muestra la similitud a la copa de un árbol.

04. Las superficies que se generan

Las superficies que forman el pilar son superficies planas unidas por superficies curvas. Donde la intersección de estas diferentes caras forman aristas con una trayectoria singular. La sección del fuste es poligonal, al igual que la de las ramas.

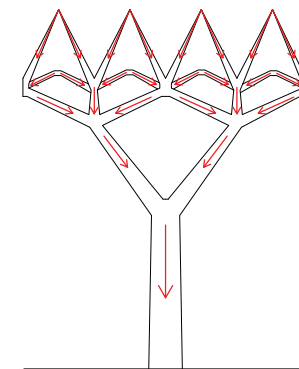


Ilustración 1.14. Sistema de fuerzas.



Ilustración 1.15. Foto del seguimiento de obra del Museo Príncipe Felipe.

05. La forma de trabajo

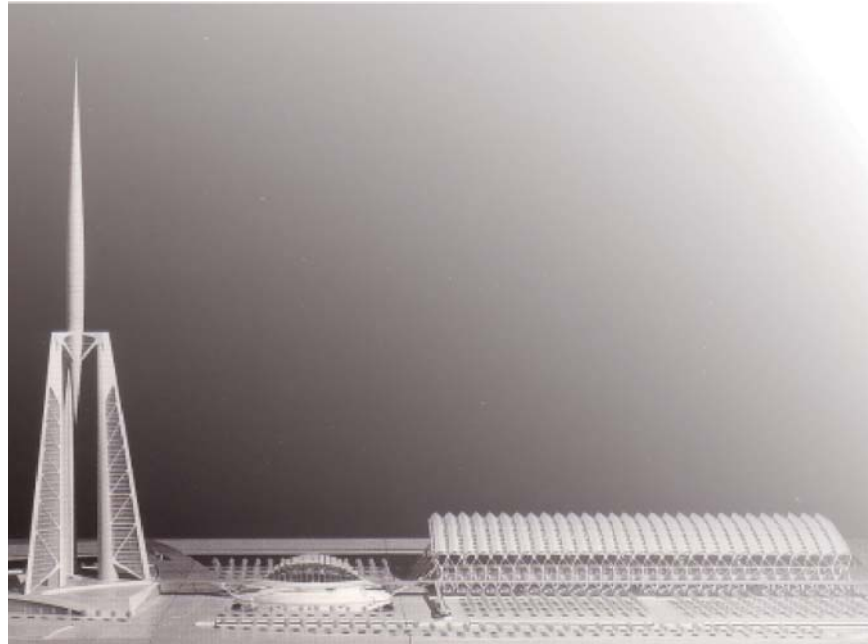
Como en cualquier pilar, por lo general, la función es soportar las cargas superiores, haciéndolo trabajar a compresión. La función de las ramas es recoger las cargas y centrarlas en el fuste del pilar. Las ramas trabajan a flexo-tracción.

06. Proceso constructivo

El método constructivo es de interés por la complejidad de la forma de los pilares, al igual que la combinación de elementos fabricados in situ y elementos prefabricados.



02. DOCUMENTACIÓN DE LA SUPERFICIE



Historia

El proyecto de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia se erige sobre el antiguo cauce del río Turia. El año 1957, se produjo la Gran Riada de Valencia que ocasionó la inundación de gran parte de la ciudad. Años más tarde se desvió el río Turia para impedir nuevas inundaciones por lluvias muy fuertes. Mediante el desvío del río, la ciudad de Valencia ganaba así diez kilómetros de longitud para destinarlos exclusivamente a zonas verdes, parques, zonas de ocio y recreo. El enorme complejo de la Ciudad de las Artes se situó en la periferia, en una zona ligeramente llana y en el margen derecho del tramo final del antiguo cauce del río Turia.

Se trata de uno de los complejos científico-culturales más importantes del mundo europeo, construido por Santiago Calatrava y Félix Candela.

Inicialmente en 1990, Calatrava ganó el concurso promovido por la Generalitat Valenciana para construir en el cauce del río. El proyecto se componía de tres elementos: una torre de telecomunicaciones, el Museo de la Ciencia y el planetario, dispuestos secuencialmente a lo largo de un eje peatonal.

La torre de telecomunicaciones, habría sido el elemento más visible del complejo, gracias a los 327 metros de altura previstos; sin embargo, el cambio de gobierno condujo a la sustitución de la torre en 1996 por un centro de música, el Palau de les Arts, concluido por Calatrava en 2006.

Arquitecto (Santiago Calatrava)

Nacido en 1951 en, Benimamet, Valencia. Desde los 8 años estudió en la Escuela de Bellas Artes donde empezó formalmente su preparación como dibujante y pintor. A los 13 años su familia le envió a París a través de un programa de intercambio estudiantil. De regreso a Valencia, terminó sus estudios escolares en el colegio de las Escuelas Pías, y se matriculó en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, donde se graduó como arquitecto y donde realizó un curso de post-graduado en urbanismo. Posteriormente se trasladó, en 1975, a Zúrich, donde estudió durante cuatro años ingeniería civil en el Instituto Federal de Tecnología, en el cual se graduó con un doctorado en 1979. Finalizada la etapa de estudios, trabajó como profesor auxiliar en el Instituto Federal de Tecnología, donde comenzó a aceptar pequeños encargos y a participar también en concursos de nuevos proyectos.

En 1983 le fue adjudicada su primera obra de cierta importancia, la Estación de Ferrocarril de Stadelhofen, situada junto al centro de Zúrich donde también había establecido su despacho. Al año siguiente, Calatrava diseñó el puente Bac de Roda en Barcelona que fue el primero que empezó a darle cierto reconocimiento internacional. A este seguirían el del Alamillo de Sevilla (1992) y el Puente de 9 d' Octubre en Valencia (1995). En 1989 Calatrava abrió su segundo despacho en París, mientras estaba trabajando en el proyecto de la Estación de Ferrocarril del Aeropuerto de Lyon. Dos años después creó su tercer despacho, esta vez en Valencia, donde trabajaba en un proyecto de grandes dimensiones, la Ciudad de las Artes y de las Ciencias. Hoy se considera a Calatrava como uno de los arquitectos especializados en grandes estructuras. Contrariamente a lo que es habitual en muchos arquitectos, que ocultan las estructuras de sus edificios, Calatrava, como ingeniero que es, las convierte en elementos esenciales en las mismas.

Datos de interés

Promotor: Generalitat Valenciana

Proyecto y Dirección de Obra: Santiago Calatrava S.A.

Gestión de Proyecto y Obra: C.A.C., S.A.; Juan Reig, arquitecto; Octavio Casp, arquitecto técnico; Asistencia técnica a la obra: IMARING, S.L.; Control de Calidad: GIA, S.L.

Colaboradores de Proyecto: Aguilera Ingenieros, S.A.; Martínez Segovia, Fernández Pallás y Asociados, S.A.

Empresa constructora: UTE - MUSEO, FCC - NECSO

Consultoría de Estructuras: IBERINSA

Dirección de obra de instalaciones: I.Z. Ingenieros Consultores S.L.

Dirección Facultativa: SANTIAGO CALATRAVA, S.A.; Adolfo Rodríguez, Manuel Alcaide, arquitectos; Francisco Alabadí, José Alfonso Fernández, aparejadores; Mario Rando, Ingeniero de Caminos.

Superficie Útil del edificio: 37.330 m².

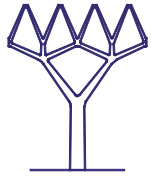
Superficie cristales: 18590 m².

Altura del Edificio: 54 m

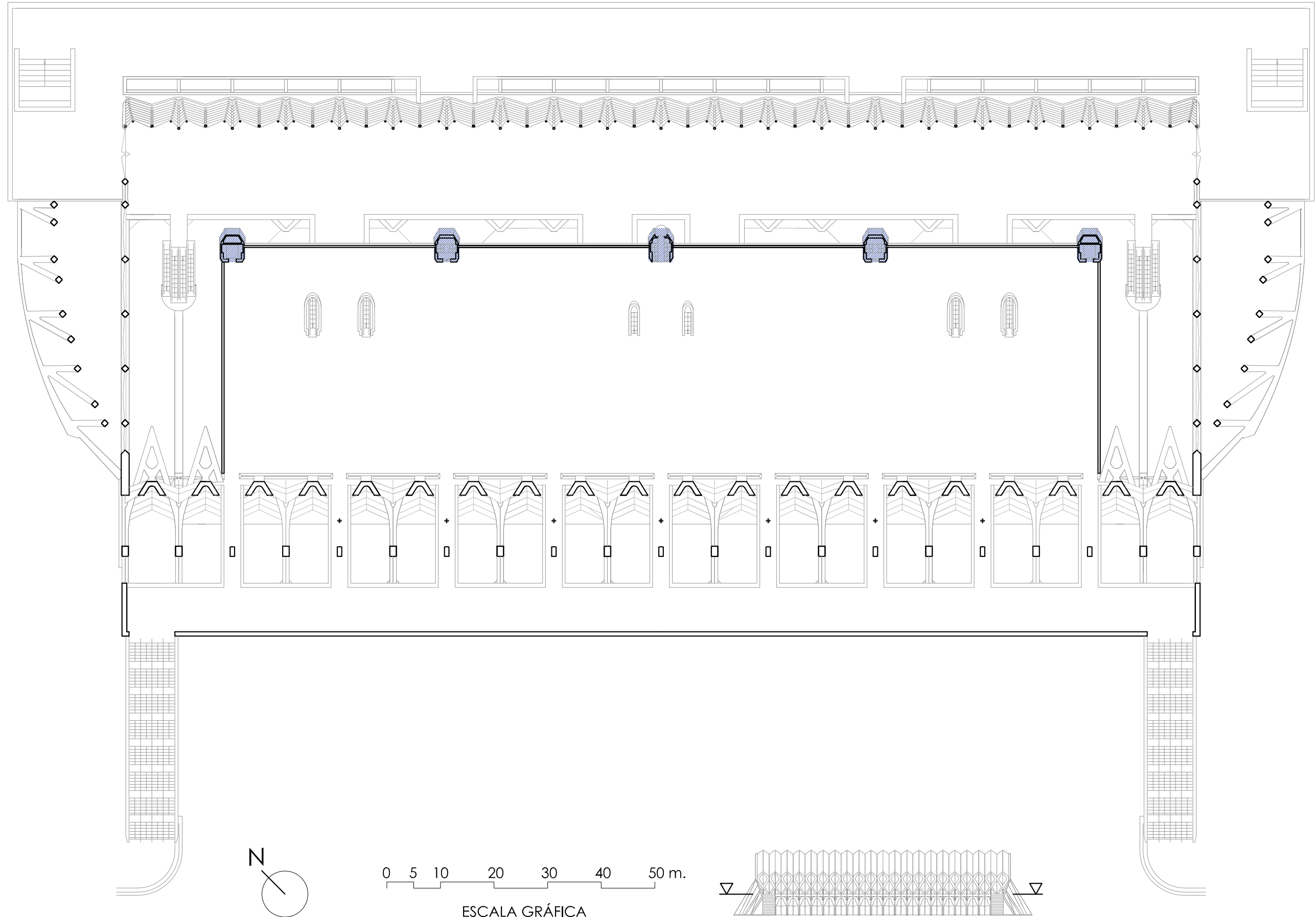
Fecha de Inauguración: 13/11/2000

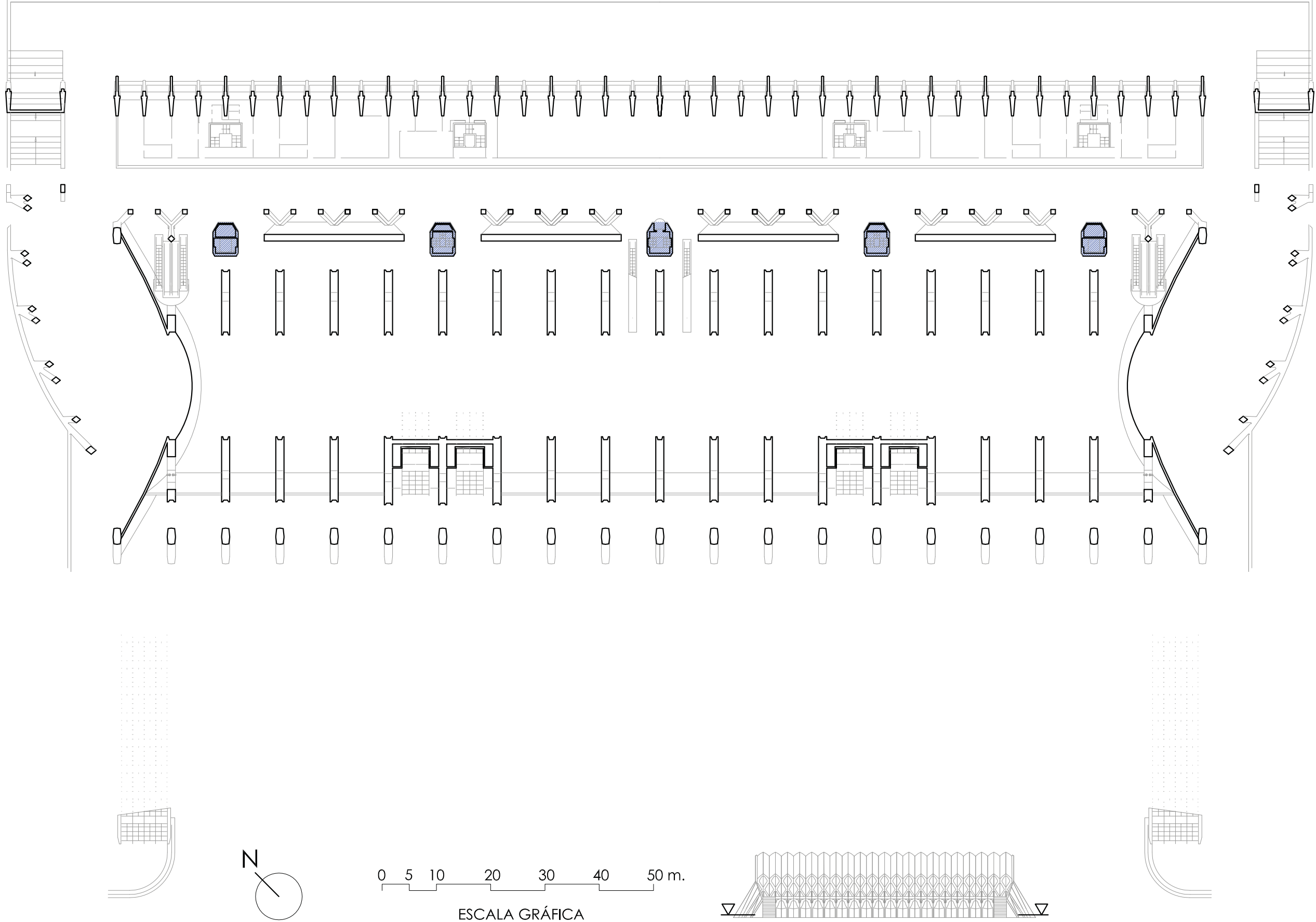
Presupuesto Previsto: 62.000.000€

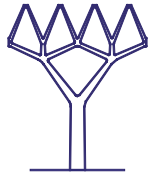
Coste final: 150.000.000€



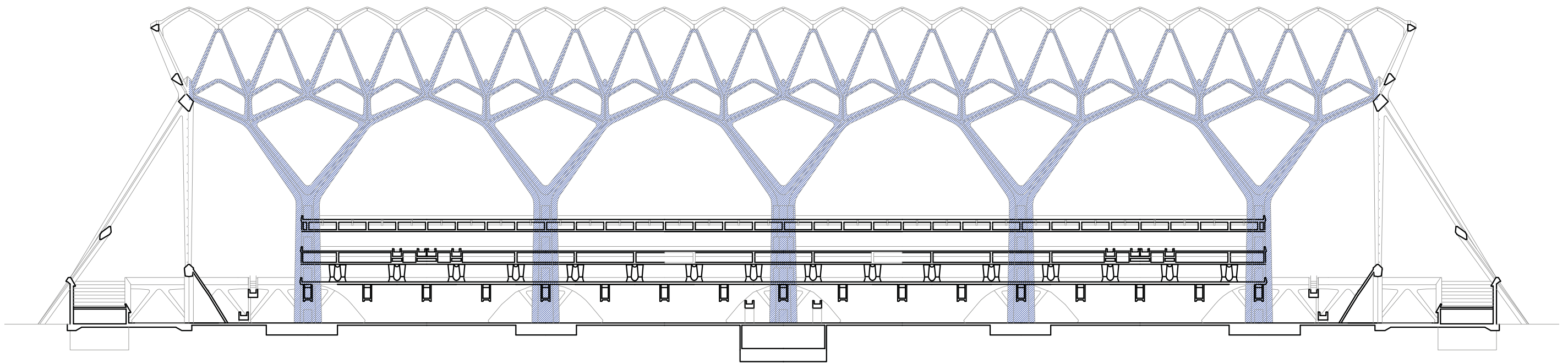
PLANTA 10,40 escala 1:700





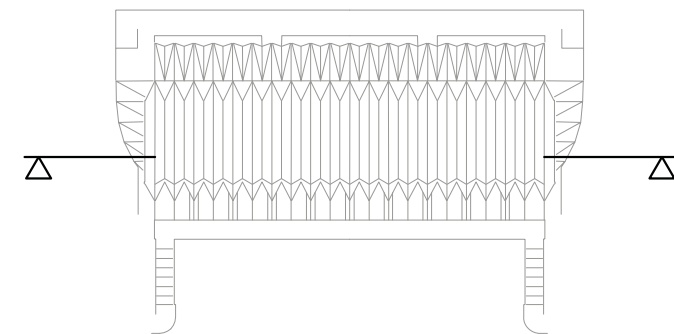


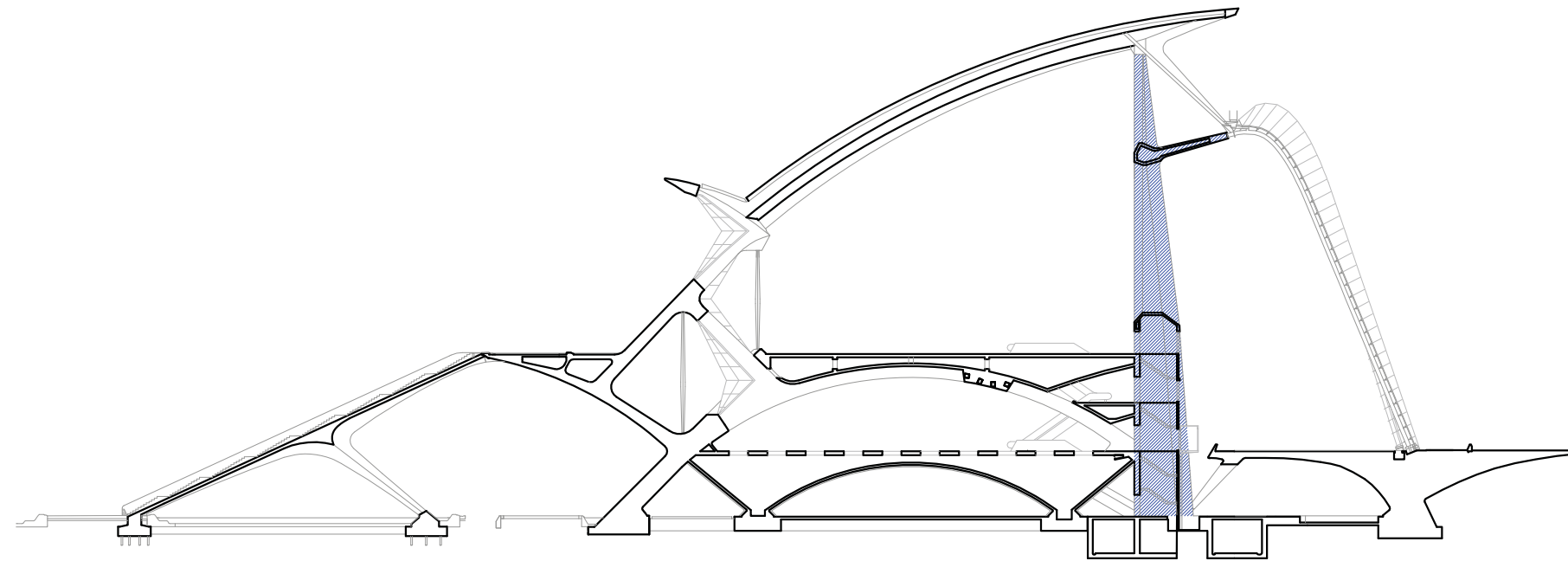
SECCIÓN LONGITUDINAL escala 1:700



0 5 10 20 30 40 50 m.

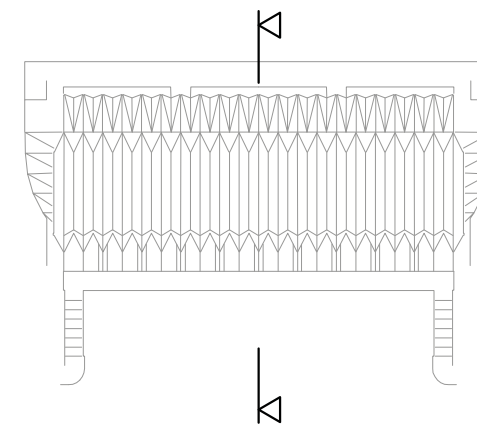
ESCALA GRÁFICA

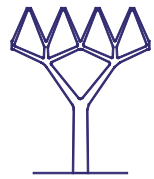




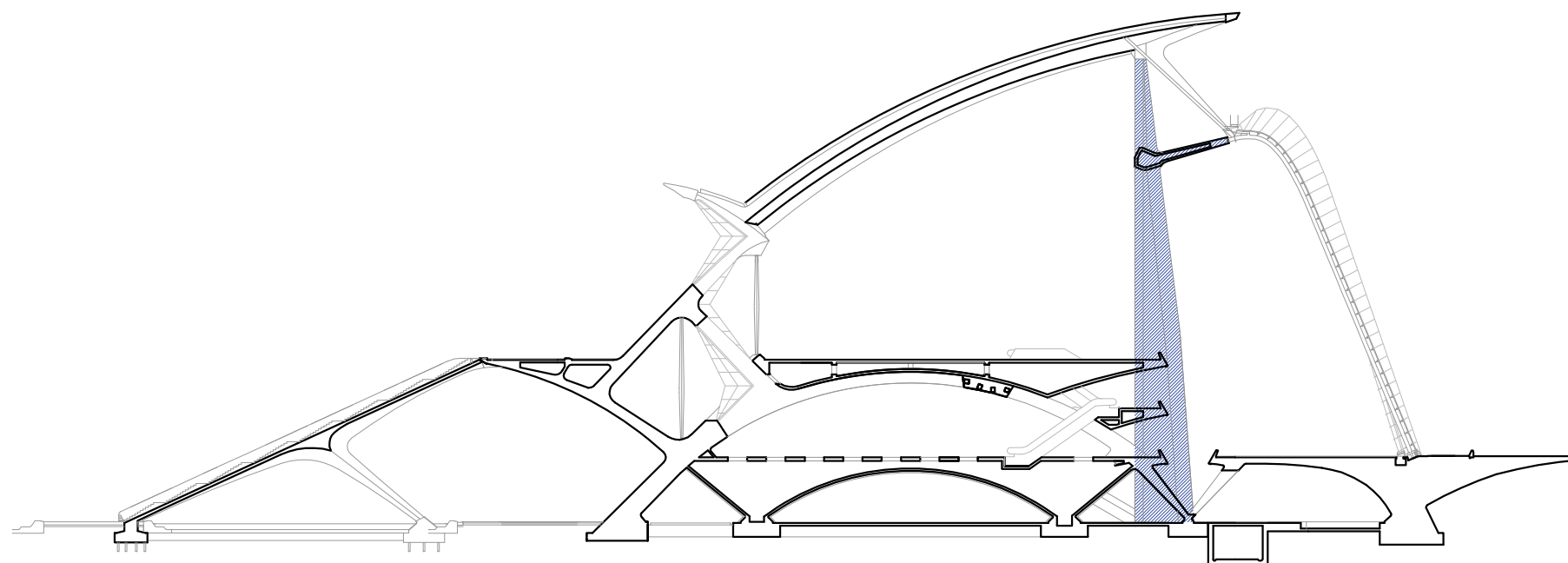
0 5 10 20 30 40 50 m.

ESCALA GRÁFICA



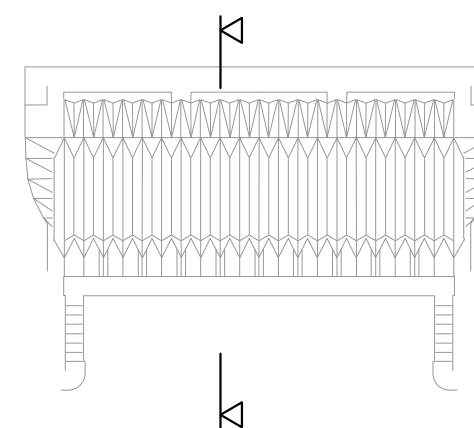


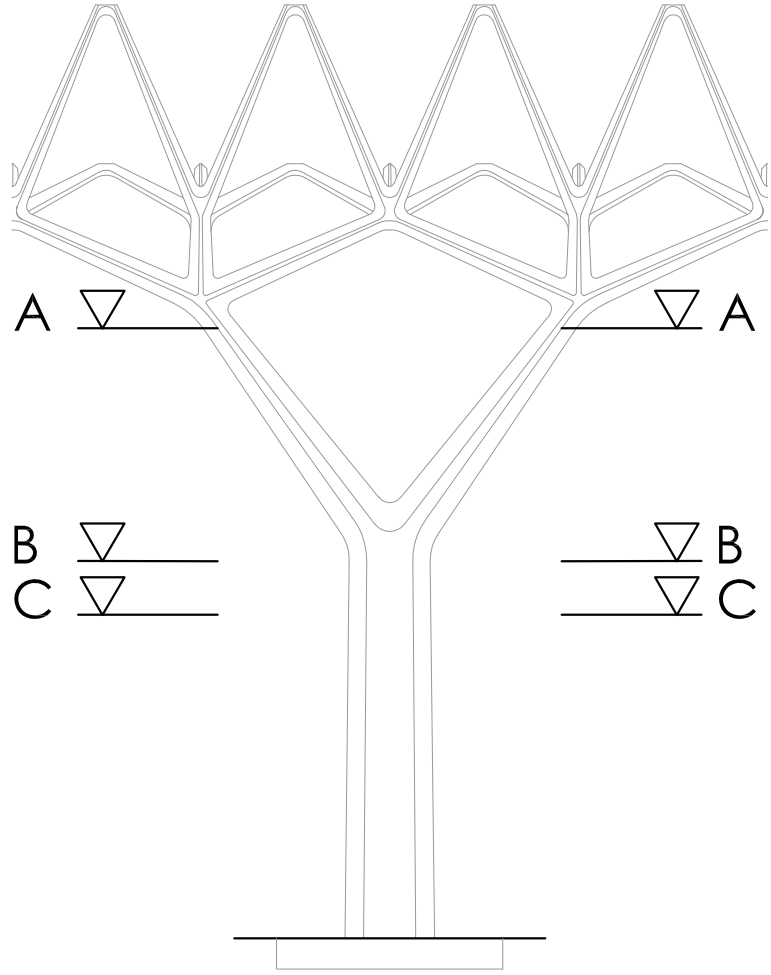
SECCIÓN TRANSVERSAL ENTRE ÁRBOLES escala 1:700



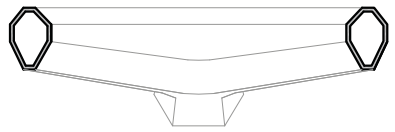
0 5 10 20 30 40 50 m.

ESCALA GRÁFICA

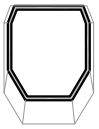




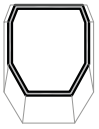
ALZADO



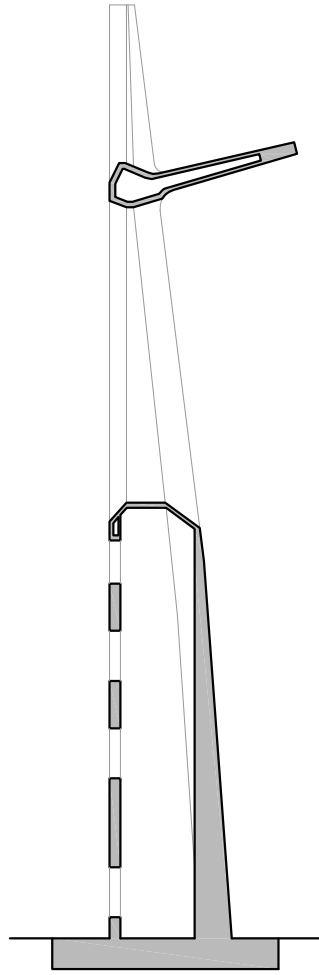
SECCIÓN A-A



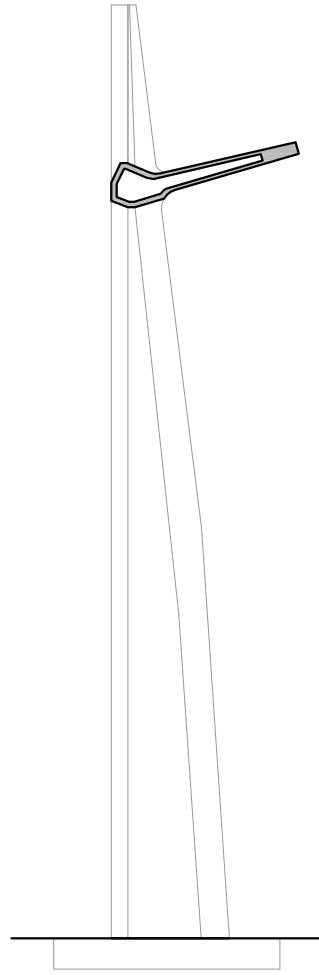
SECCIÓN B-B



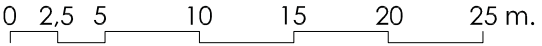
SECCIÓN C-C



SECCIÓN TRANSVERSAL
POR ÁRBOL CENTRAL



SECCIÓN TRANSVERSAL
ENTRE ÁRBOLES



ESCALA GRÁFICA



03. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

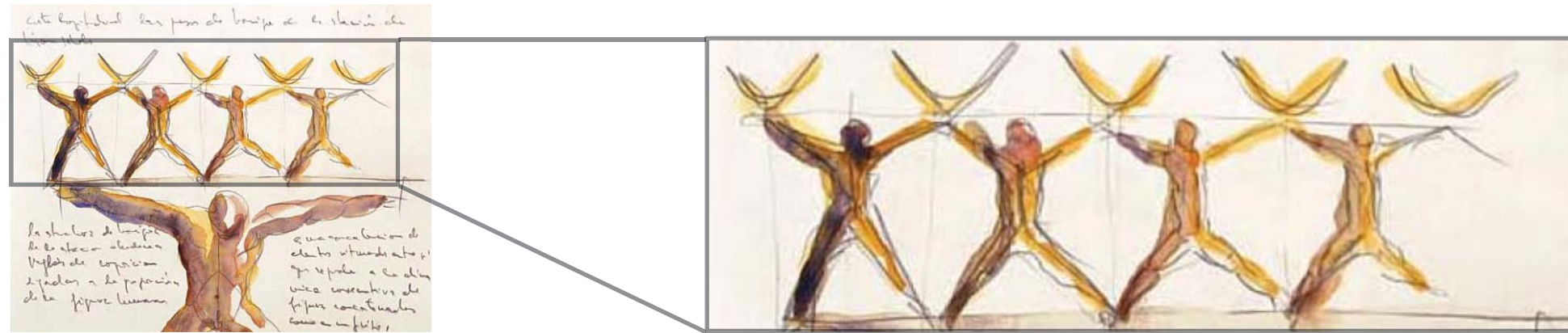


Ilustración 3.1. Boceto orgánico de los pilares del museo.

Inspiración

La posible inspiración de las columnas del museo está reflejada en el boceto del grupo de los cuatro hombres que sostienen los arcos invertidos, dando una relación muy aproximada con las figuras finales.

Lo que no mantiene relación son las extremidades inferiores y las cabezas, esto se debe a la posterior adaptación de las columnas a la forma de los árboles, como se denominan actualmente.

La similitud con los árboles es muy destacada por la ramificación ascendente y progresiva tanto en tamaño como en la sección de las ramas.

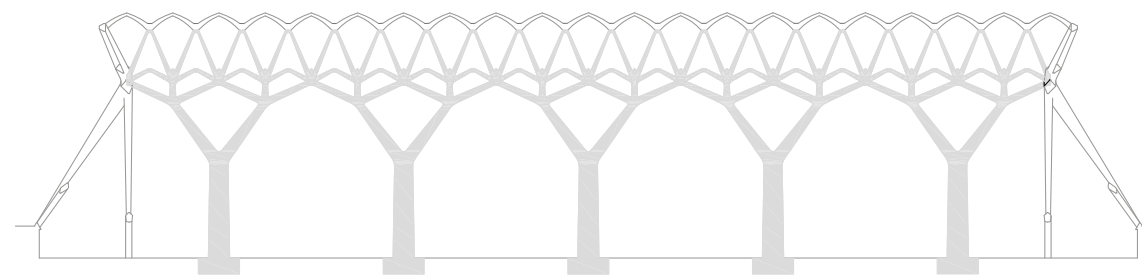


Ilustración 3.2. y 3.3. Fotografías exterior e interior de la estación de oriente de Lisboa.

Estación de oriente de Lisboa

La estación de Oriente de Lisboa nos muestra la estructura arbolada de sus pilares con un gran parecido en la forma a los del museo. Aunque el cambio de material de acero a hormigón armado cambia la concepción en la esbeltez de las piezas, al igual que la función, ya que los de la estación solo tienen función estructural, y los del museo también la tienen de núcleo de comunicaciones.

Árboles del paseo

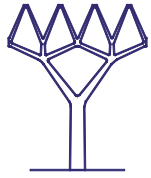
Los pilares que sostienen todo el alero de la ribera sur a lo largo de la ciudad de las artes y de las ciencias, tienen la forma arbolada más aproximada a los pilares a estudiar. Esto se debe a la ramificación triangulada y a la simétrica del elemento. Dichos pilares se repiten linealmente a lo largo de todo el alero ya nombrado, esto origina un bosque de árboles de acero, propio del estilo orgánico del arquitecto.



Ilustración 3.4. Foto 1 de los árboles exteriores.



Ilustración 3.5. Foto 2 de los árboles exteriores.



SIMILITUD CON ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DE OTROS ARQUITECTOS

Capilla de Santa Mónica (México)

La capilla de Santa Mónica fue construida en la localidad de San Lorenzo de Xochimancas (México) en el año 1960 por el Arquitecto Félix Candela.

La planta de la capilla está definida como la intersección de dos sectores circulares de ángulos y radios diferentes, situándose el único pilar de la estructura en el centro común de ambos sectores.

El pilar único, como se puede apreciar en las fotografías, es un pilar inclinado con una ramificación curva que va del brote del fuste a los diferentes apoyos de la estructura. El material es hormigón armado blanco visto, como los árboles del Museo Príncipe Felipe.

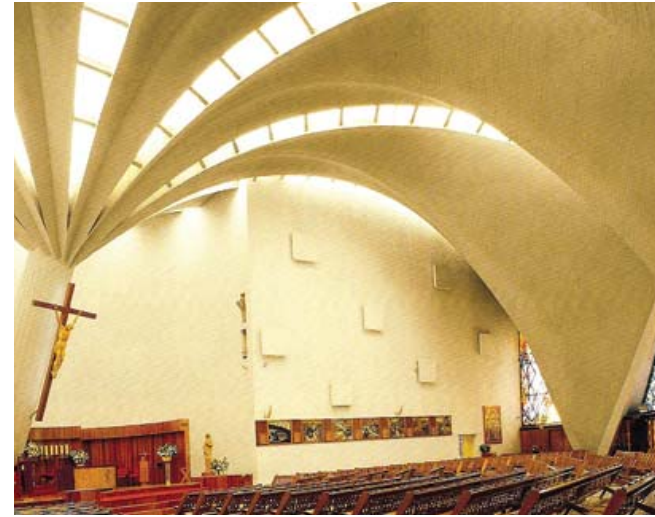


Ilustración 3.6. Fotografía interior de la capilla de Santa Mónica 1.

La Sagrada Familia (Barcelona)

La Sagrada Familia es la Basílica de Barcelona (España) iniciada en marzo de 1882 y en construcción actualmente. El arquitecto fue Antonio Gaudí.

Gaudí concebía el ambiente del interior del templo como un bosque frondoso. Lo que le llevó a crear columnas árbol, con ramificaciones y ramas que van a buscar el centro de gravedad de cada parte de las bóvedas, son argumentos de mecánica estructural, le sirvieron para dar forma a su arquitectura, que acaba de adoptar la forma de un bosque.

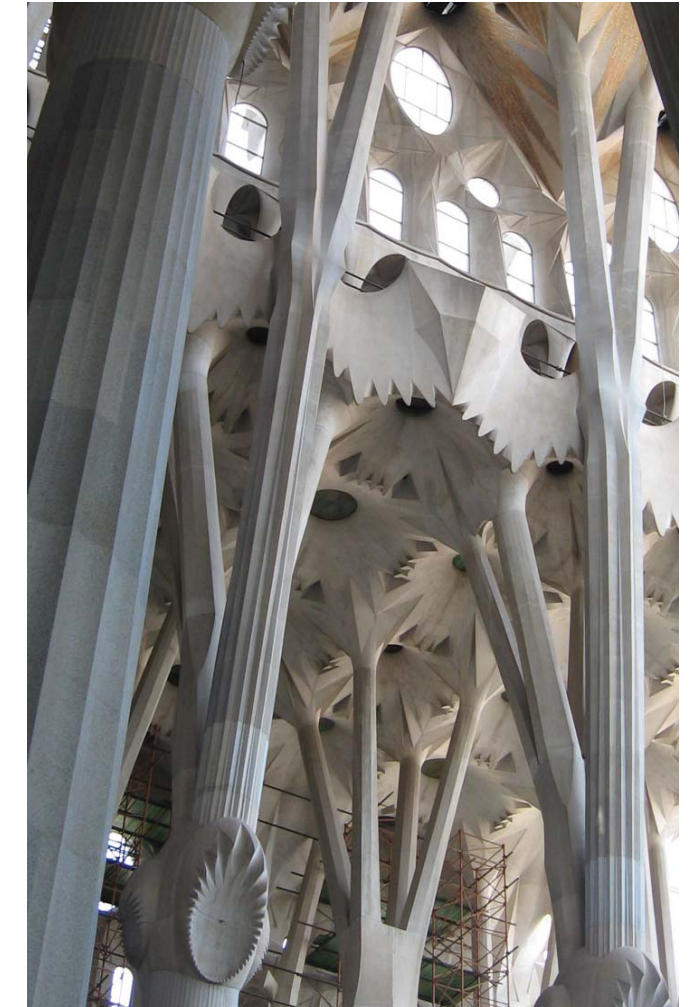
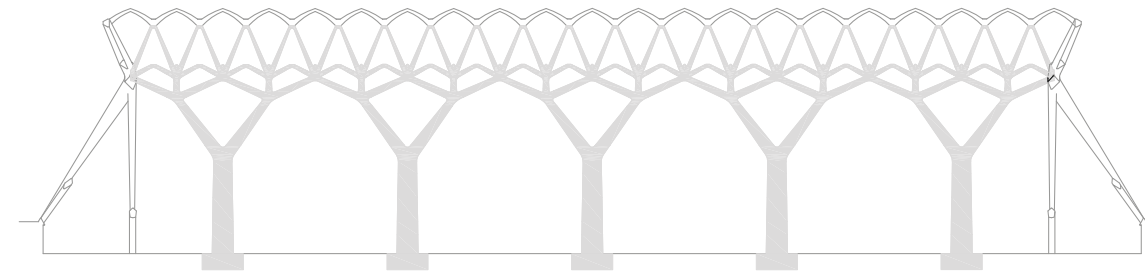


Ilustración 3.8. Fotografía de las columnas de la Sagrada Familia.



Ilustración 3.7. Fotografía interior de la capilla de Santa Mónica 2.



La similitud se ve reflejada principalmente en la forma orgánica del elemento, ya que ambos comparten la finalidad de semejarse a un árbol. También ambos son una parte estructural muy importante al edificio al que pertenecen.

Las diferencias las podemos encontrar en la forma de la ramificación, ya que en la capilla de Santa Mónica la ramificación es de solo un nivel y curva, mientras que en el Museo Príncipe Felipe, las ramificaciones de los árboles son de hasta tres niveles y su forma es poligonal.



Ilustración 3.9. Fotografía interior de la Sagrada Familia.

Las columnas se van ramificando en diferentes ramas, y la misma ley que sirve para diseñar el tronco principal, con doble giro, desde la estrella hasta el círculo, servirá para las ramas, para regresar del círculo a la estrella o a los polígonos.

La similitud de los árboles del Museo con los de la Sagrada Familia es más que con los de la capilla de Santa Mónica, sobre todo por la verticalidad de los pilares y la múltiple ramificación.

Ambos pilares están contruidos con hormigón blanco visto, y en ambos se diferencian las juntas de hormigonado. Estas juntas dan una sensación modular del elemento.

Por último, la forma poligonal de la sección del fuste y de las ramas no son semejante, pero conceptualmente siguen el mismo patrón.

SIMILITUD CON ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS DE OTRA ÉPOCA

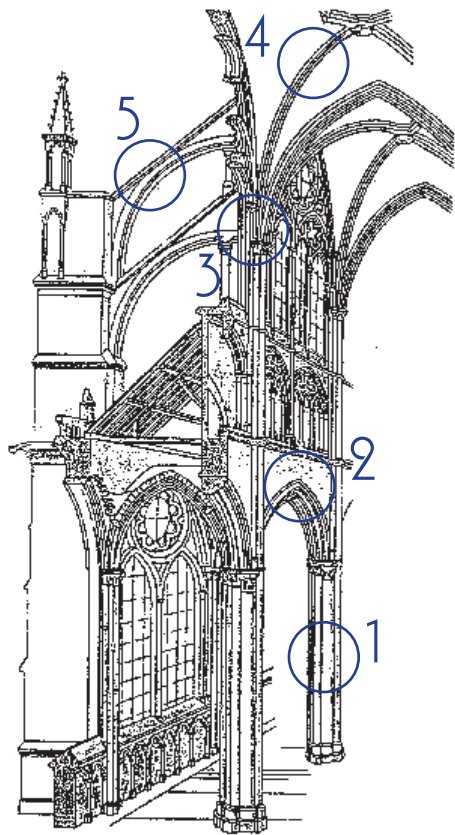


Ilustración 3.10. Esquema de las catedrales góticas.

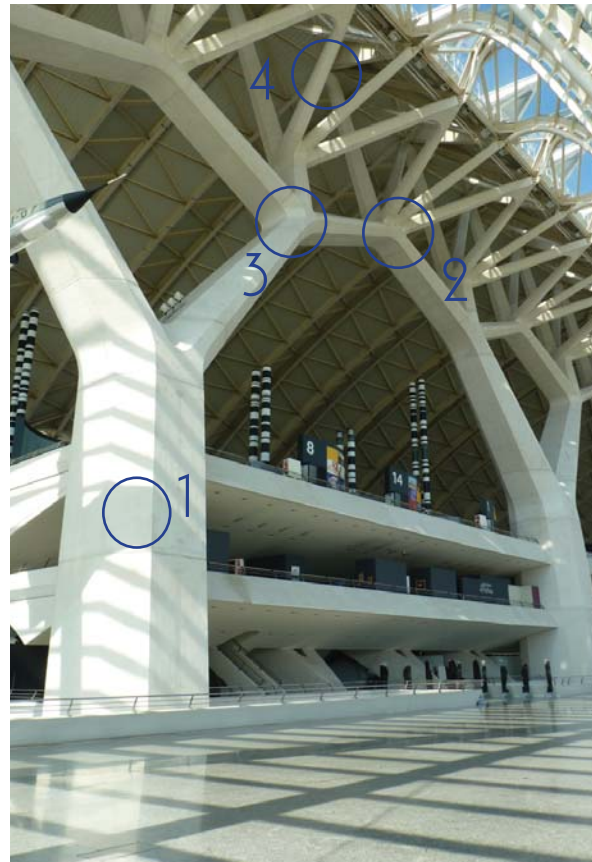
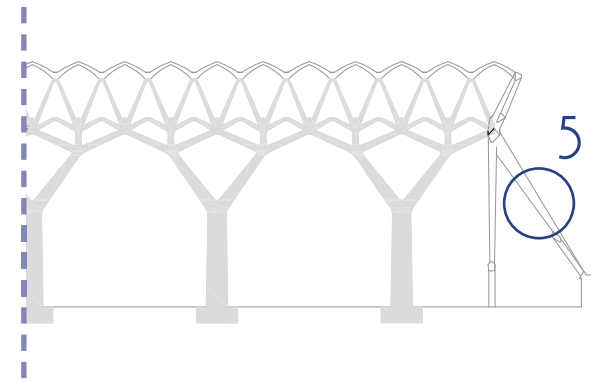


Ilustración 3.11. Fotografía interior del Museo Príncipe Felipe.



1. Columna, es el elemento vertical que recibe las cargas de las ramificaciones o arcos superiores, centrando estas para la transmisión a la cimentación.
2. Clave, es el elemento que corona el arco, en él confluyen las ramas que le transmiten las cargas superiores.
3. Nudo, al igual que la clave, es el punto donde confluyen varios arcos o ramas.
4. Ramas superiores / Bóvedas de crucería, ambos elementos sirven de receptores de cargas superiores de cubierta y fachada.
5. Arbotantes o arcos de descarga, son elementos que contrarrestan la excentricidad de los pórticos.



Ilustración 3.12. Fotografía interior de la Lonja de Valencia.



Ilustración 3.13. Fotografía interior de la Seo de Zaragoza.



Ilustración 3.14. Fotografía interior del Museo Príncipe Felipe con simetría.

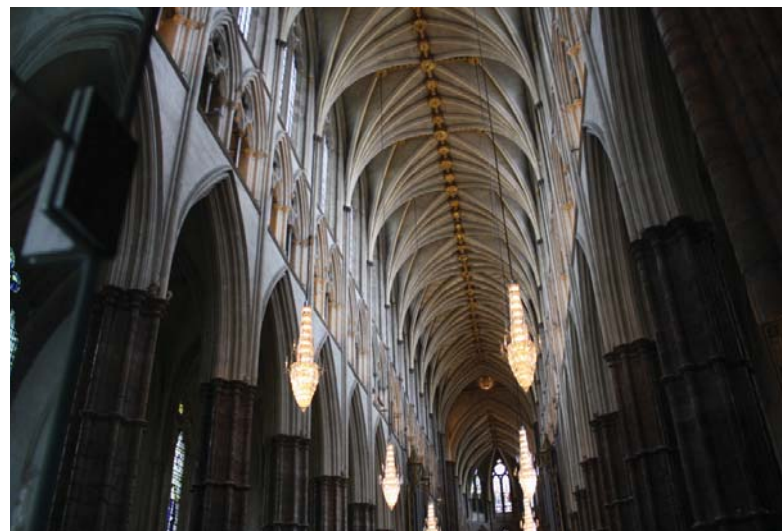


Ilustración 3.15. Fotografía interior de la Iglesia colegiata de San Pedro de Westminster (Londres).

Gótico

La época que mejor relaciona las columnas con los árboles es el gótico. Los arquitectos góticos buscaban las formas arboladas para la configuración de las columnas de las catedrales y naves, como en el caso de la Lonja de Valencia.

La clara similitud de los pilares del Museo Príncipe Felipe con las columnas góticas se basa en la forma nervada de los arcos que transmiten las cargas de una forma muy precisa al fuste del pilar. Esto permite la eliminación del material de relleno, para poder dejar huecos para el paso de la luz.

El gótico se caracteriza por tener grandes huecos, que son determinados por la estructura vista. En los pilares del museo pasa lo mismo, estamos ante un edificio que nos muestra su esqueleto, sin ningún tipo de cerramiento estético que nos impida ver los elementos que componen la estructura.



04. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

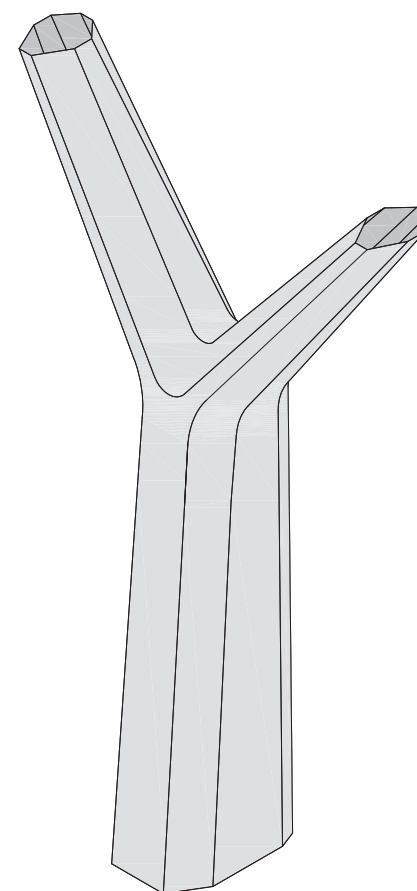
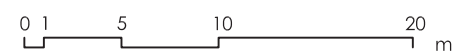
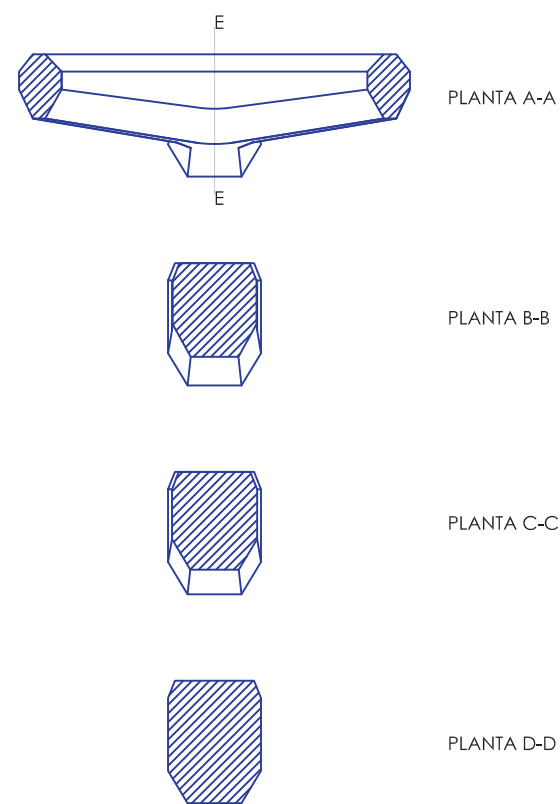
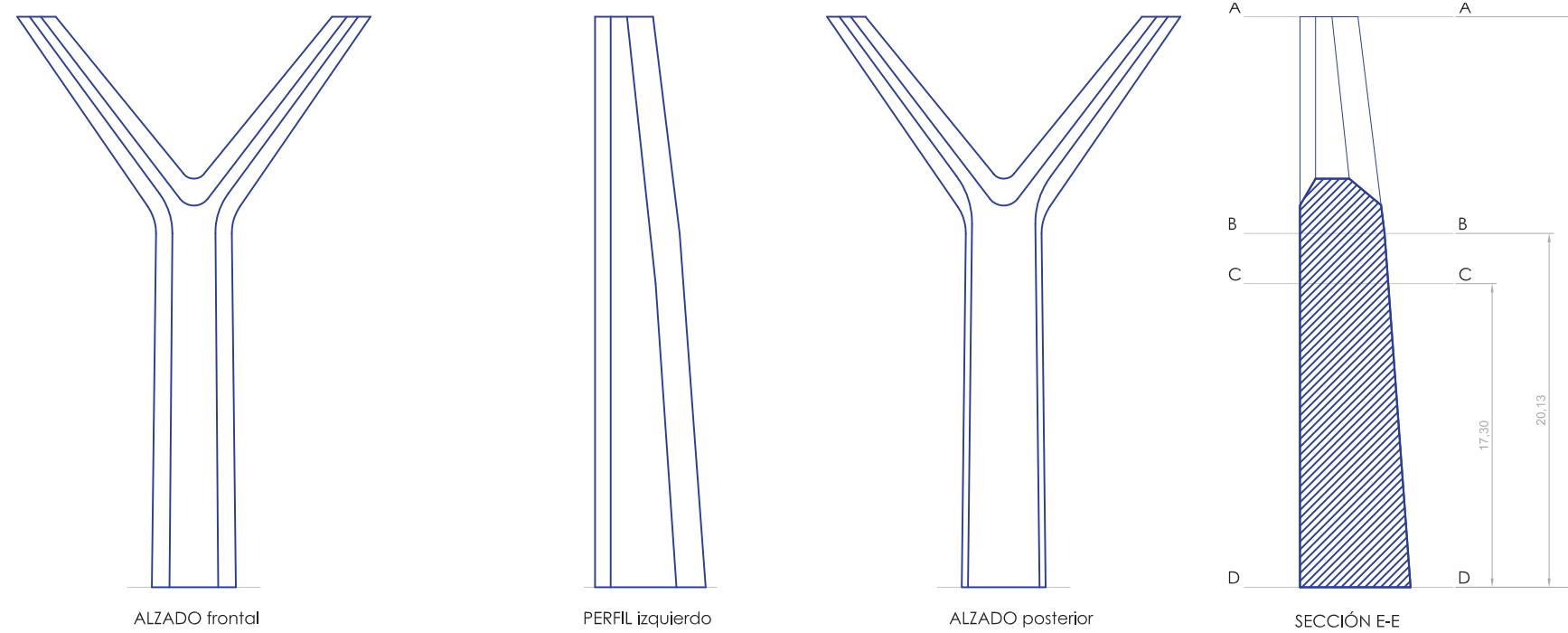
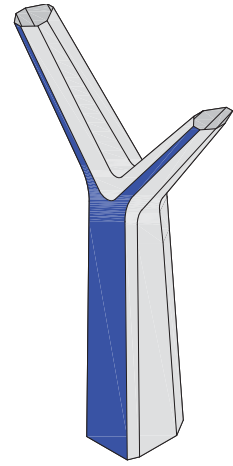
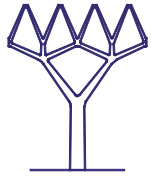


Ilustración 4.1. Fotografía de un pilar del Museo Príncipe Felipe.

En el análisis geométrico de la superficie solo se van a estudiar las superficies comprendidas entre el fuste y la primera ramificación.

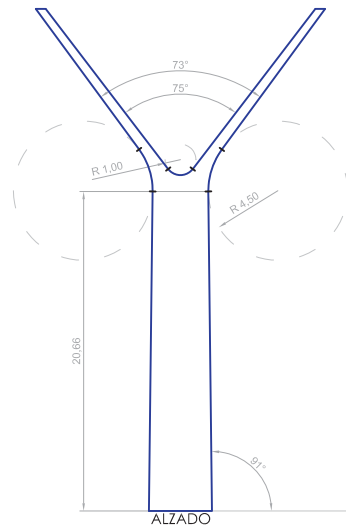
La Geometría del árbol está formada por diferentes superficies que se intersectan. Dichas superficies suman un total de ocho. Por lo que observamos en la sección y perfil de la columna, tenemos un lado inclinado y otro recto en la vertical, este último permite el acceso a las planas mediante escaleras y ascensores.

A continuación se irá desglosando cada superficie en la geometría o geometrías que la componen.



SUPERFICIE 1

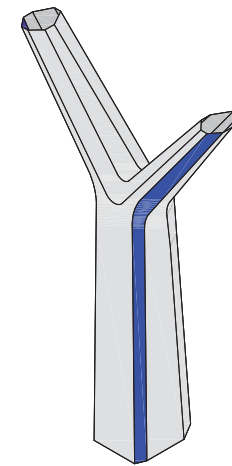
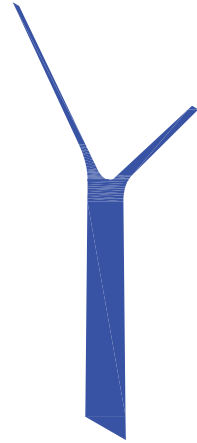
Superficie plana determinada por rectas y partes de circunferencias tangentes a dichas rectas.



PLANTA

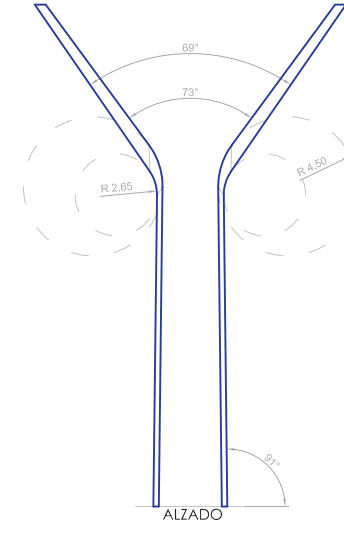


PERFIL

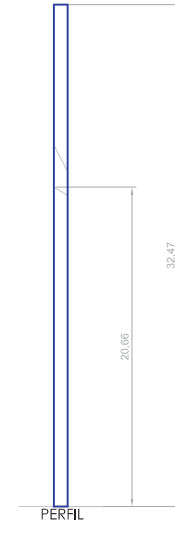


SUPERFICIE 2

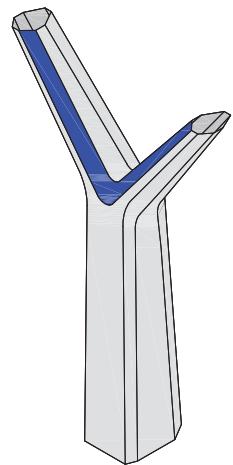
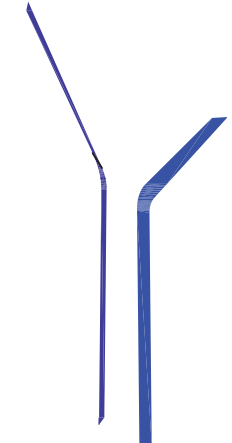
Superficie formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cono oblicuo.



PLANTA

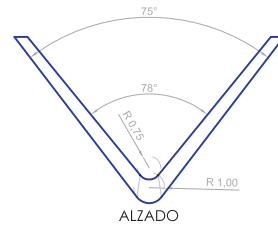


PERFIL

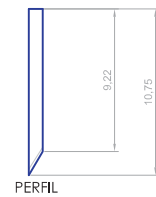


SUPERFICIE 3

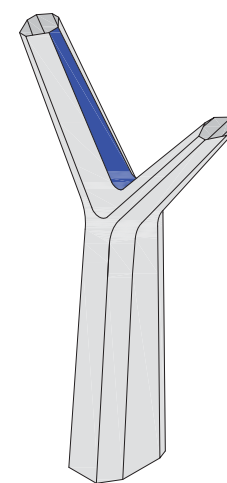
Superficie simétrica formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cono oblicuo.



PLANTA

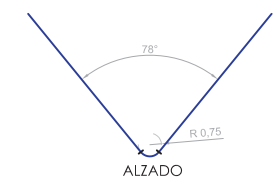


PERFIL

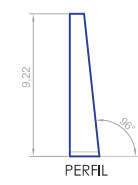


SUPERFICIE 4

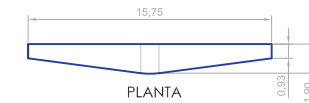
Superficie simétrica formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cilindro.



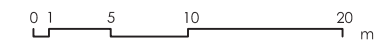
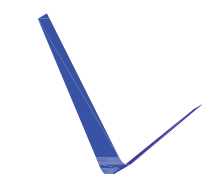
PLANTA

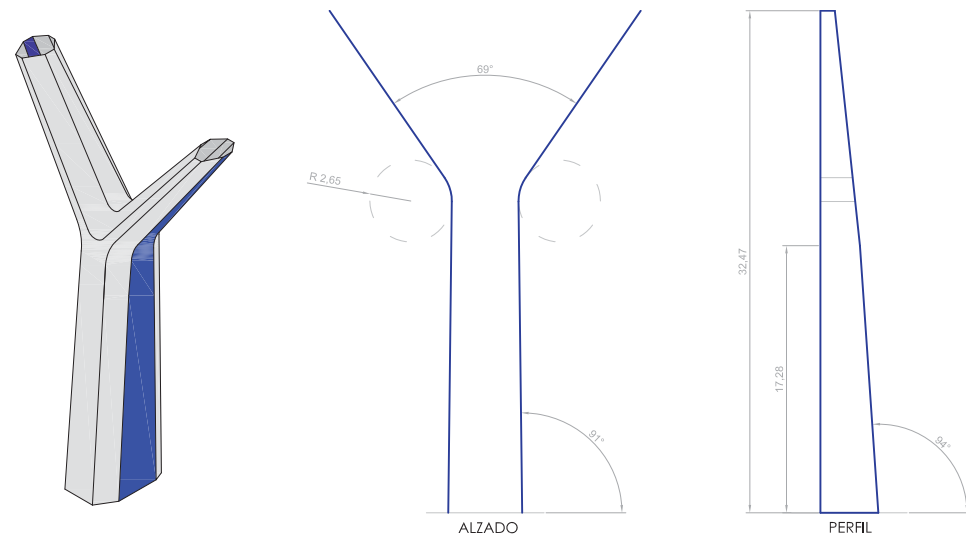


PERFIL



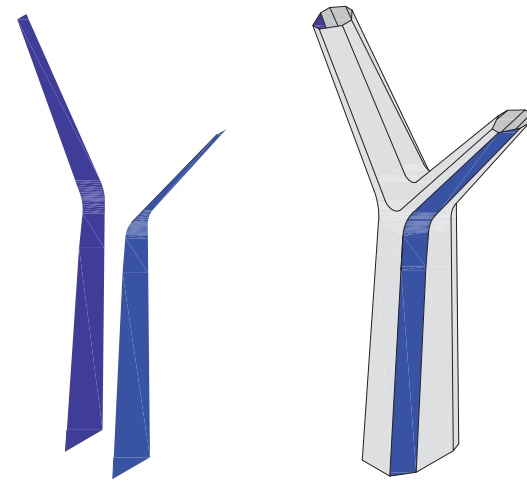
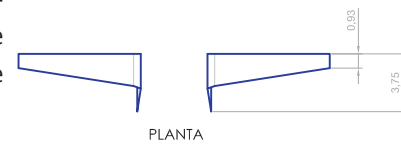
PLANTA





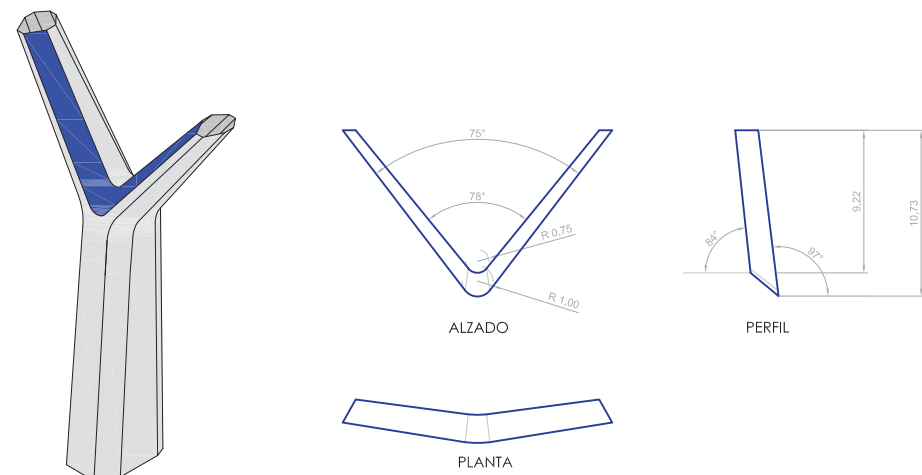
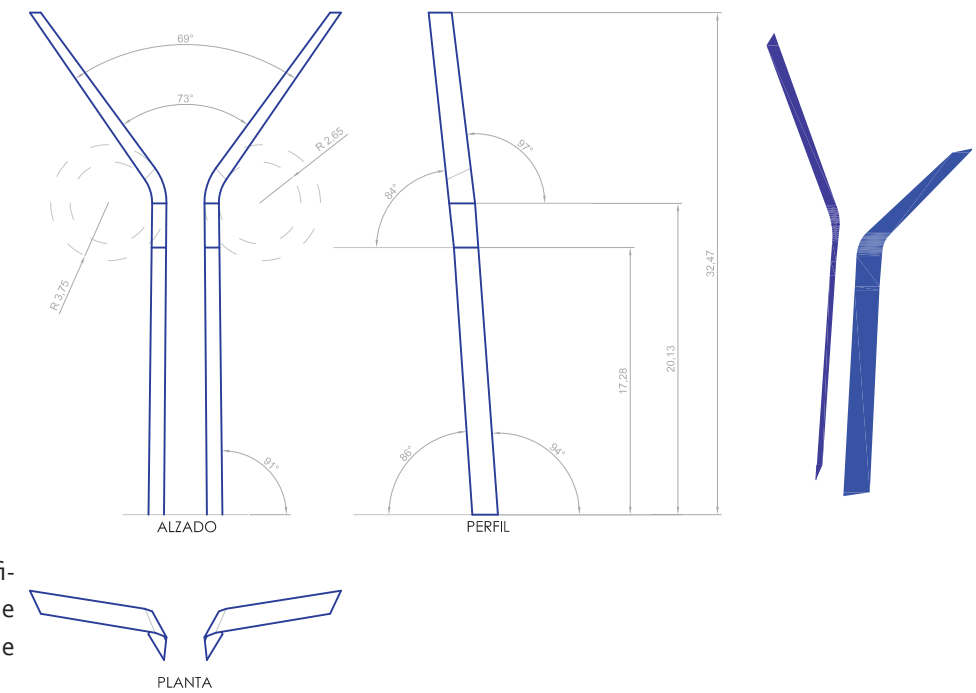
SUPERFICIE 5

Superficie formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cilindro.



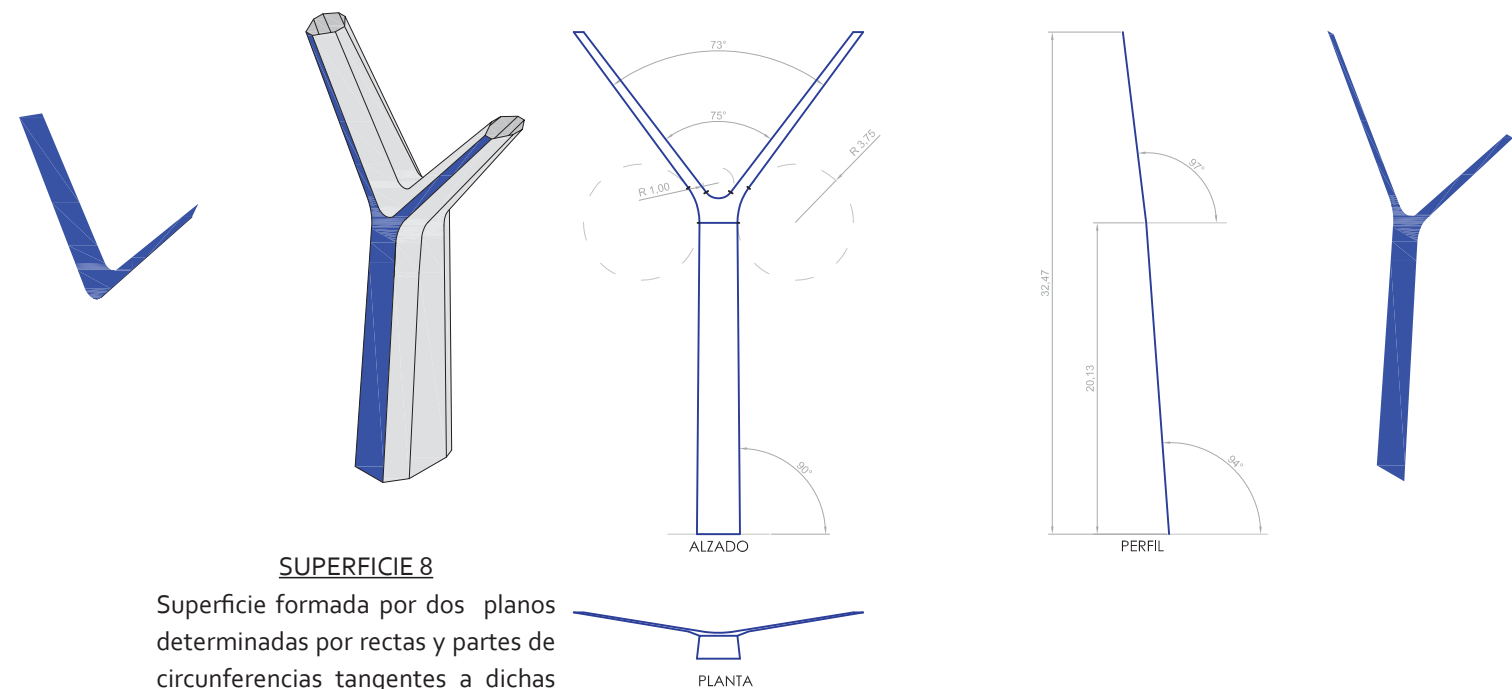
SUPERFICIE 6

Superficie formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cono oblicuo.



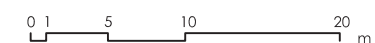
SUPERFICIE 7

Superficie simétrica formada por dos superficies planas y una curva. La superficie curva es originada por la sección de un cono oblicuo.



SUPERFICIE 8

Superficie formada por dos planos determinadas por rectas y partes de circunferencias tangentes a dichas rectas.





05. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

ELEMENTO ESTRUCTURAL

Todo el árbol es un elemento estructural, por lo que la estructura de la columna se muestra al público del museo sin ningún revestimiento más que el propio hormigón blanco que a la vez que se utiliza como elemento resistente sirve como acabado final del pilar. Por todo esto podemos decir que también es parte de la escultura que conforma el edificio.

Como en cualquier pilar, por lo general, la función es transmitir las cargas superiores a la cimentación, haciendo trabajar al pilar a compresión. En el caso del árbol es así desde que arranca el pilar hasta que se ramifica por primera vez.

A partir de la ramificación, la forma de trabajo cambia progresivamente de compresión a flexo-tracción. Eso es porque los elementos empiezan a inclinarse y a adoptar posiciones más propias de las vigas.

Al igual que en el acueducto de Segovia, o cualquier acueducto romano, los árboles del Museo actúan de la misma forma en la transmisión de carga descendente. En el acueducto se realiza mediante arcos de medio punto, mientras que en los árboles se transmite con la unión de barras de hormigón armado.



Ilustración 5.1. Fotografía del acueducto de Segovia.

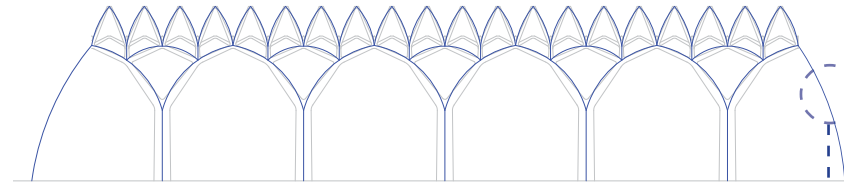


Ilustración 5.2. Contrafuertes del Museo.

La estructura es de hormigón armado in situ y prefabricado formada por cinco pilares. Cada uno de estos está formado por un fuste principal hueco y tres niveles de ramificación en sentido ascendente. Entre los pilares se salva una luz de 35 metros teniendo una altura de 49,50 metros.

Los elementos laterales del edificio del Museo Príncipe Felipe, no son solo un elemento escultórico, son el arriostramiento del conjunto que forman los cinco árboles. Sin estos contrafuertes, los arcos laterales de los pilares, se quedarían sin cerrar, por lo que trabajarían a modo de voladizo. Esto llevaría a un mayor armado de las ramas y una mayor complejidad en la estructura.

MATERIALES ESTRUCTURALES

- HORMIGÓN EN MASA

El hormigón en masa es un material moldeable y con buenas propiedades mecánicas y de durabilidad, y aunque resiste tensiones y esfuerzos de compresión apreciables tiene una resistencia a la tracción muy reducida. Por eso se usa combinado con acero, que cumple la misión de absorber las tensiones de tracción que aparecen en la estructura. Por otro lado, el acero confiere a las piezas mayor ductilidad, permitiendo que las mismas se deformen apreciablemente antes de la falla.



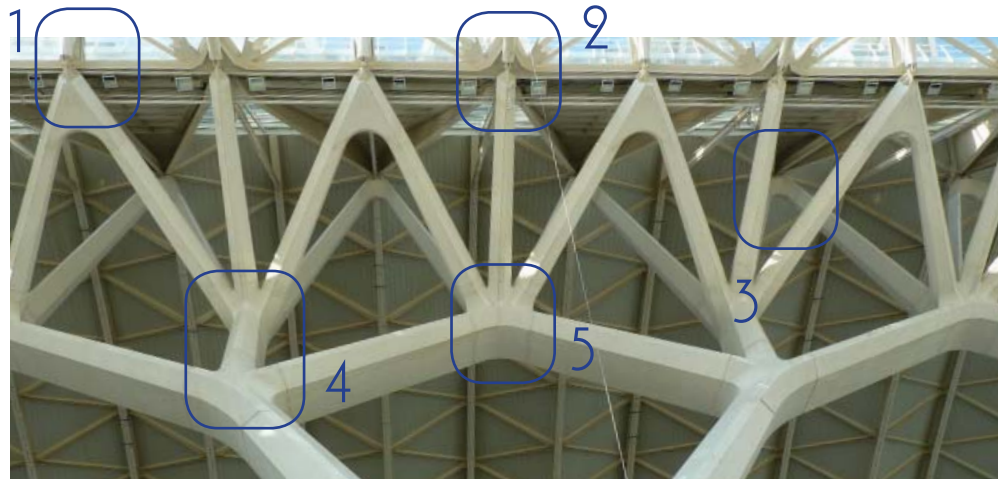
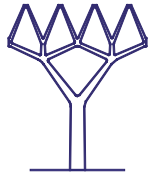
Ilustración 5.3. Vertido de hormigón en masa sobre un emparrillado.

- ACERO LAMINADO

Las cualidades del acero son su alta resistencia, homogeneidad en la calidad y fiabilidad de la misma, soldabilidad, ductilidad, incombustible, pero a altas temperaturas sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas, buena resistencia a la corrosión en condiciones normales. El acero es más o menos un material elástico, responde teóricamente igual a la compresión y a la tensión, sin embargo con bastante fuerza aplicada, puede comenzar a comportarse como un material plástico.



Ilustración 5.4. Barras de acero corrugado.



NUDOS ARTICULADOS

NUDO 1



El nudo 1 está compuesto por dos rótulas, una que pertenece al apoyo articulado de la cubierta, y otro que pertenece al apoyo de la fachada norte. Ambas rótulas permiten el giro, pero no el desplazamiento. Las cargas que se transmiten a través de la rótula es un axil.

NUDO 2



El nudo 2 está compuesto por dos rótulas, una que pertenece al apoyo articulado de la cubierta, y otro que pertenece al apoyo de la fachada norte. Ambas rótulas permiten el giro, pero no el desplazamiento. Las cargas que se transmiten a través de la rótula es un axil.

NUDO 3



El nudo 3 es un apoyo de la cubierta que se materializa con las barras número 8. Este apoyo recoge las cargas verticales más importantes. Este apoyo permite un pequeño giro, pero no el desplazamiento.

NUDO 4



El nudo 4 es rígido y macizo, recoge las barras 2, 3, 4 y 5. Al ser un empotramiento perfecto de estas cuatro barras, no permite giros ni desplazamientos.

NUDO 5



El nudo 5 es rígido y macizo, recoge las barras 4, 6, 7 y 8. Al ser un empotramiento perfecto de estas cuatro barras, no permite giros ni desplazamientos.

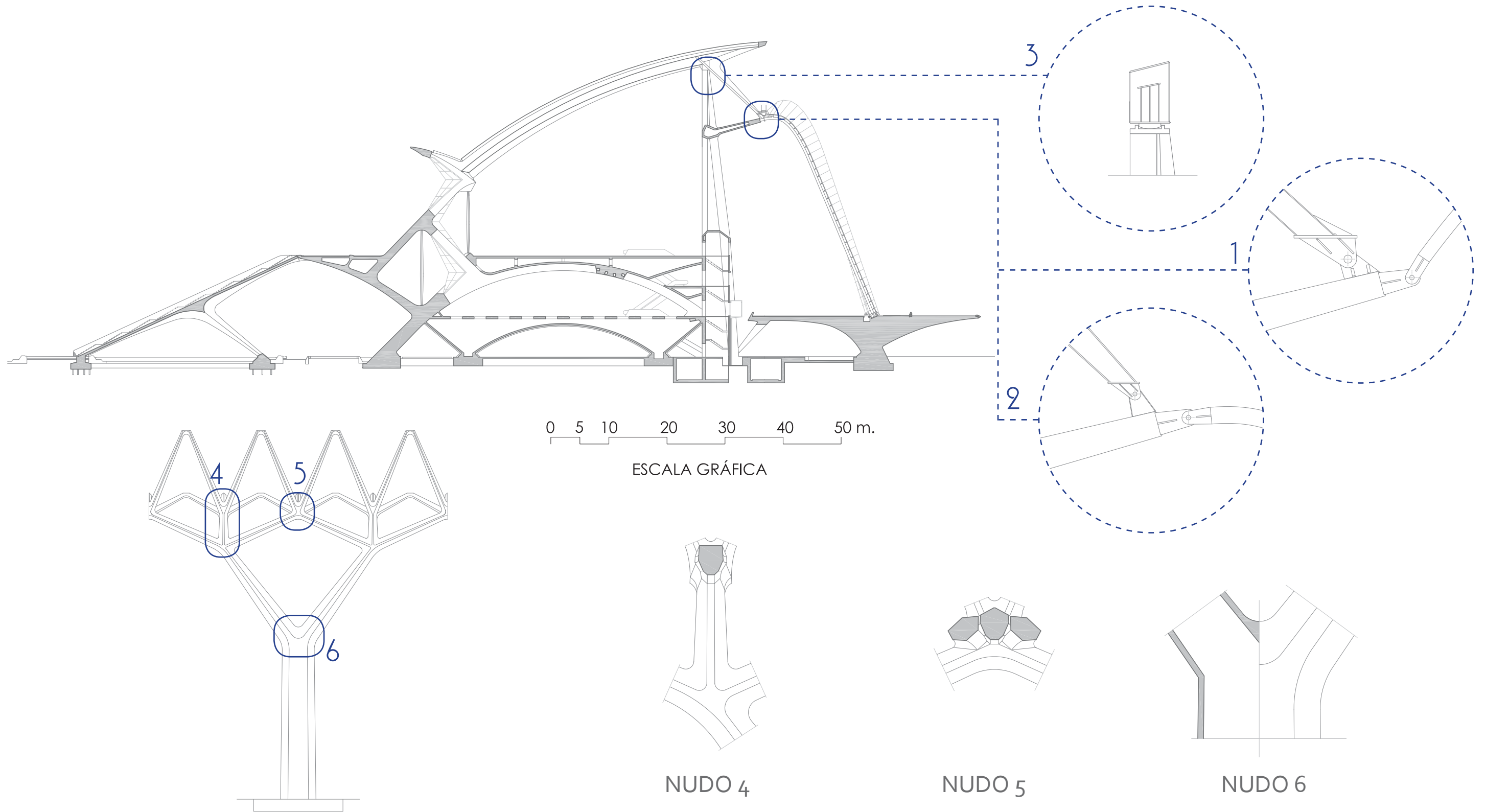
NUDO 6

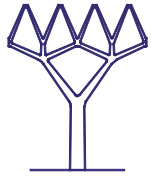


El nudo 6 es rígido y hueco, recoge las barras 2 con el fuste (1). Al ser un empotramiento perfecto de estas tres barras, no permite giros ni desplazamientos.

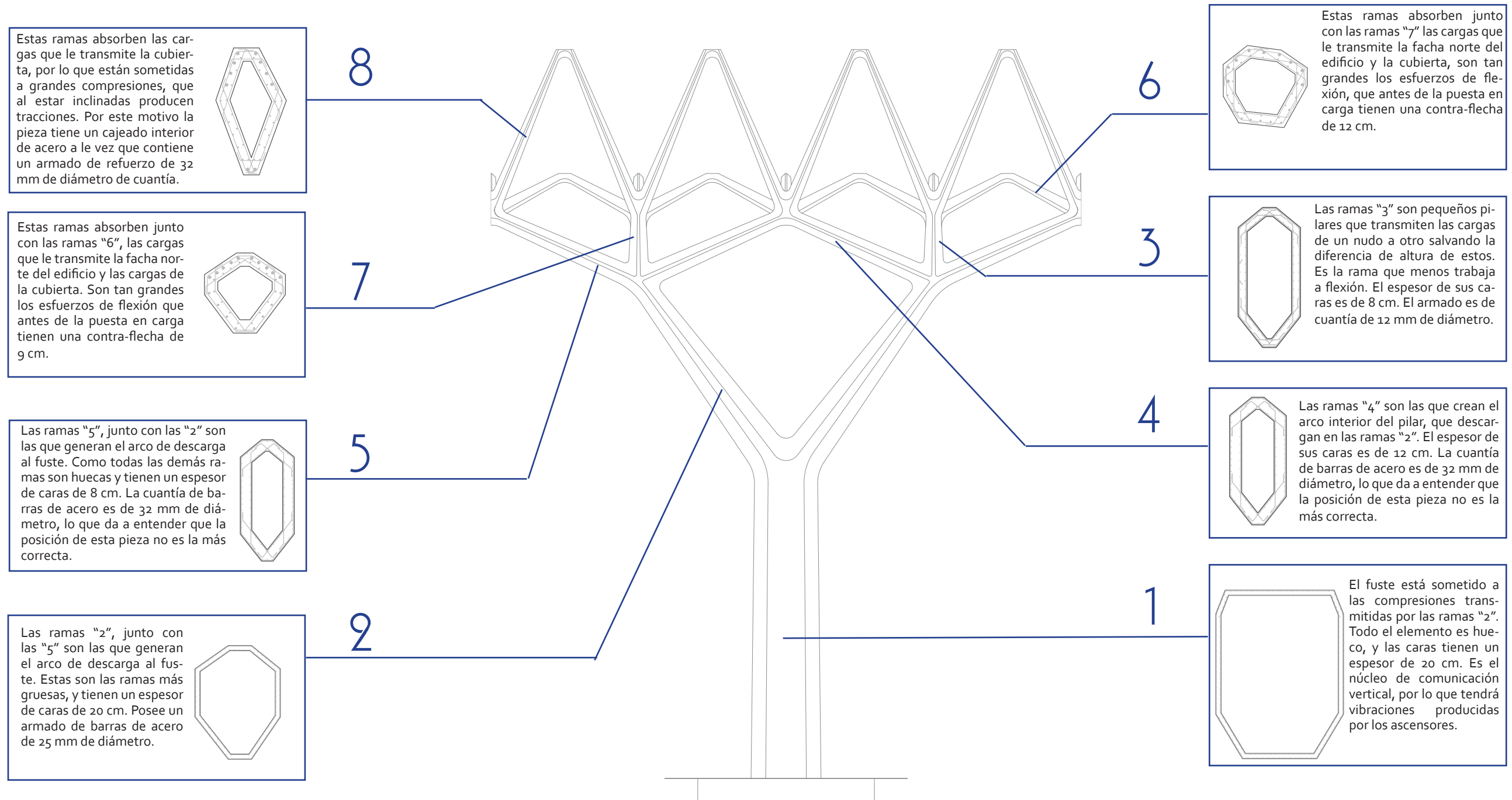
NUDOS RÍGIDOS

Ilustración 5.5. Fotografías página 40.





ESTRUCTURA HUECA * SECCIONES DE LOS ELEMENTOS



- RAMIFICACIONES

La disposición de las ramas es el motivo fundamental que determina la forma de trabajo de las mismas. Las ramas están inclinadas, de forma que sus esfuerzos están sometidos a dos factores, el primero es el extremo de donde recibe la carga, y el segundo es el empotramiento del nudo a donde transmite la carga.

Las ramas, al igual que el fuste son huecas, por lo que el armado se realizara muy parecido al del fuste, con la diferencia del porcentaje de acero, ya que las ramas necesitan más cantidad de acero por metro cúbico de hormigón. El motivo de esto es la gran cantidad de esfuerzos de flexo-tracción que tiene que resistir. En algunos casos las ramas están realizadas íntegramente de acero, salvo el recubrimiento final que es de hormigón.

- FUSTE DEL PILAR

La forma de trabajo es igual a la de un muro cerrado. Trabaja principalmente a compresión, donde el hormigón juega su papel principal. En los pandeos de las caras del fuste aparecen esfuerzos de tracción, donde el acero crea unos cinturones de atado, confinando así al hormigón y evitando el fisuramiento del mismo.

COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

DEFORMADA

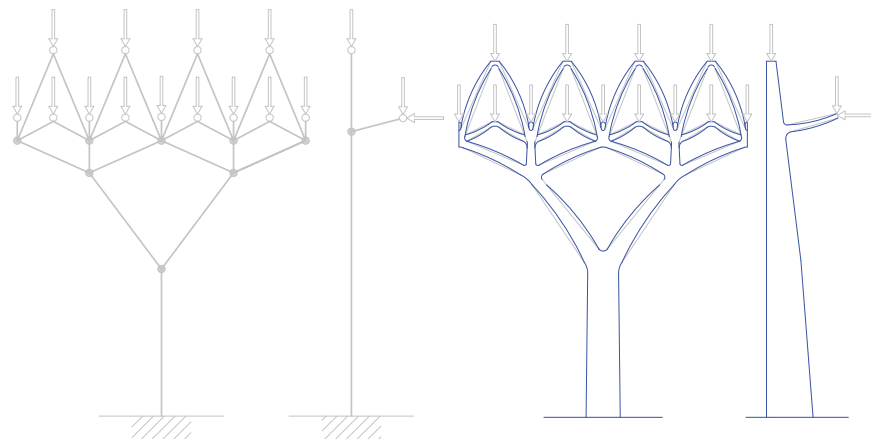
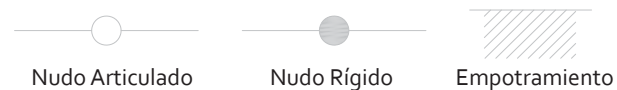


Ilustración 5.6. Esquema de la deformación del pilar.



La deformación de los pilares no se percibe, ya que es un elemento rígido y todo él es una sola pieza. El esquema 5.6. se ha determinado con la ayuda de los planos de armado de los pilares, poniendo el bulbo de la deformación en la cara donde existe una mayor cuantía de acero.

ELEMENTO FUNDAMENTAL DEL EDIFICIO



Los pilares del museo son los elementos estructurales más importantes, ya que sobre ellos apoya toda la fachada norte y gran parte de la cubierta.

Haber creado un elemento de proporciones gigantescas en las que se recojan tanta variedad de funciones y a la vez sea una parte fundamental del edificio, tiene un gran valor arquitectónico.

COMPENSACIÓN DE ARCOS

La forma de trabajo de los pilares no se puede entender como cinco elementos independientes, sino que son un todo que se complementan entre sí.

Al igual que en las catedrales románicas y góticas las cargas transversales de un arco son absorbidas por los dos arcos contiguos. Estos empujes al ser muy parecidos dan como resultante cero, creando una estabilidad compartida.

En el caso de los extremos, estos empujes son absorbidos por los contrafuertes o arbotantes.

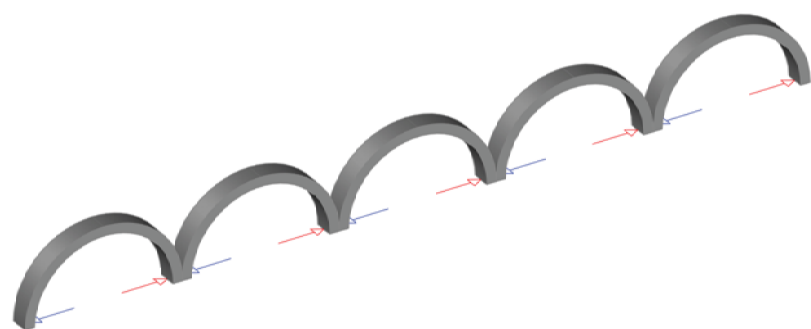


Ilustración 5.7. Esquema de compensación de arcos.

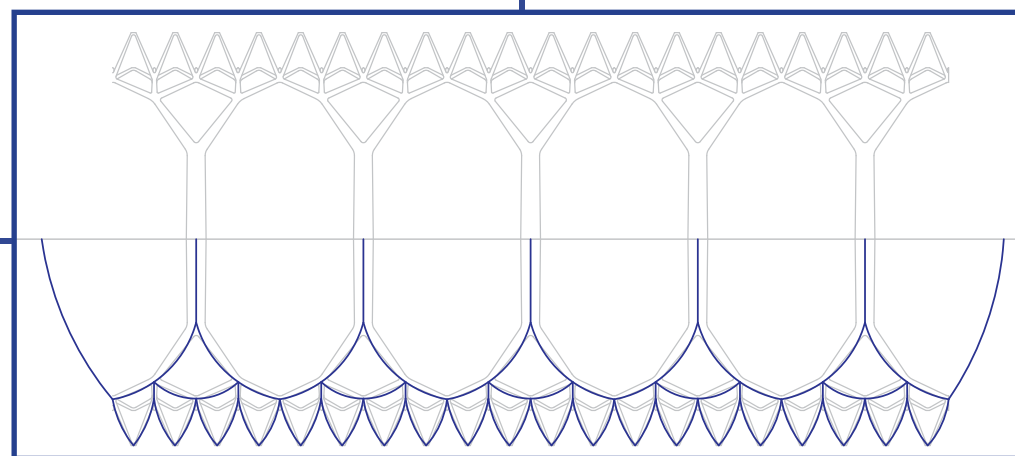


Ilustración 5.8. Esquema de esfuerzos transversales.

VERTICALIDAD DE LAS CARGAS Y CATENARIA

Las cargas que recibe el pilar de la cubierta y fachada norte se van transmitiendo desde las ramas superiores hasta el fuste. La dirección de las cargas va cambiando en función de la rama en la que se encuentre. Este descenso de cargas se va simplificando hasta convertirse en una sola, siendo el sumatorio de todas.

La forma que adoptan los arcos poligonales de los pilares se aproximan a los de una catenaria, intentando buscar la forma de trabajo más adecuada para los arcos.

Pero, los empujes al vacío hacen que el armado del pilar sea excesivo a partir de la segunda ramificación. Esto se debe a la incorrecta disposición de las barras, que hace que no trabajen por su forma natural, creándose excesivas excentricidad en la transmisión de cargas.

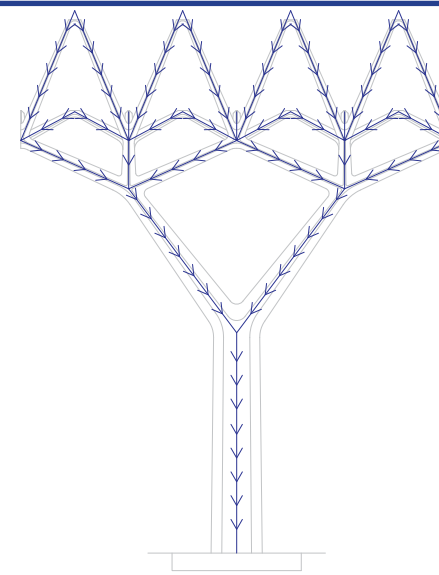


Ilustración 5.9. Verticalidad de las cargas.

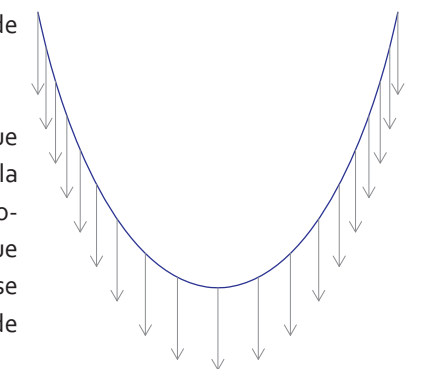


Ilustración 5.9. Catenaria.



06. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

CIMENTACIÓN

La Cimentación de este edificio, soporta una estructura de gran magnitud y rigidez, por ello está ejecutada con una cimentación profunda mediante pilotes "in situ" de diámetros 65 y 120 cm., y longitud mínima de 25 m., con empotramiento en capa de gravas de diámetro 8, (sin entubación y con lodos tixotrópicos para contención de paredes), agrupados en encepados de grandes dimensiones y atados estos mediante vigas riostras.

El hormigón utilizado es un H-200 ($f_{ck} = 200 \text{ Kp/cm}^2$), con tamaño máximo de árido de 20 mm y cemento SR-MR, con un contenido mínimo de 350 Kg/m².

En primer lugar se hizo un vaciado general de todo el solar, que lo dejó explanado al nivel aproximado de 7,40m., sobre este nivel se ejecutaron los pilotes anteriormente mencionados, estos pilotes se agrupaban en grandes encepados de espesor 180 cm., arriostrados entre ellos en dos direcciones ortogonales. Una vez ejecutada la cimentación se extendió una solera (H-225) que sirve de base a la primera planta del edificio.

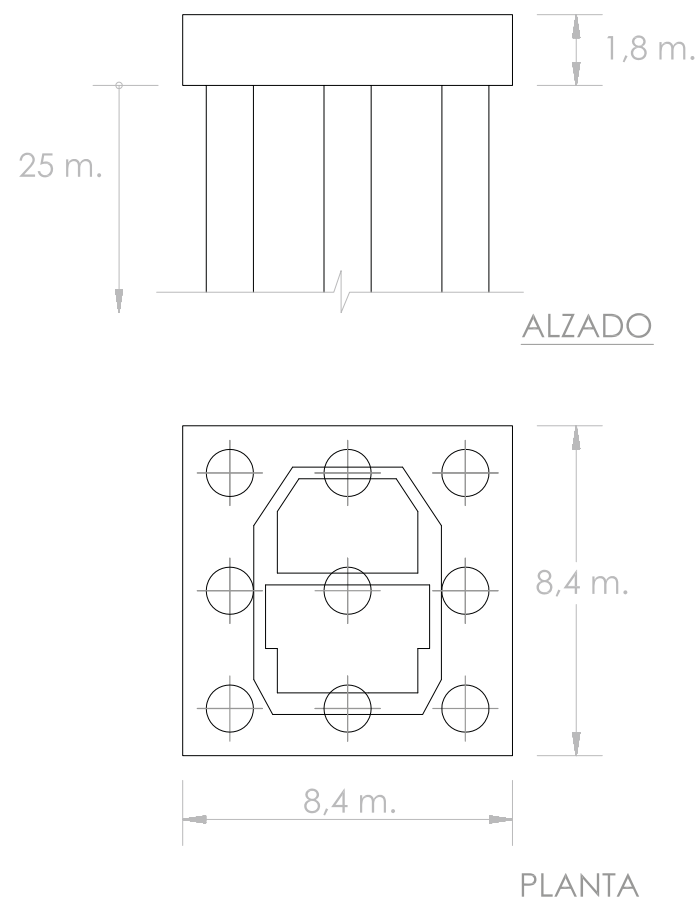
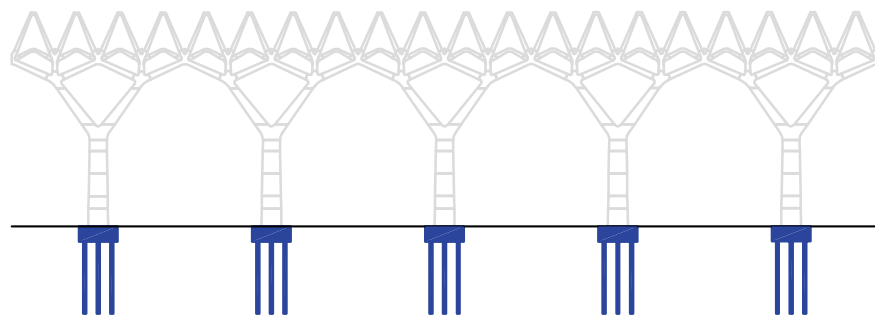


Ilustración 6.1. Fase inicial de las obras. Explanación. (Mayo 1995)



Ilustración 6.2. Cimentación por pilotes. (Septiembre 1995)



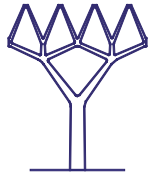
Ilustración 6.3. Armado del encepado.



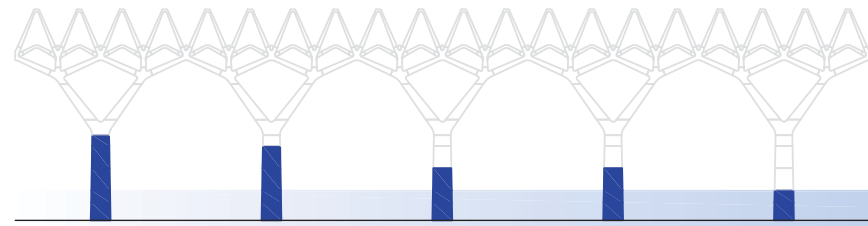
Ilustración 6.4. Excavación y agotamiento de agua.



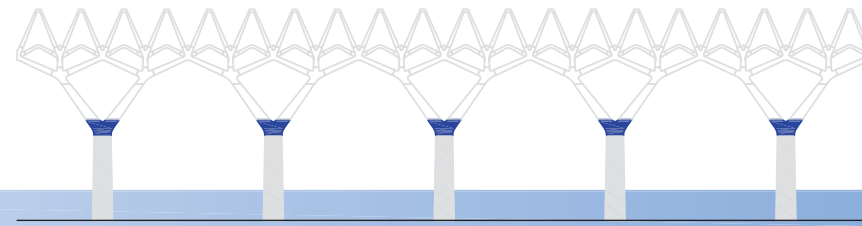
Ilustración 6.5. Solera de hormigón.



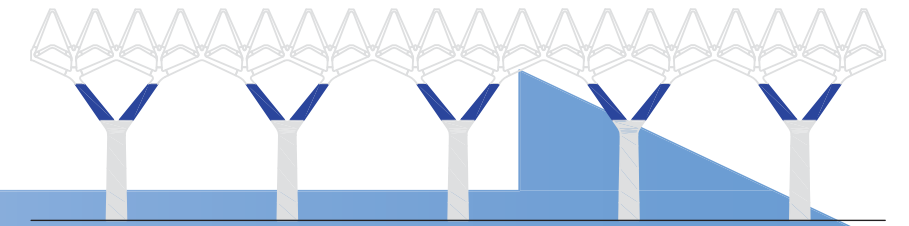
PROCESO DE EJECUCIÓN



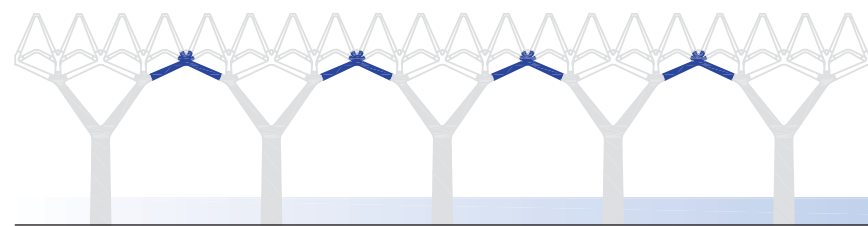
1. EJECUCIÓN DEL FUSTE DEL PILAR



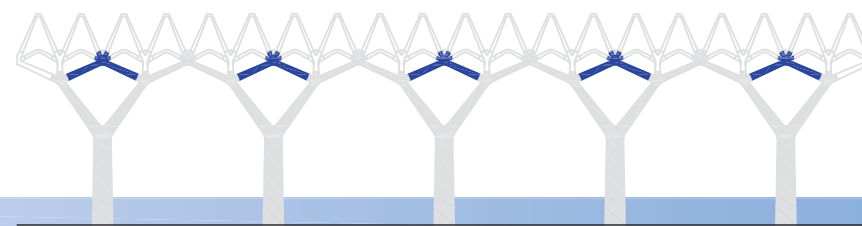
2. EJECUCIÓN DEL NUDO 1 (PRIMERA RAMIFICACIÓN)



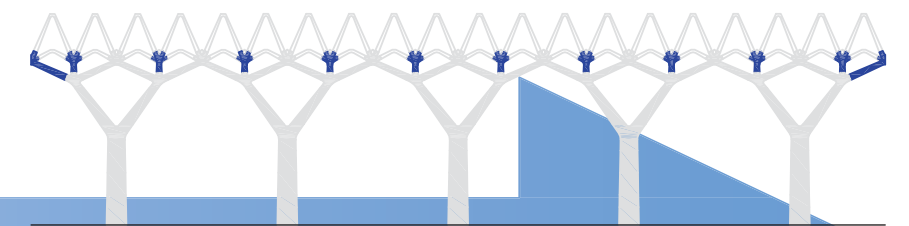
3. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 2



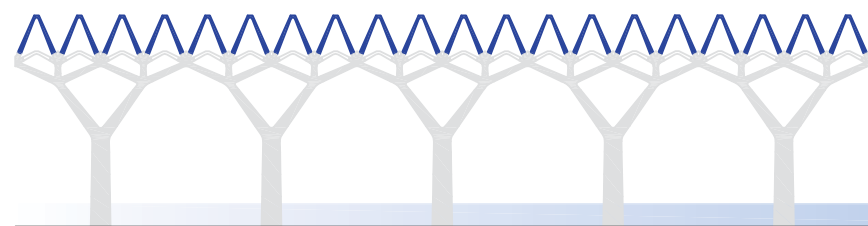
4.1. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 4 Y LOS NUDOS 2 Y 4



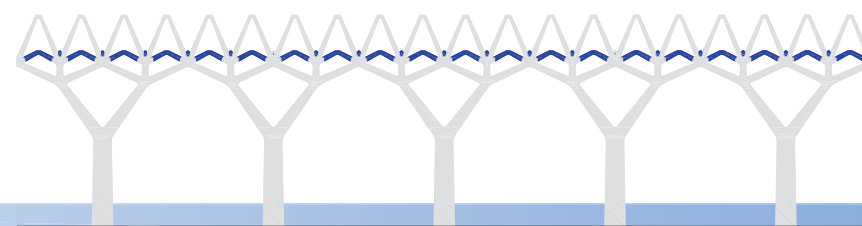
4.2. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 5 Y LOS NUDOS 2 Y 4



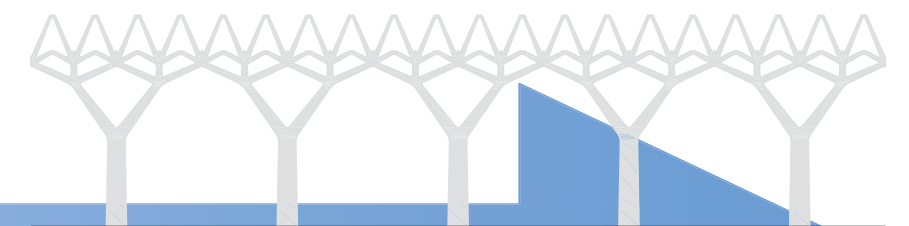
5. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 3 Y 4 (EXTREMAS) Y EL NUDO 3



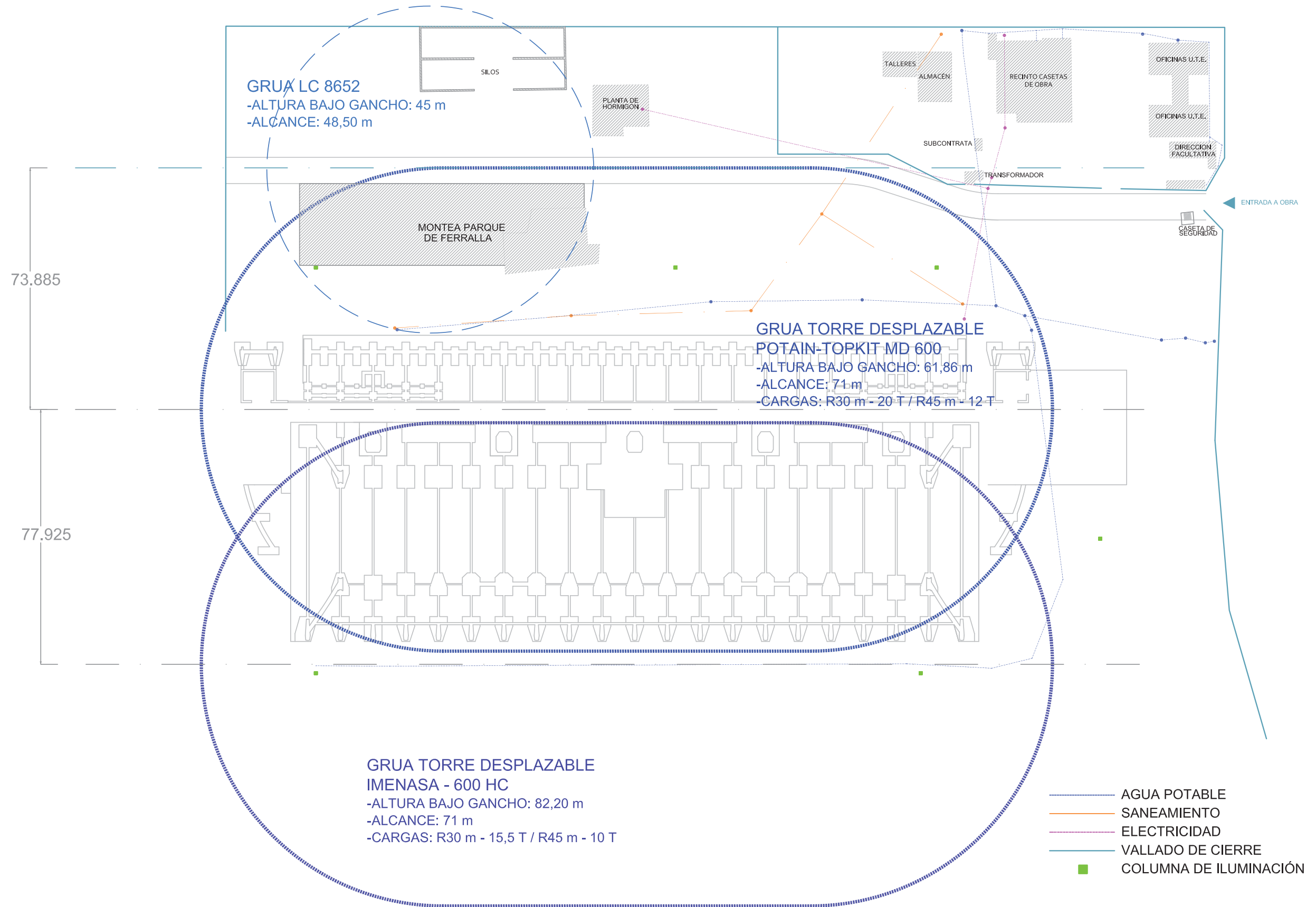
6. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 8

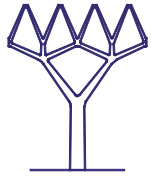


7. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 6 Y 7



8. FINALIZACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO





1. EJECUCIÓN DEL FUSTE DEL PILAR



Ilustración 6.6. Vista 1 aérea de la zona de trabajo del Museo.



Ilustración 6.7. Vista 2 aérea de la zona de trabajo del Museo.

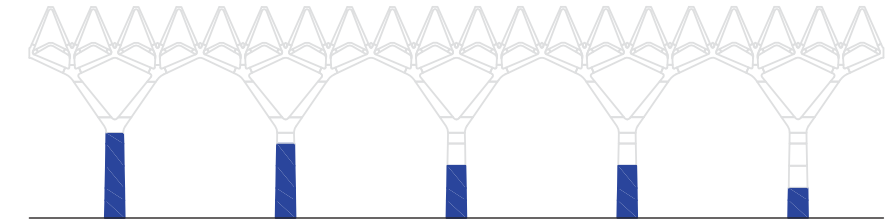


Ilustración 6.9. Fotografía exterior del núcleo de comunicaciones.

Después de ejecutar la cimentación y dejar las esperas de los módulos de los fustes de los árboles, se comenzará la estructura vista con la disposición correcta de los módulos del tronco. El orden de colocación de los árboles se realizará por el árbol más al oeste, y así consecutivamente hasta el este.

Los anillos prefabricados se dispondrán con la ayuda de un andamio que se irá colocando progresivamente a la altura que corresponda del anillo.

Los equipos empleados son varios. Para trabajar a nivel del tajo se utilizan andamios trepadores como se han nombrado anteriormente. Para la elevación de cargas se utilizan dos grúas torre y una grúa telescópica.

Los pilares tienen una diferencia en su interior, los dos pilares extremos albergan ascensores, mientras que los otros dos intermedios son núcleos de escalera. El pilar central es a la vez núcleo de escalera y montacargas.



Grúas Torre

Grúa telescópica

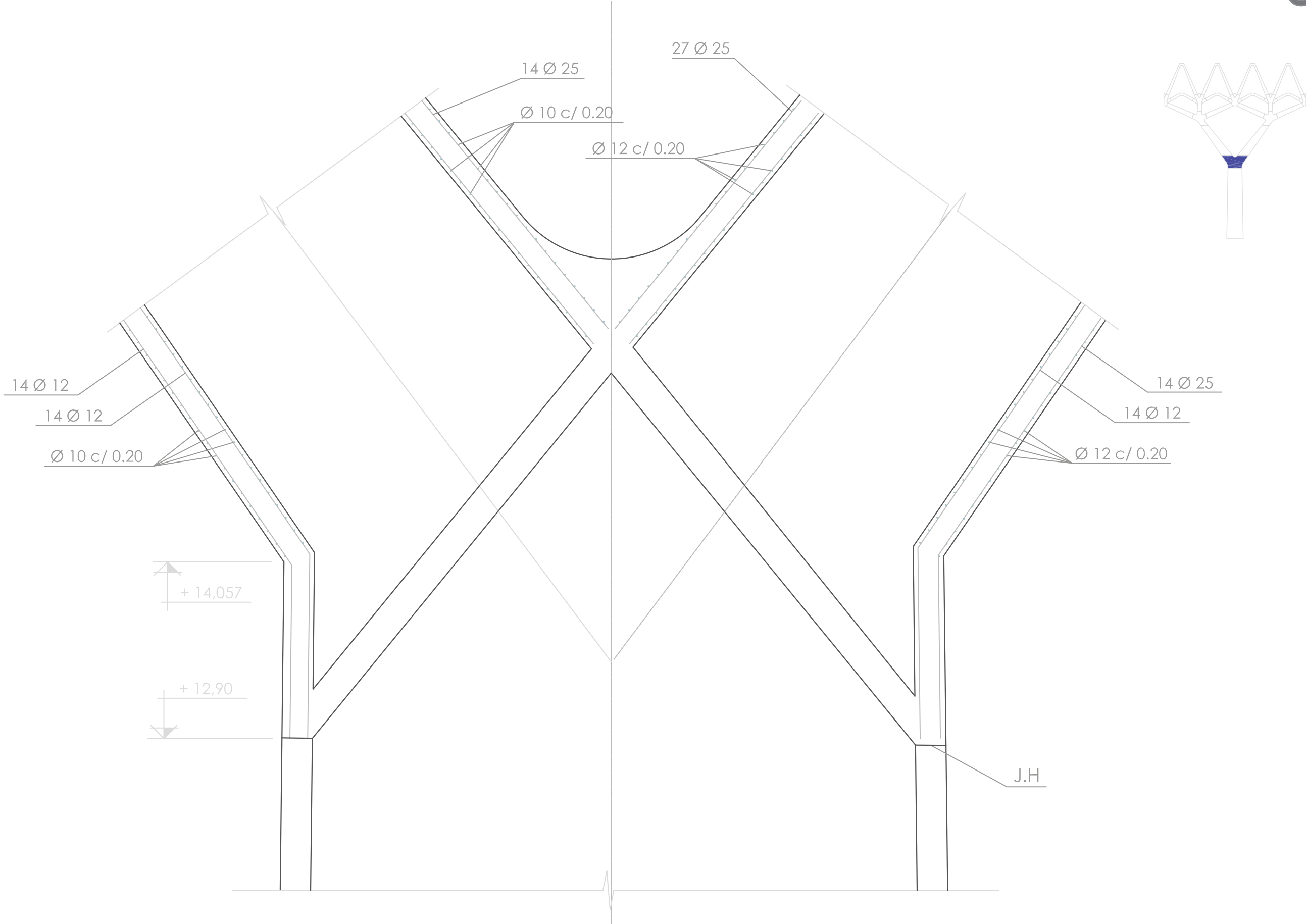
Andamio trepador

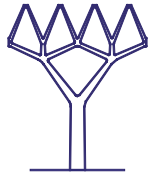
Ilustración 6.8. Vista ampliada de la Ilustración 6.7.



Ilustración 6.10. Fotografía interior del núcleo de comunicaciones.

NUDO 1





2. EJECUCIÓN DEL NUDO 1 (PRIMERA RAMIFICACIÓN)

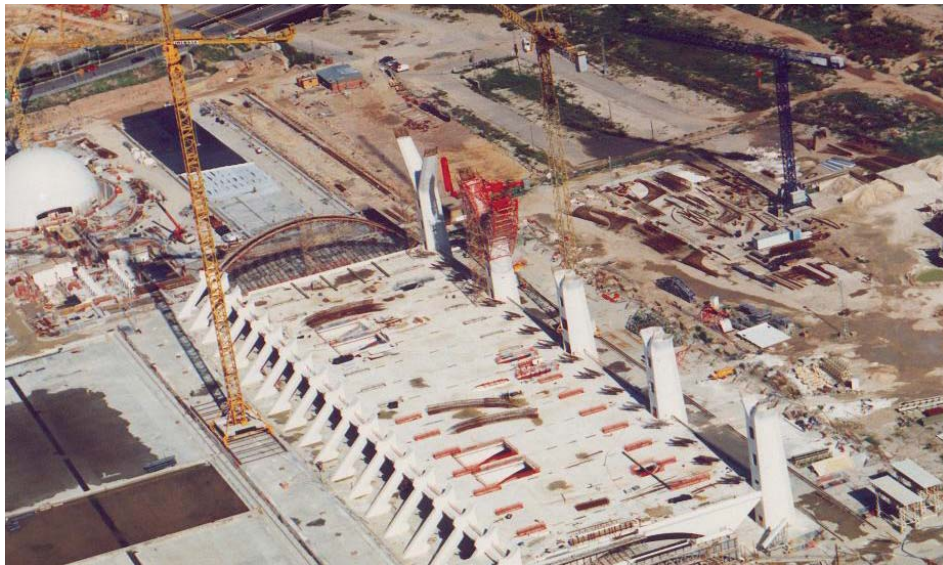
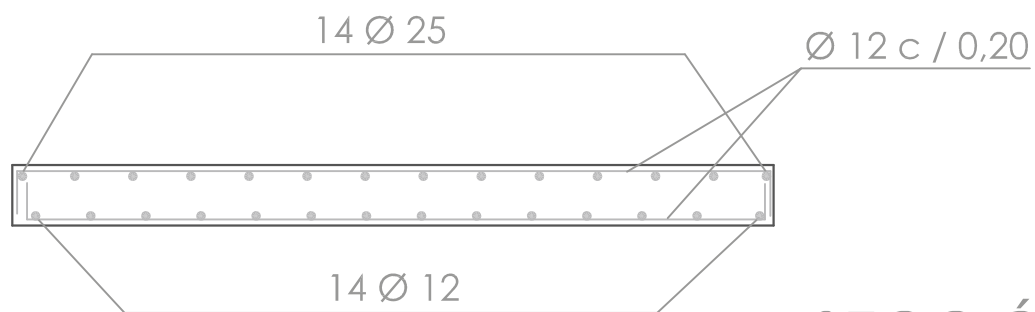


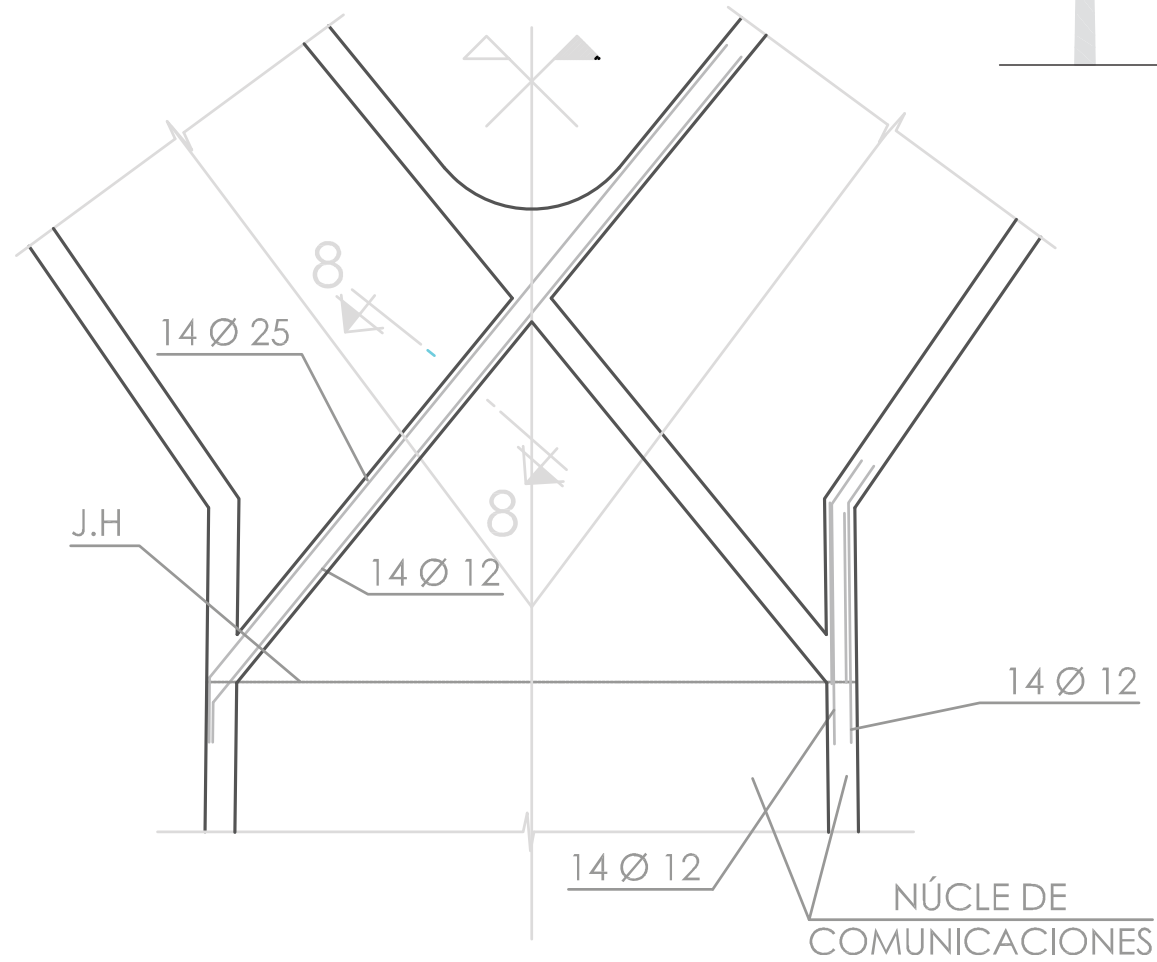
Ilustración 6.11. Vista aérea de la zona de trabajo del Museo.

Al terminar los fustes huecos, se pasa a ejecutar el primer nudo del árbol. Este nudo es el único nudo hueco. Materializa la primera ramificación del fuste haciendo su separación en dos ramas huecas (piezas 2).

La ejecución, al igual que en el fuste se realiza de oeste a este, así podemos reutilizar los encofrados, ya que estos tienen un elevado coste debido a su compleja forma.



SECCIÓN 8-8
ESCALA 1:25



SECCIÓN. ESPERAS
ESCALA 1:50
(ARMADURA CARAS ESTE Y OESTE DE RAMAS INTERIORES DE ARBOLES)

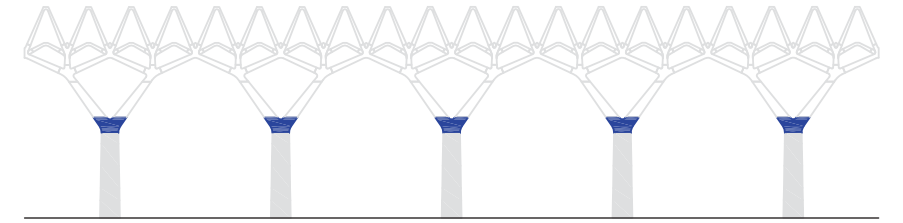


Ilustración 6.12. Fotografía del nudo 1.

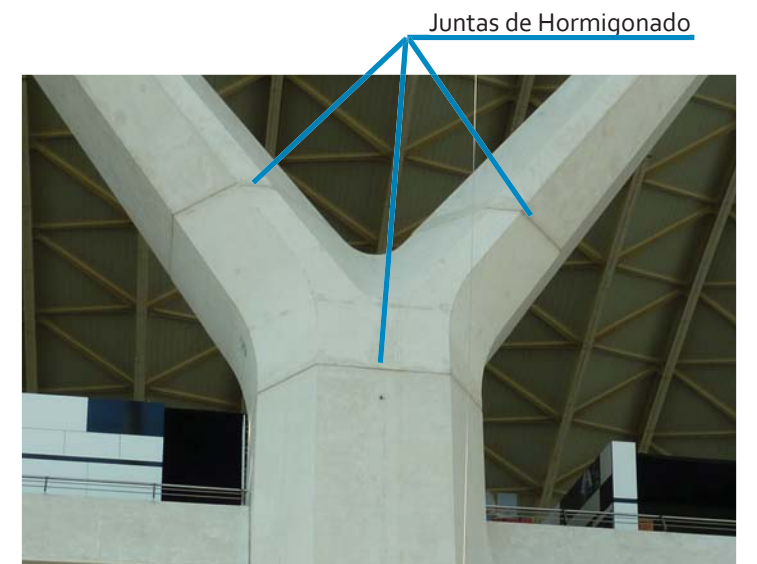
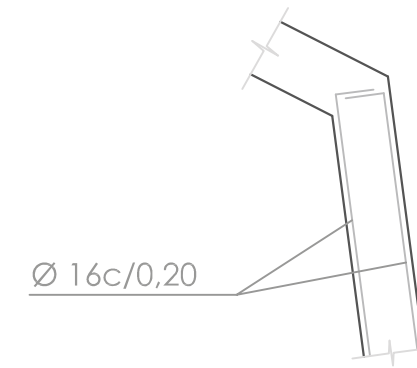
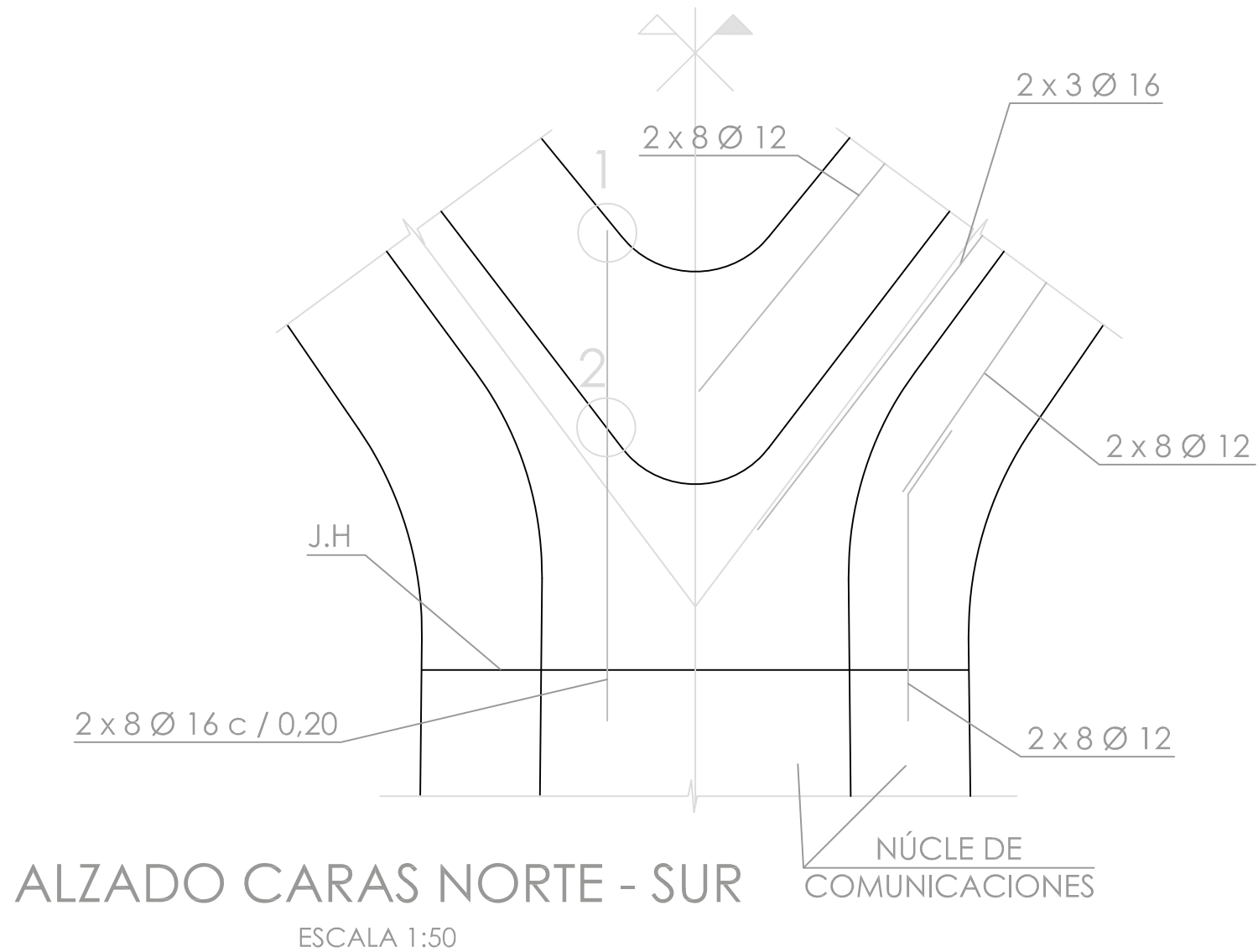
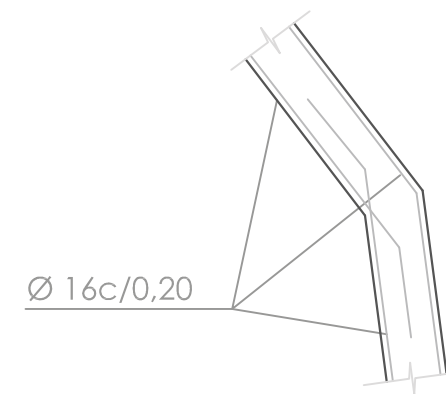


Ilustración 6.13. Fotografía del nudo 1.

NUDO 1



DETALLE -1-
ESCALA 1:2,5



DETALLE -2-
ESCALA 1:2,5

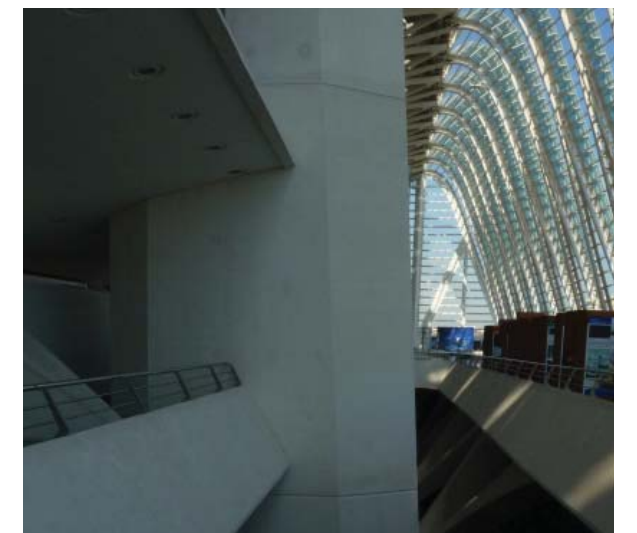
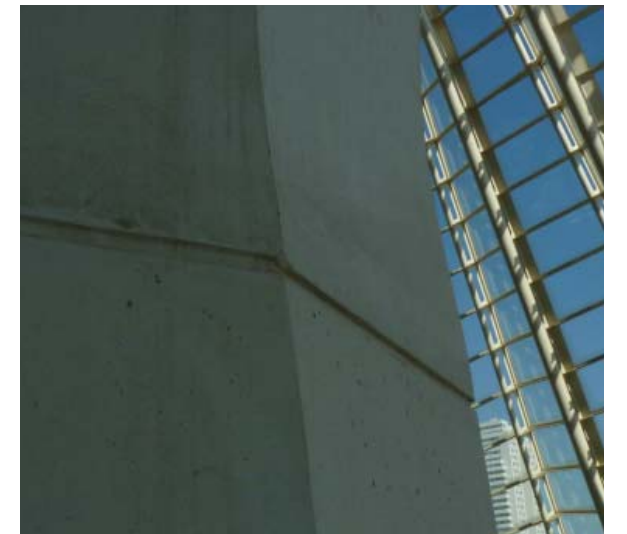
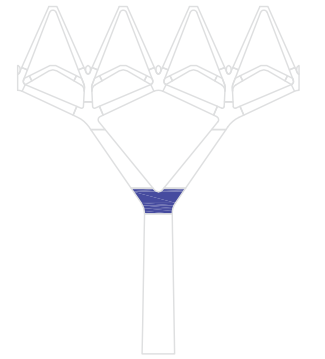
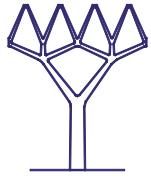


Ilustración 6.14. y 6.15. Fotografías de juntas de hormigonado, donde también se aprecian las perforaciones empleadas para la sujeción de los andamios.

Las juntas de hormigonado son vistas y marcadas con un rehundido de 1,5 cm. Esto se debe a un motivo estético de modulación, y a la vez a un motivo de movimientos estructurales. La junta sirve para camuflar las posibles fisuras que pueden originarse por dilataciones y contracciones del hormigón.

Los equipos empleados son los mismos que en el fuste; dos grúas torre, una grúa telescópica, andamios y encofrados específicos de las piezas a hormigonar.



3. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 2



Ilustración 6.16. Vista aérea de la zona de trabajo del Museo.

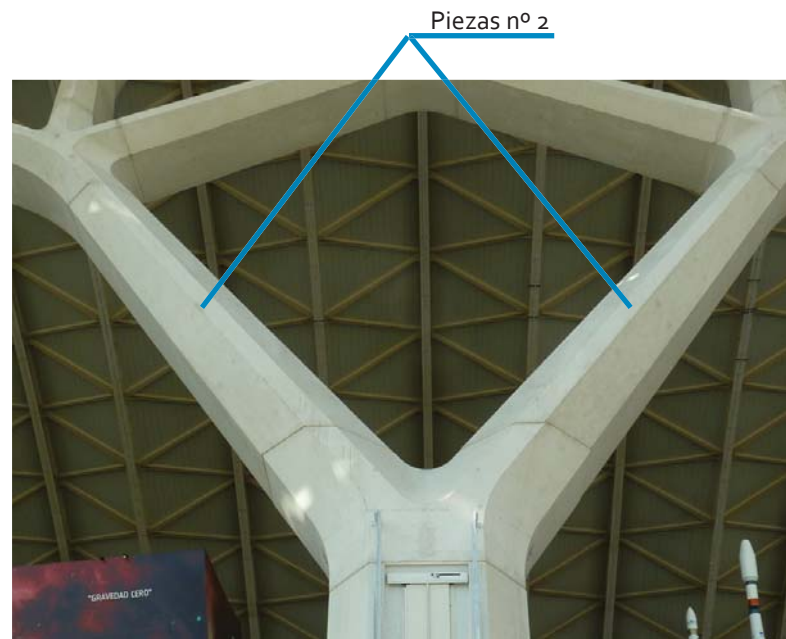


Ilustración 6.17. Fotografía de las piezas nº 2.



Ilustración 6.18. Vista aérea de la zona de trabajo del Museo.

A la vez que se realiza el último nudo 1, se comienza a ejecutar la primera fase de ramificación. Para poder hormigonar estas ramas, se han debido dejar las esperas del nudo 1, y a continuación se encofran con unos encofrados metálicos confeccionados en taller. Estos encofrados llevan incorporado el andamio por donde los operarios pueden acceder al hormigonado de la pieza.

Las piezas nº 2 también son huecas, por lo que llevarán encofrado en la cara exterior e interior.

En las fotografías 6.16. y 6.18. se observa una gran cantidad de armaduras en la planta del museo. Todo este armado es para la confección de las piezas nº 2. También se observan unas piezas grises, que son los encofrados de las mismas piezas.

Por último, al ejecutar las ramas del quinto pilar, se comienza a encofrar las piezas 4 y 5 con sus respectivos nudos (2 y 3).

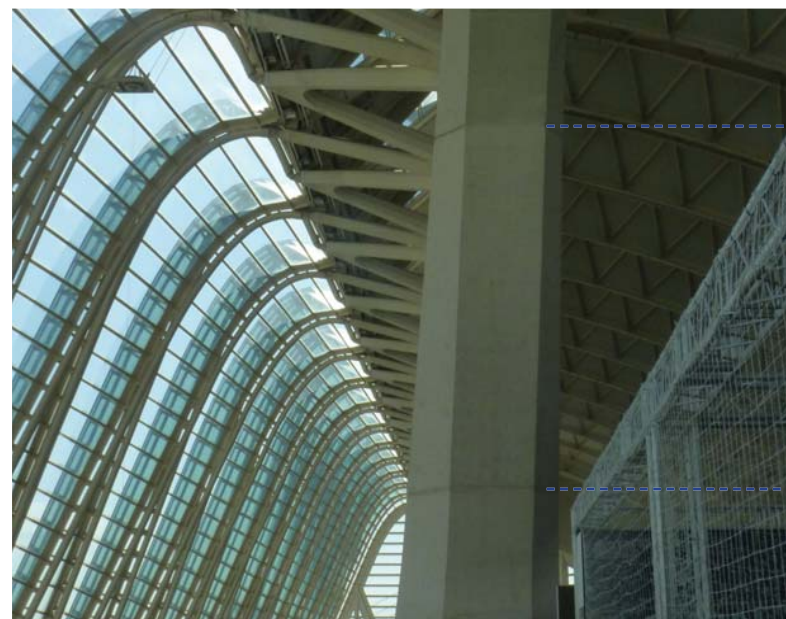
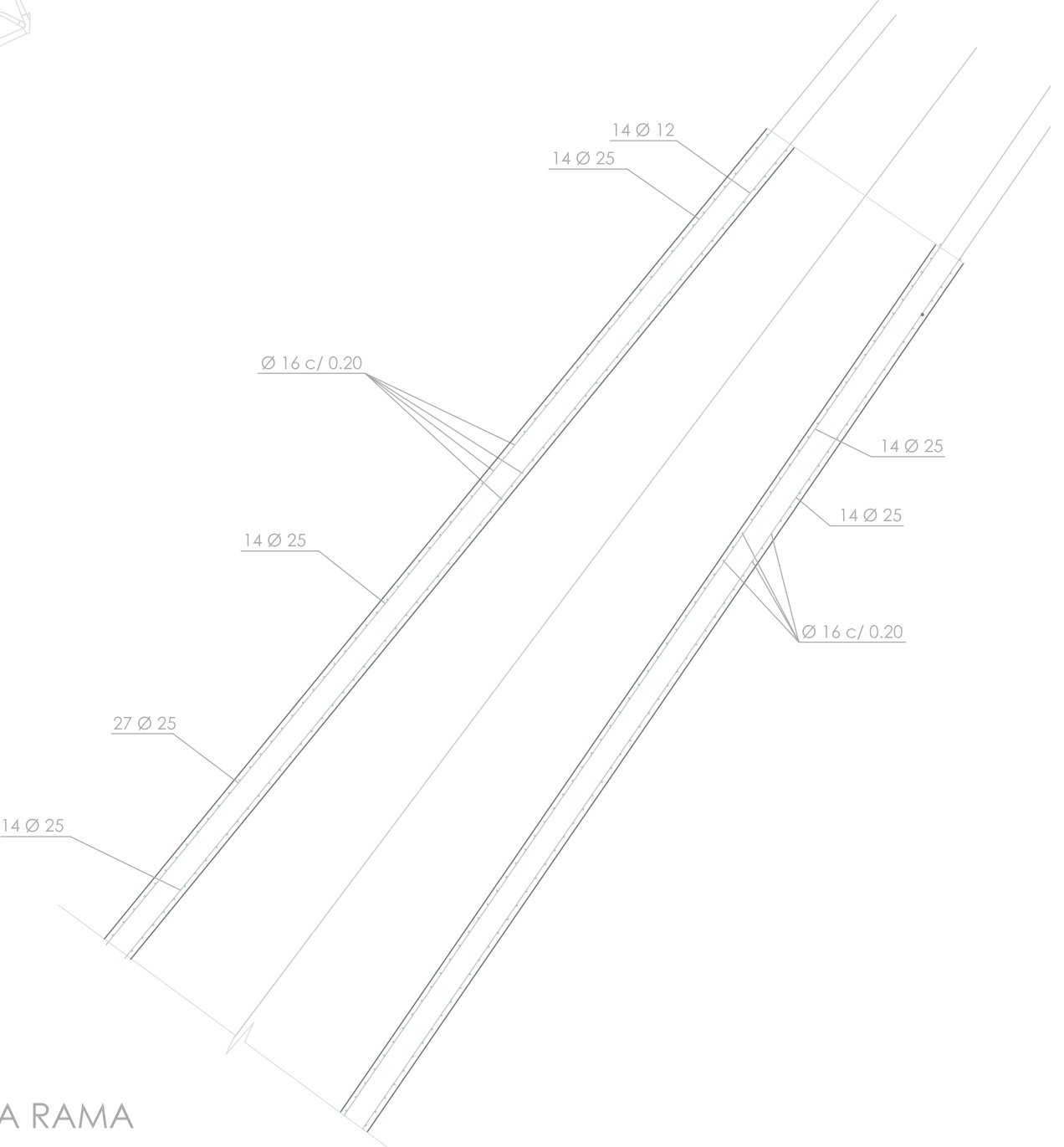
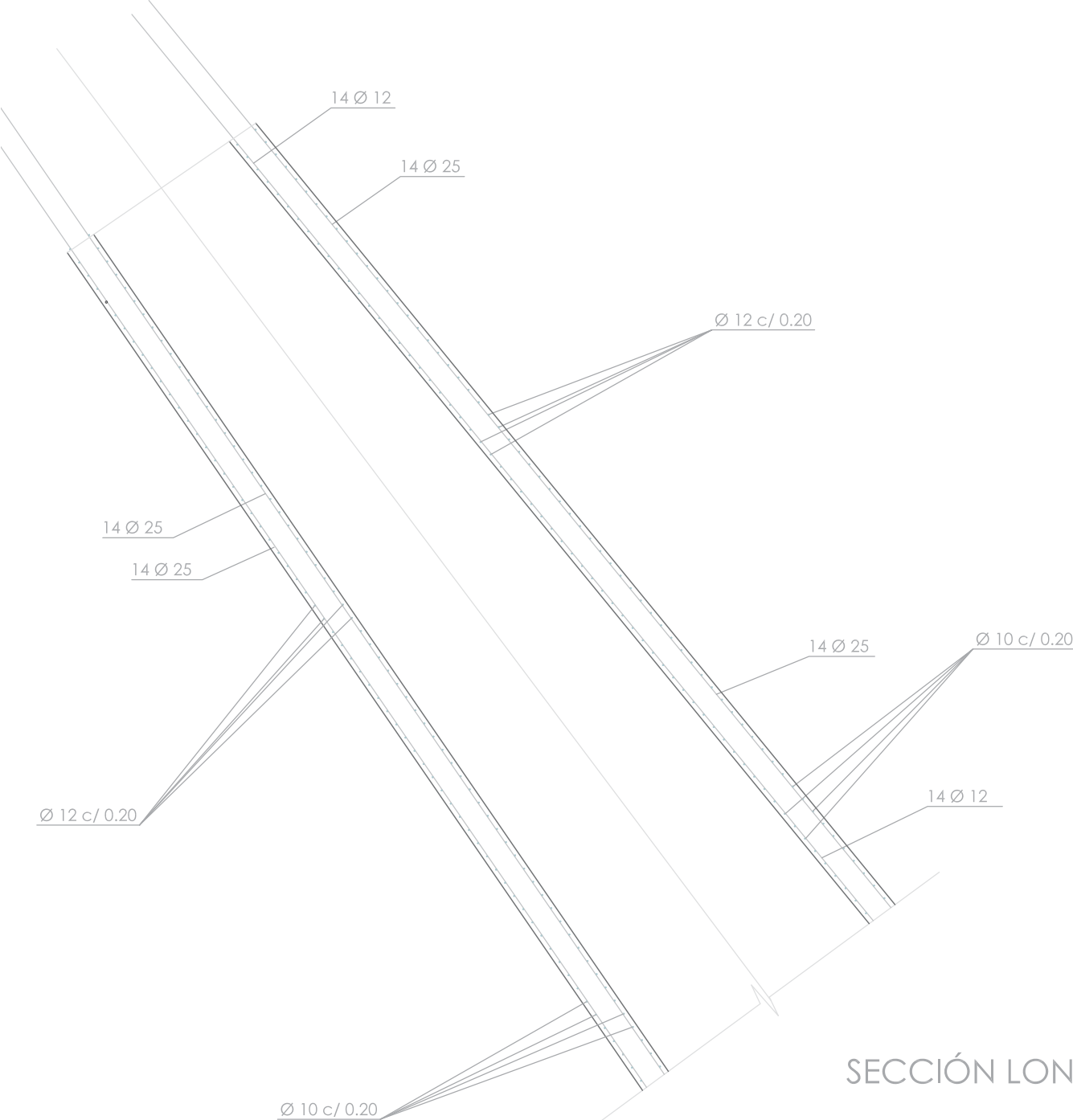
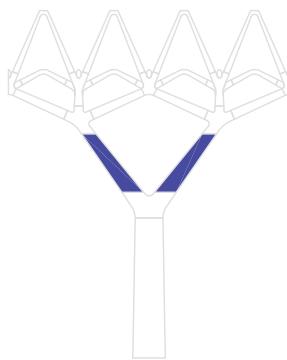


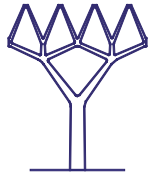
Ilustración 6.19. Fotografía del perfil de la pieza número 2, donde se aprecia la cara norte inclinada.



PIEZA 2



SECCIÓN LONGITUDINAL DE LA RAMA
ESCALA 1:50



4. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 4 Y 5 Y LOS NUDOS 2 Y 4

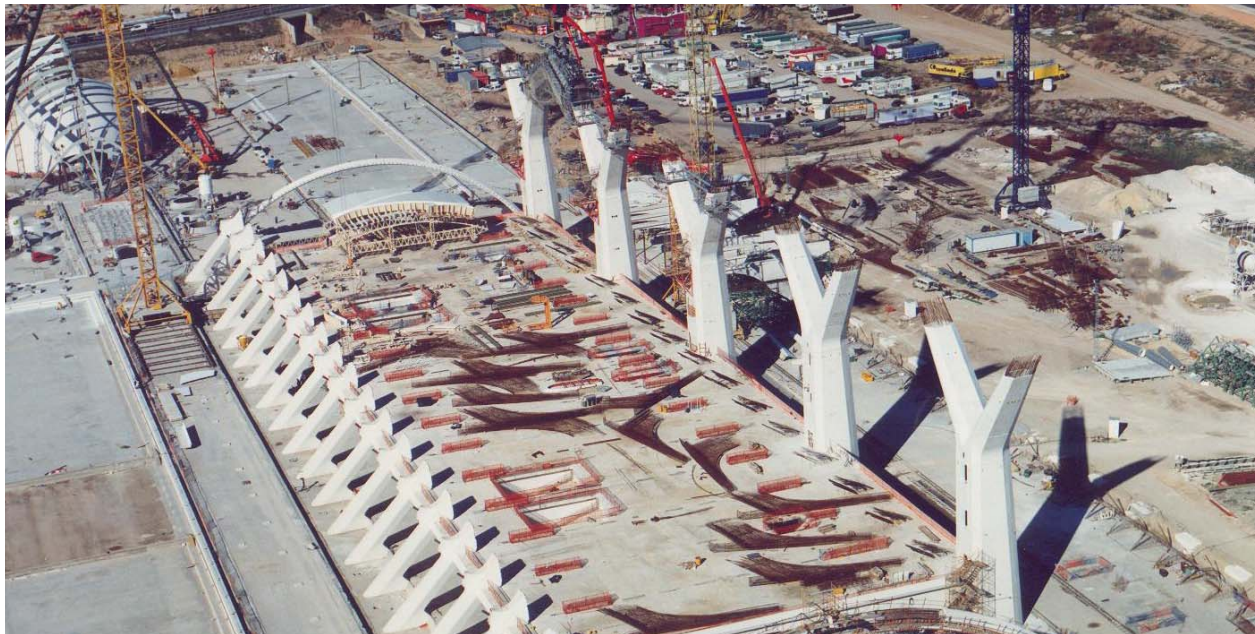


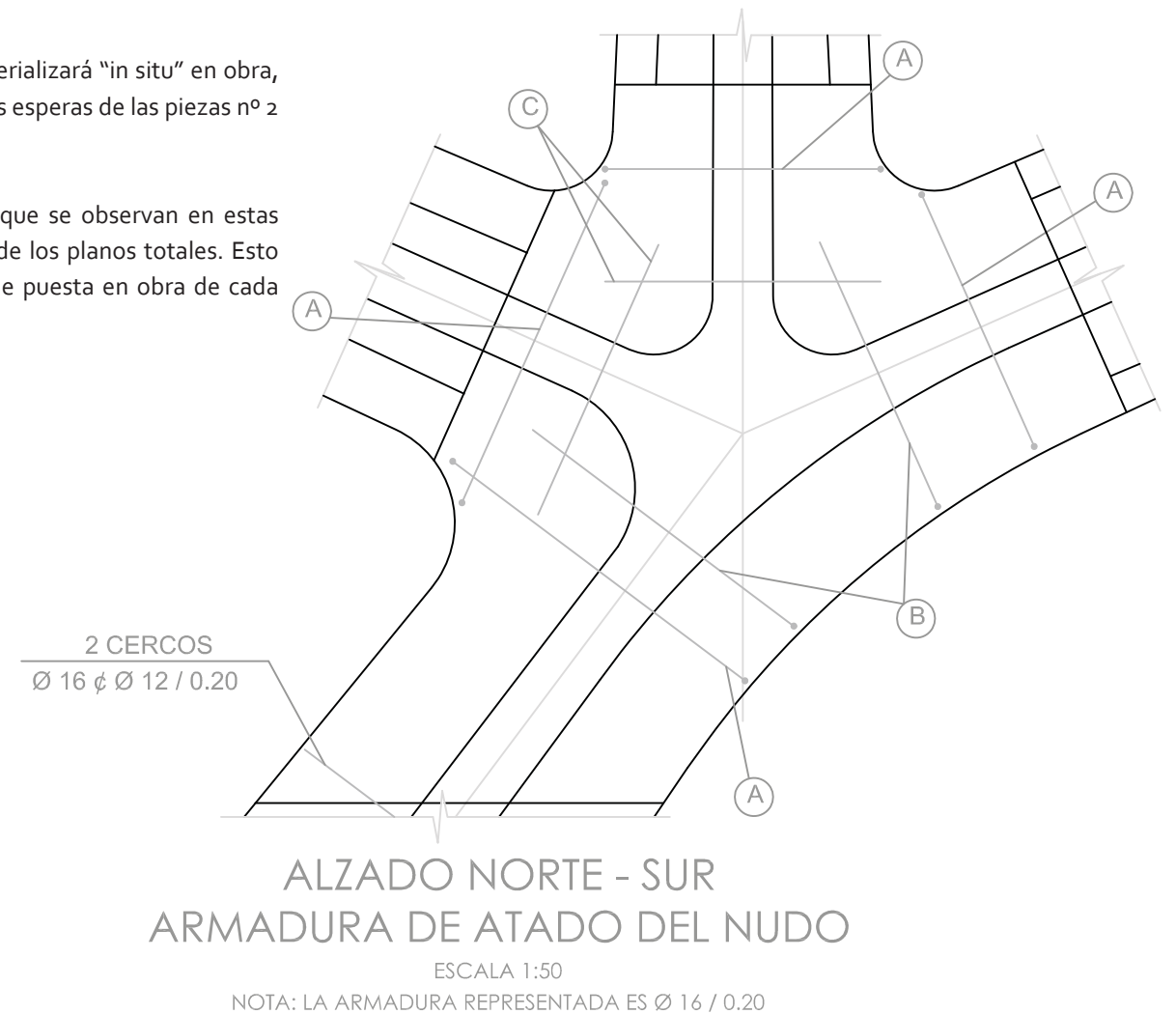
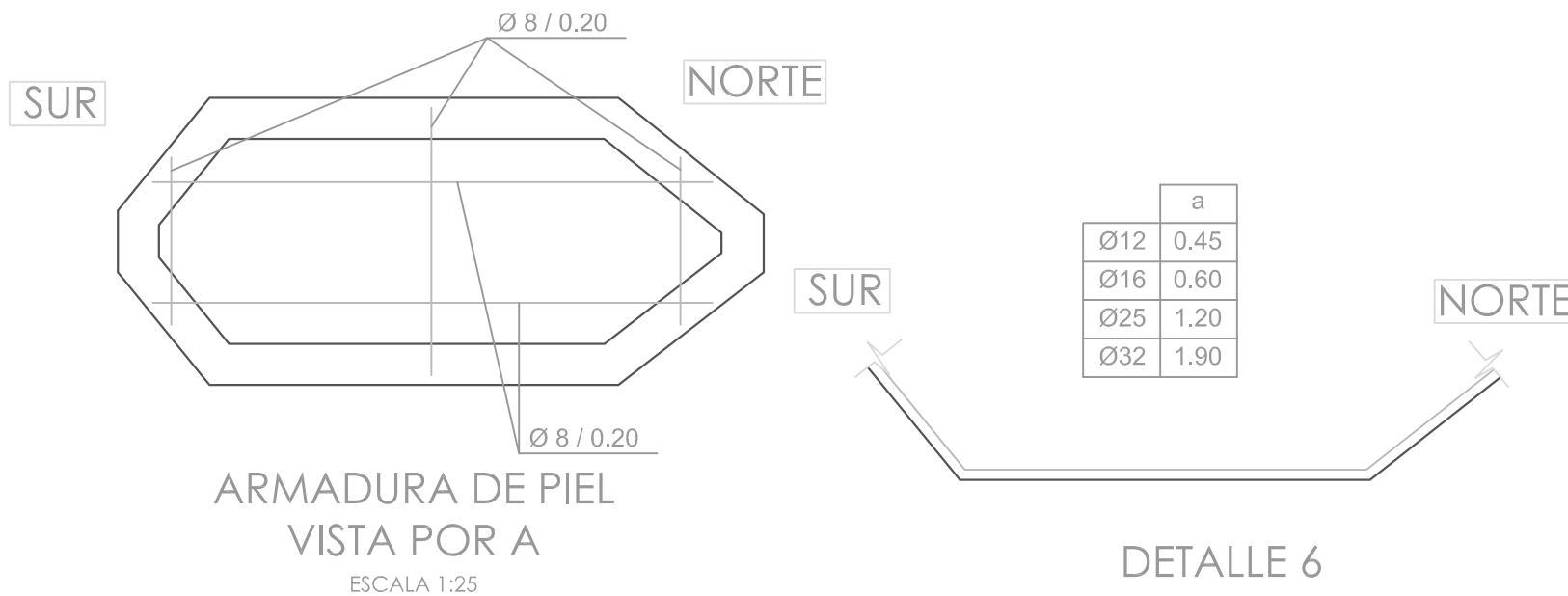
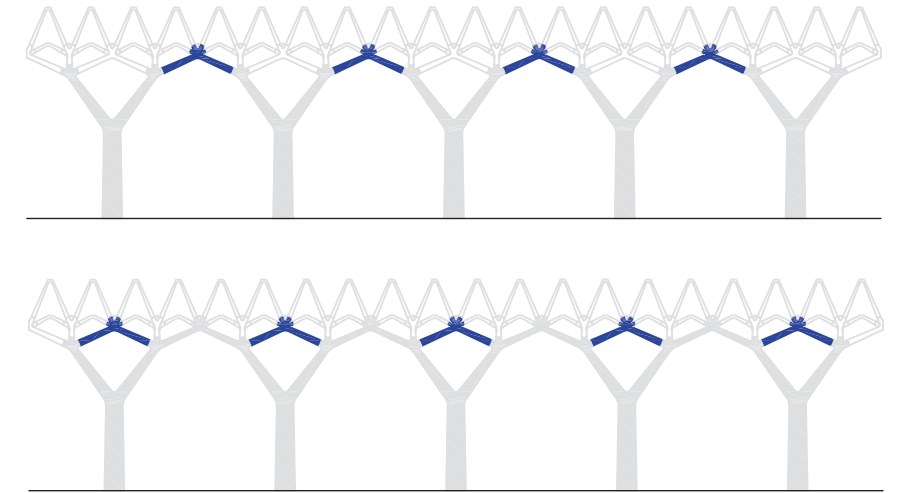
Ilustración 6.20. Vista aérea de la zona de trabajo del Museo.

El primer elemento que se ejecutará en este paso, serán los nudos nº 2, que irán a continuación de las piezas nº 2. Todo este proceso se realizará mediante un andamio trepador situado en dichas piezas.

El nudo nº 2 es totalmente macizo a diferencia de las piezas que convergen en él. Este nudo será el que recoja cargas de tres diferentes piezas superiores (3, 4 y 5) y las transmita a la pieza 2. Por todo ello es un nudo muy importante en la estructura del pilar.

El hormigonado se materializará "in situ" en obra, garantizando la adherencia de las esperas de las piezas nº 2 con el hormigón de los nudos.

Los planos de armadura que se observan en estas dos láminas son solo una parte de los planos totales. Esto nos demuestra la complejidad de puesta en obra de cada uno de los elementos del pilar.



NUDO 2

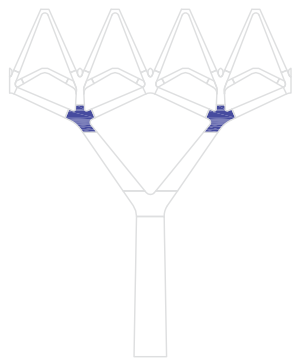
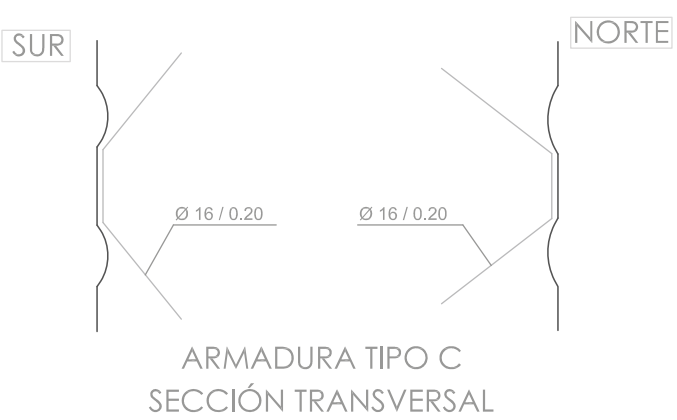
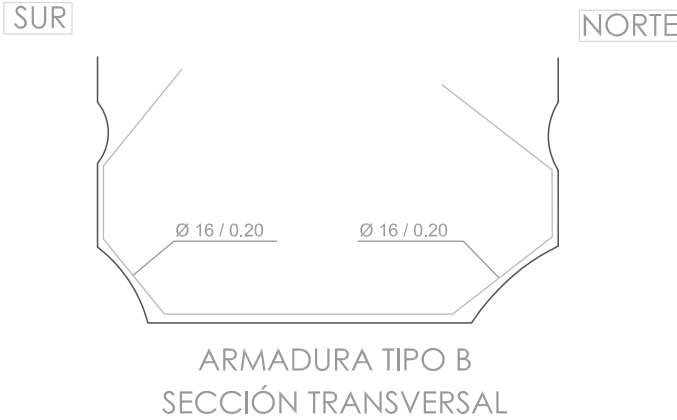
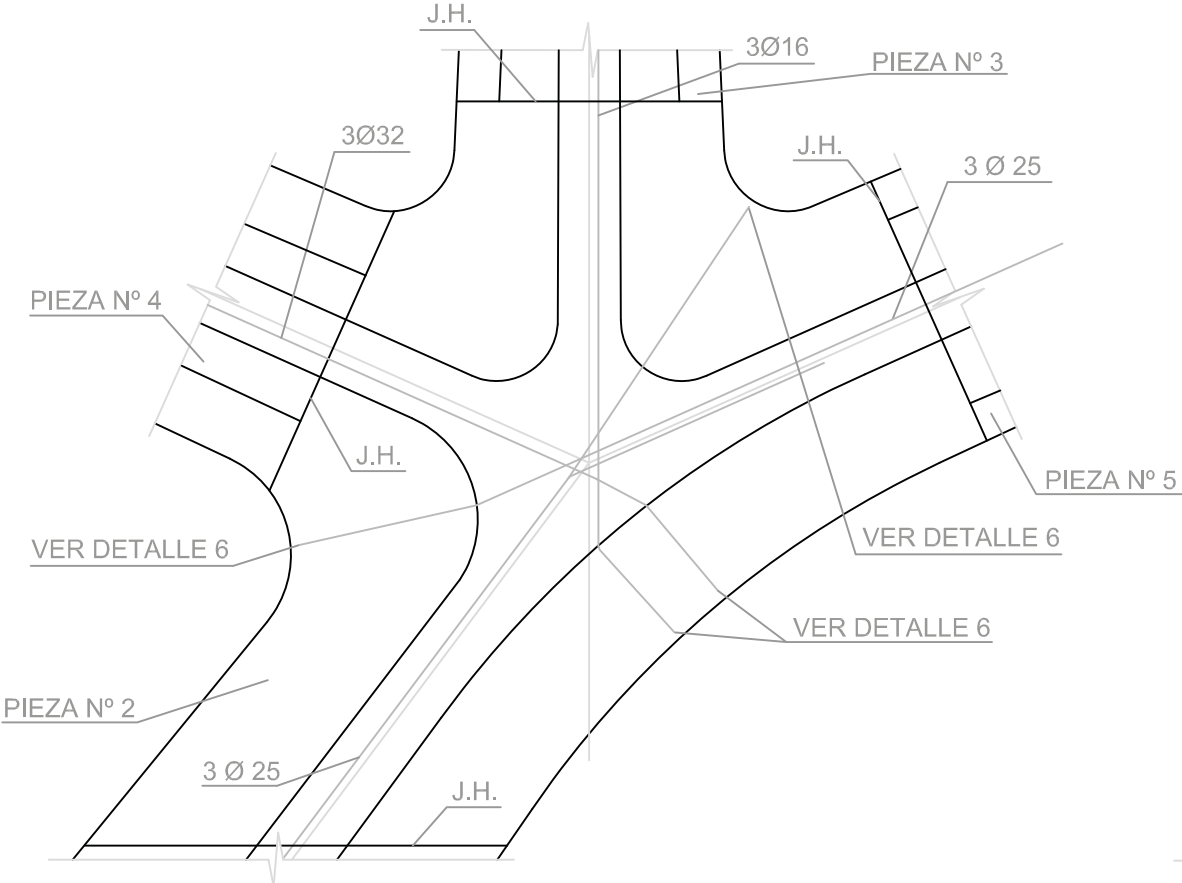


Ilustración 6.21. Fotografía del nudo 2 dirección norte.



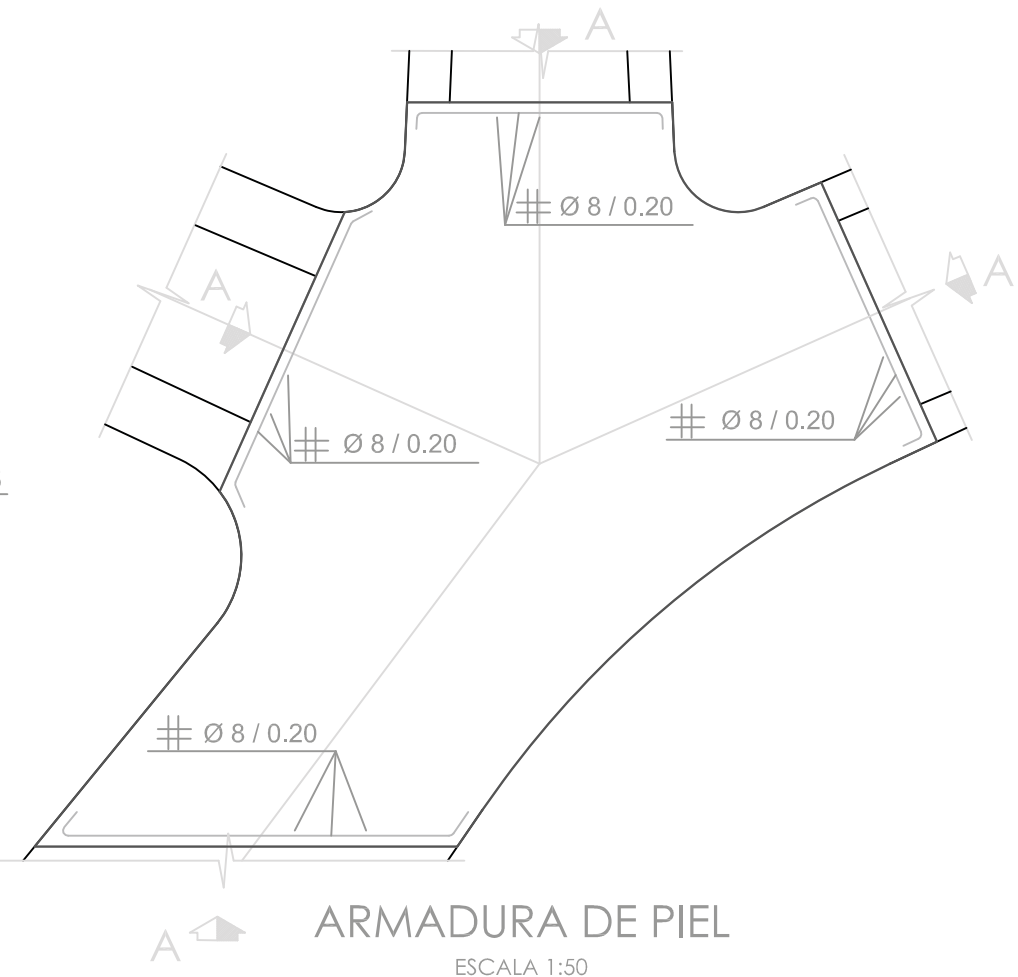
Ilustración 6.22. Fotografía del nudo 2 dirección sur.

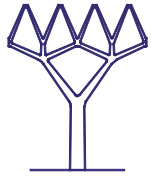


ANCLAJE DE LAS ARMADURAS DE LOS PARAMENTOS NORTE-SUR DE LAS PIEZAS 2, 3, 4 Y 5

ESCALA 1:50

NOTA: SOLO SE REPRESENTA LA ARMADURA DE LA CARA EXTERIOR, LA ARMADURA DE LA CARA INTERIOR SE ANCLARÁ A PARTIR DE LA LÍNEA DE CONTORNO DEL NUDO MACIZO





4. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 4 Y 5 Y LOS NUDOS 2 Y 4

Las piezas 4 y 5 irán a continuación de los nudos nº 2. Estas piezas son de sección hueca como se indica en los planos de armado.

Ambas piezas aparentemente son iguales, pero cada una tiene una función diferente. Las piezas nº 4 se encargan de cerrar el arco propio del pilar, mientras que las piezas nº 5 tienen una función mayor, atar los diferentes pilares, para que estos trabajen como uno solo.

La puesta en obra de estas piezas se realizará con un andamio especial, que a la vez que sirve de pasarela para los operarios, se utiliza como encofrado recuperable.

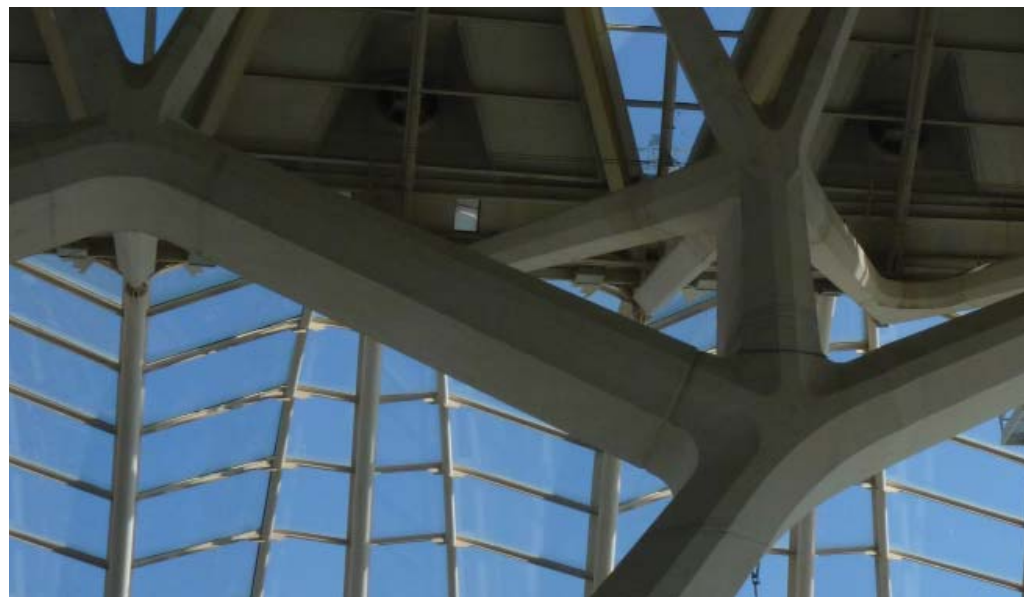
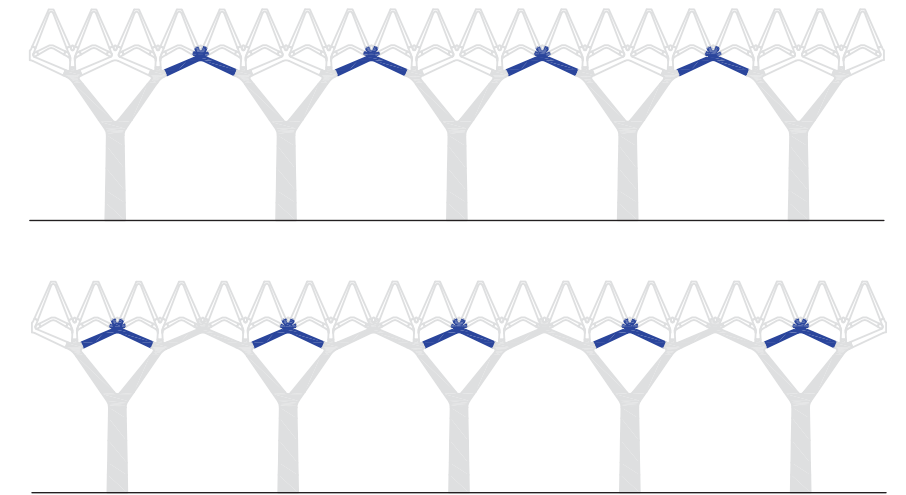
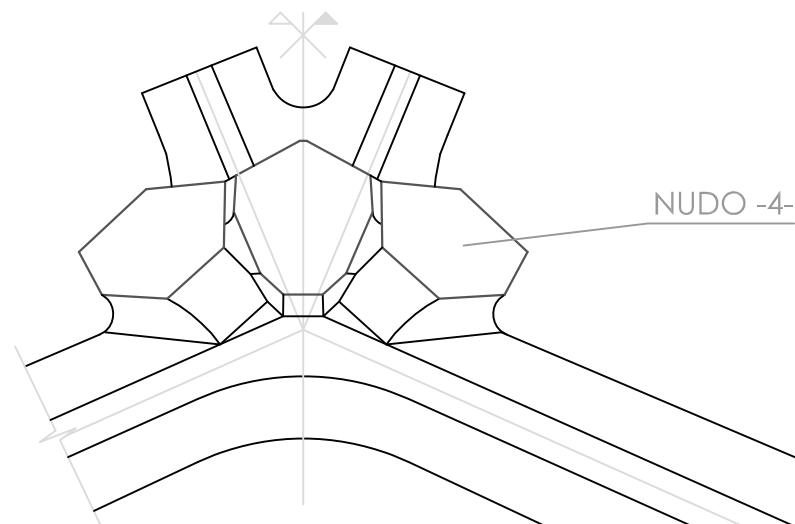
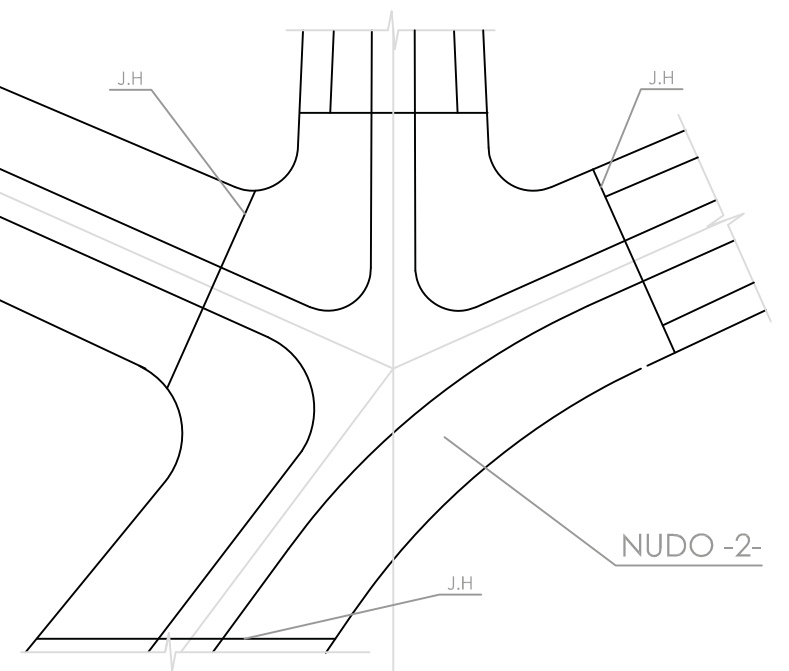


Ilustración 6.23. Fotografía de la pieza 4.

ALZADO NORTE - SUR
ESCALA 1:75



PIEZAS 4 Y 5

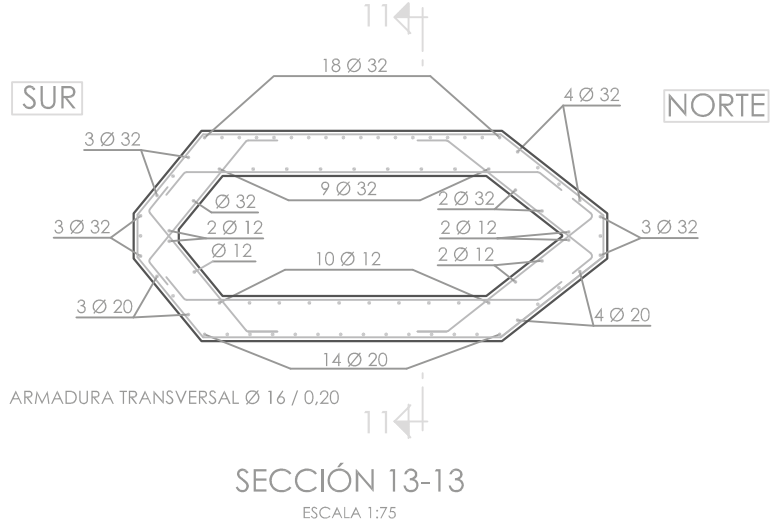
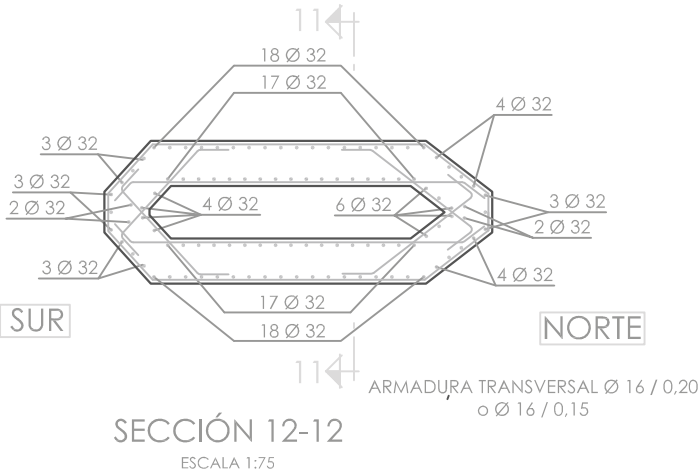
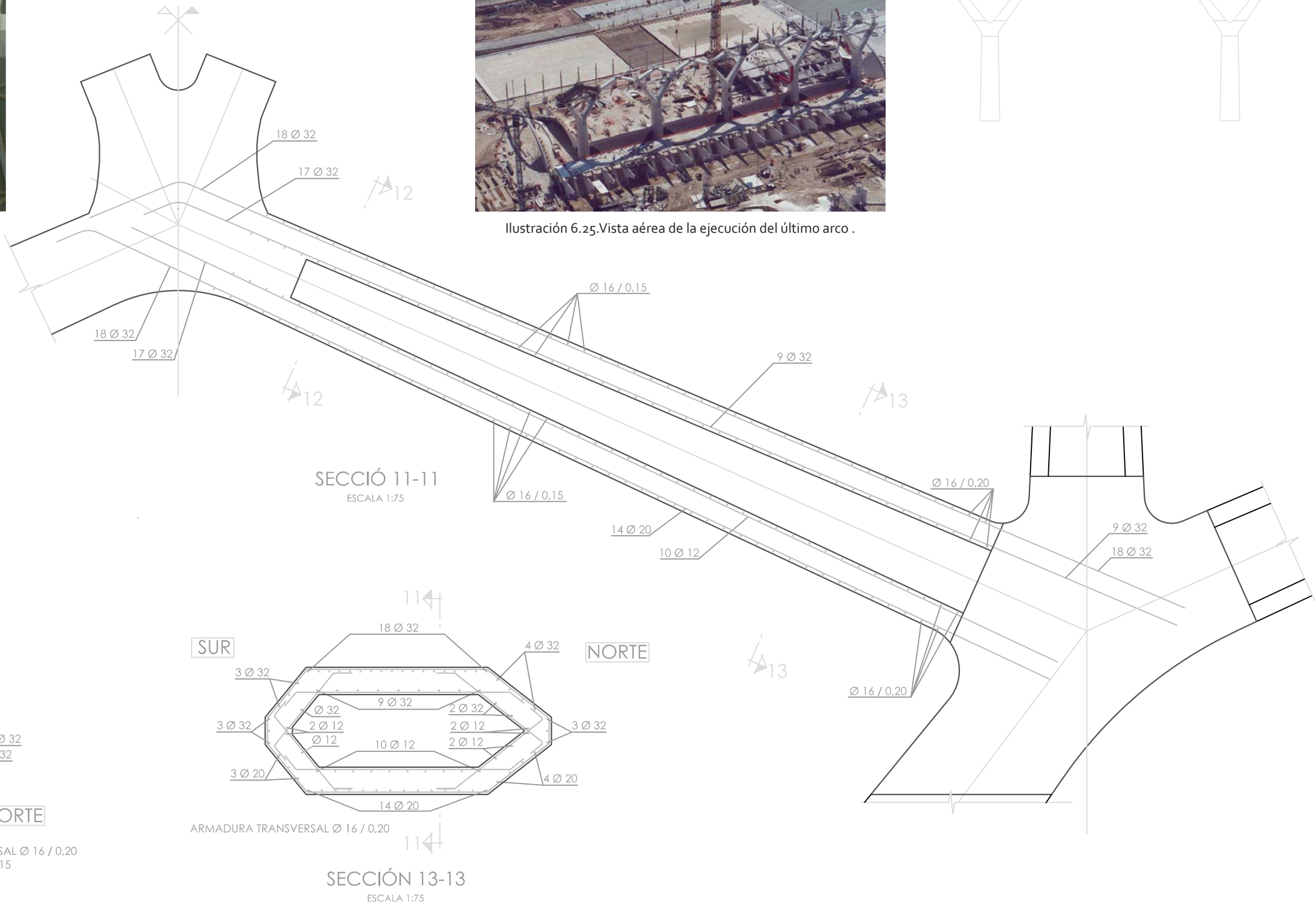
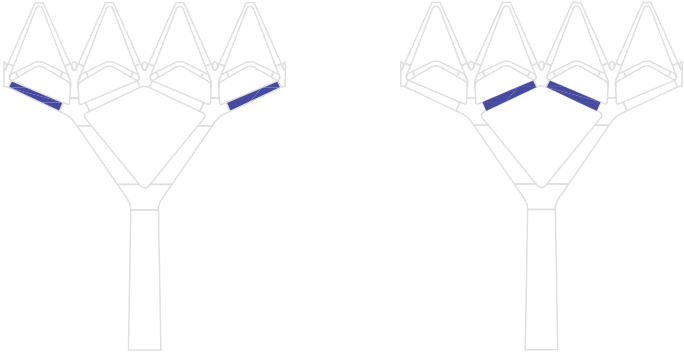


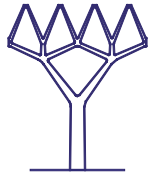
Piezas nº 4 Piezas nº 5

Ilustración 6.24. Fotografía del nudo 2.



Ilustración 6.25. Vista aérea de la ejecución del último arco.





4. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 4 Y 5 Y LOS NUDOS 2 Y 4

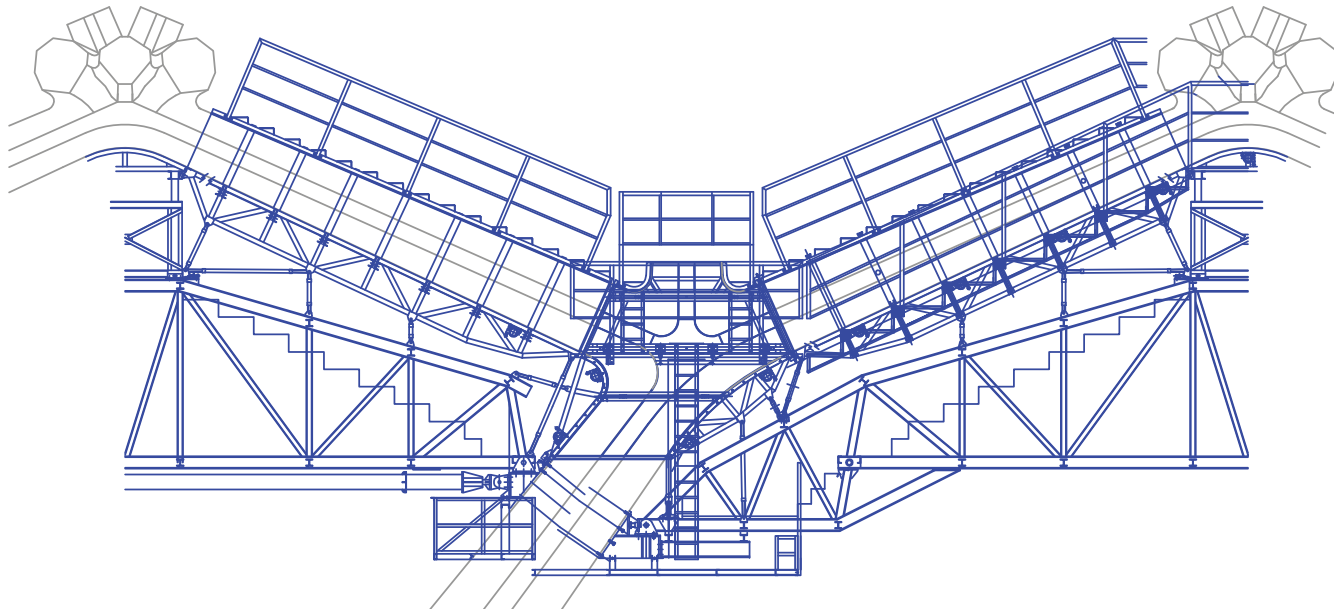


Ilustración 6.22. Encofrado y andamio de las piezas 4 y 5.

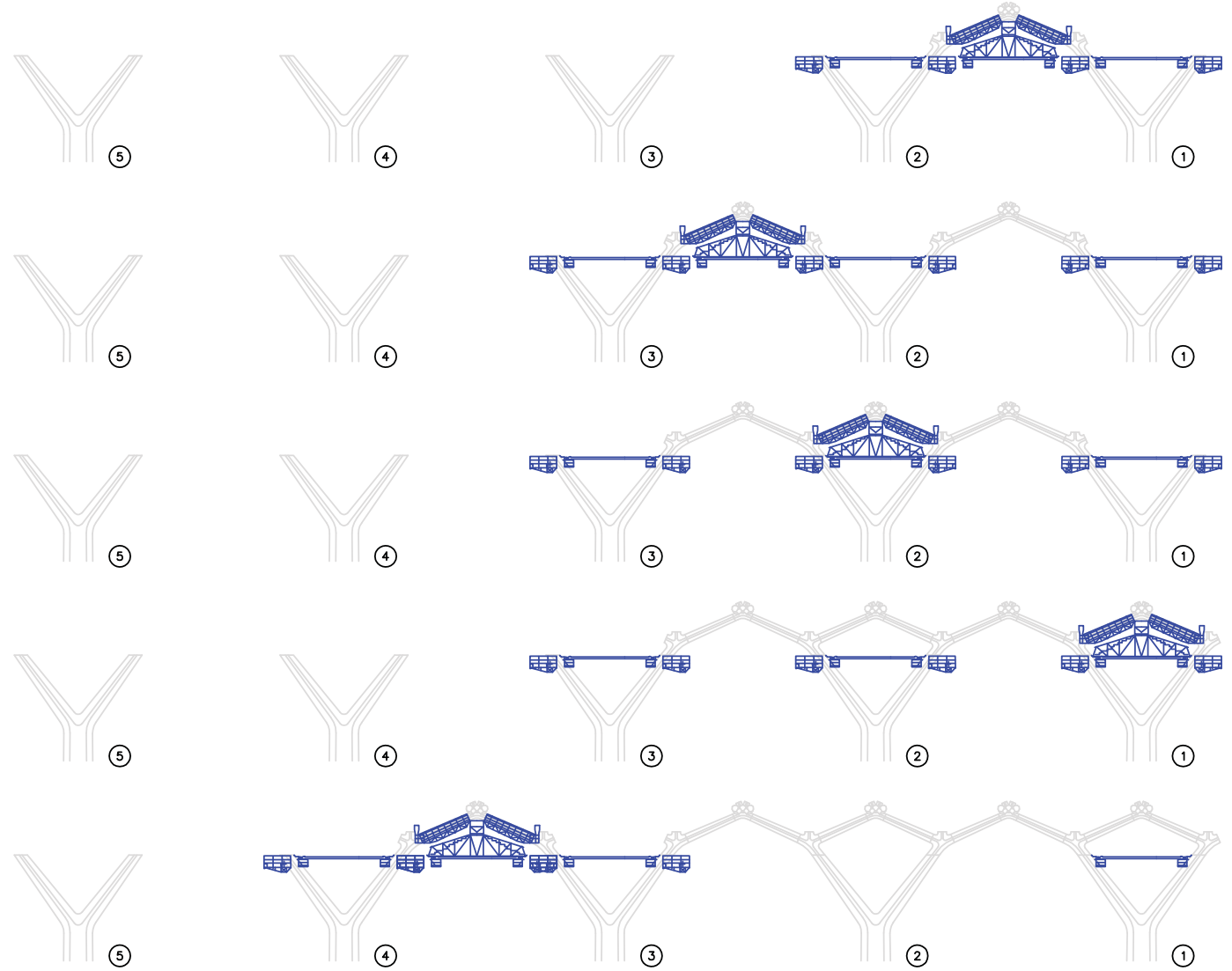


Ilustración 6.26. Ejecución de las piezas nº 5.



Ilustración 6.27. Ejecución de las piezas nº 4.



Ilustración 6.28. Piezas nº 5 terminadas.



Ilustración 6.29. Ejecución de las piezas nº 4.



Ilustración 6.30. Ejecución de las piezas nº 5.



Ilustración 6.31. Ejecución de las piezas nº 4.

En la construcción de las piezas 4 y 5 existe un orden de ejecución que debe seguirse meticulosamente para materializar la unión de todos los pilares. Este consiste en ejecutar primero los arcos que unen las piezas nº 2 de dos pilares diferentes, esto hace que los dos pilares trabajen simultáneamente. En segundo lugar se ejecutarán los arcos propios del pilar (piezas nº 5).

Estos dos procesos se pueden simultanear como indican los esquemas de la parte superior.



Ilustración 6.21. Vista de la zona de trabajo del Museo desde la fachada sur.

NUDO 4

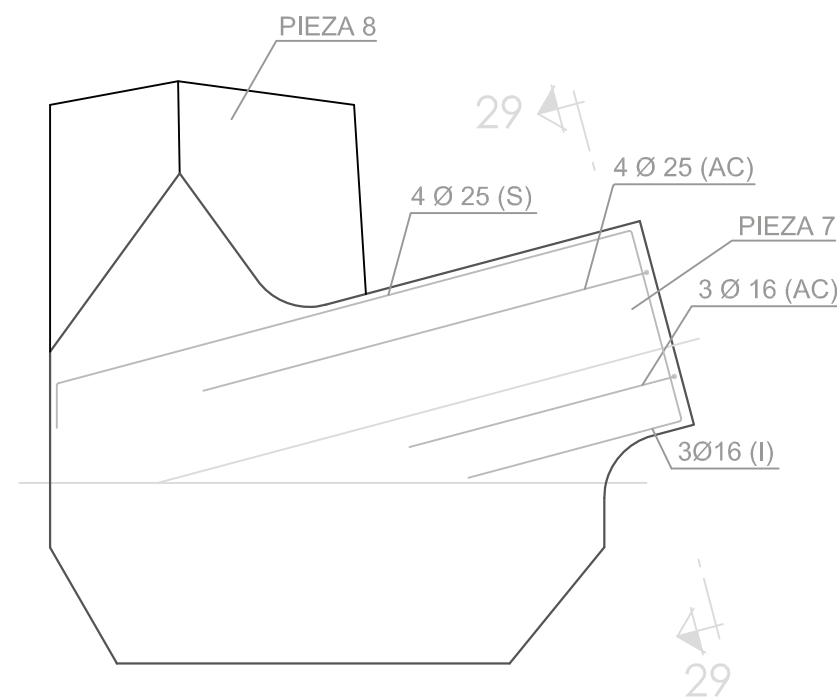


Ilustración 6.23. Fotografía del nudo 4.

El nudo 4 es el símil de clave en los arcos tradicionales. La función que tiene es la de recoger las cargas de las piezas 6, 7 y 8, y transmitir las a las piezas 4 y 5.

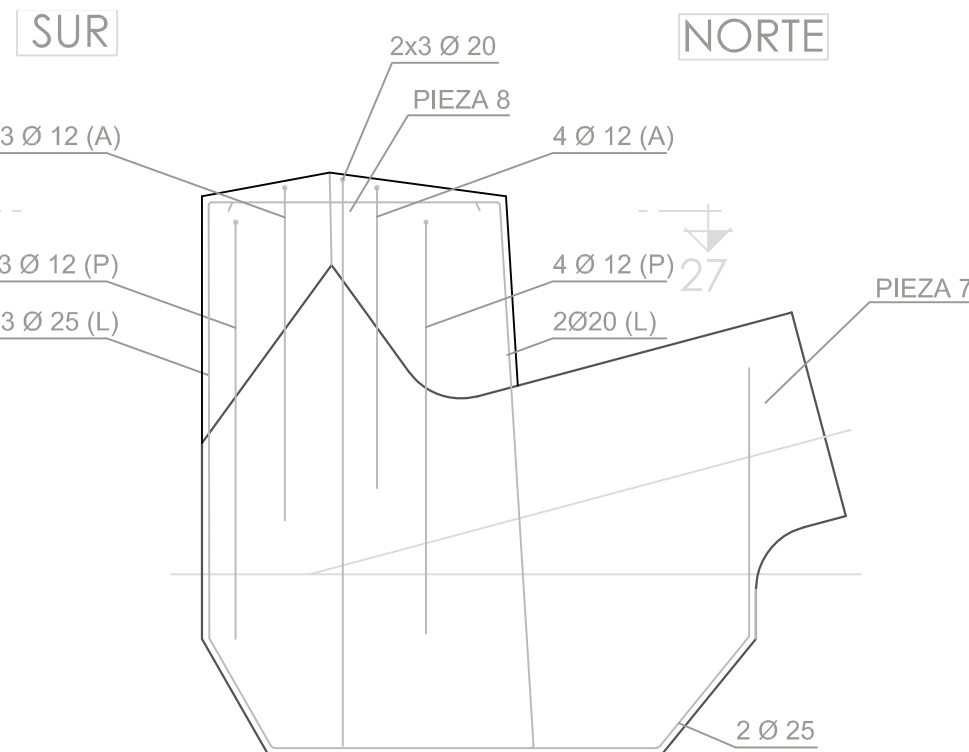
Al igual que el nudo 2, el nudo 4 también es macizo, teniendo un complejo armado.

La ejecución de este nudo se realizará a la vez que las piezas 4 y 5.



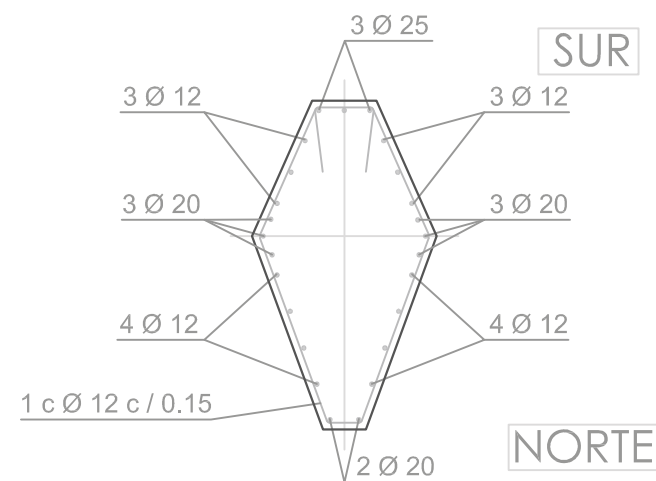
SECCIÓN 28-28 (PIEZA 7)

ESCALA 1:50



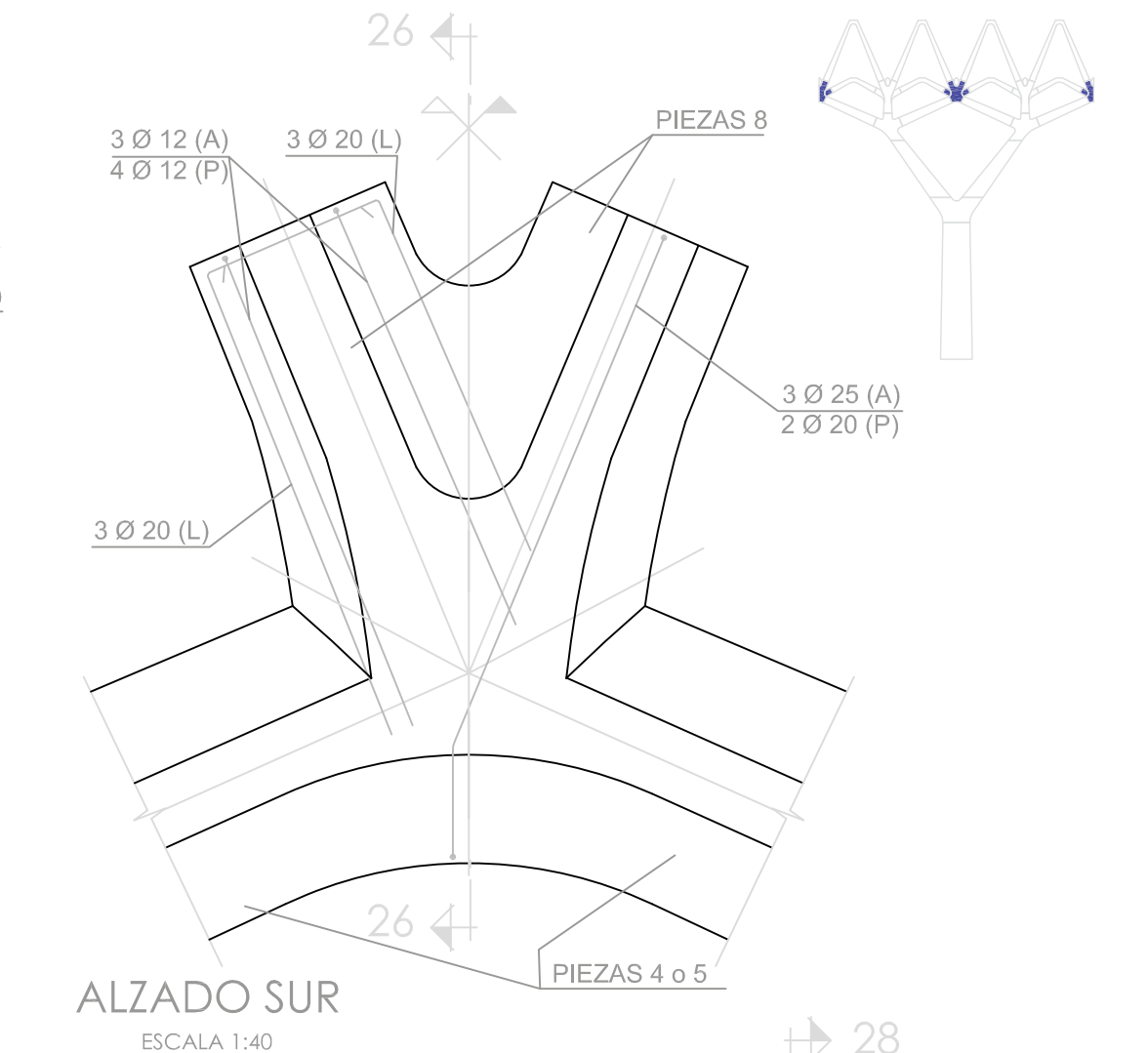
SECCIÓN 26-26 (PIEZA 8)

ESCALA 1:50



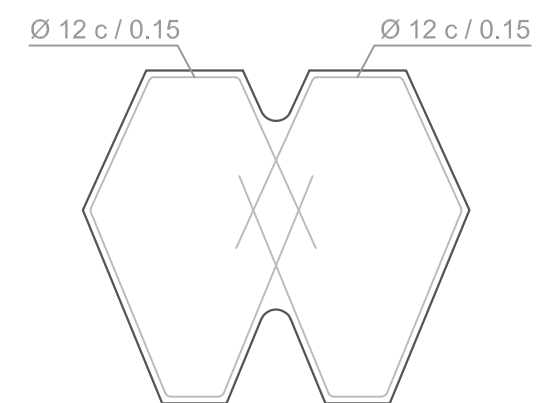
SECCIÓN 27-27 (PIEZA 8)

ESCALA 1:50



ALZADO SUR

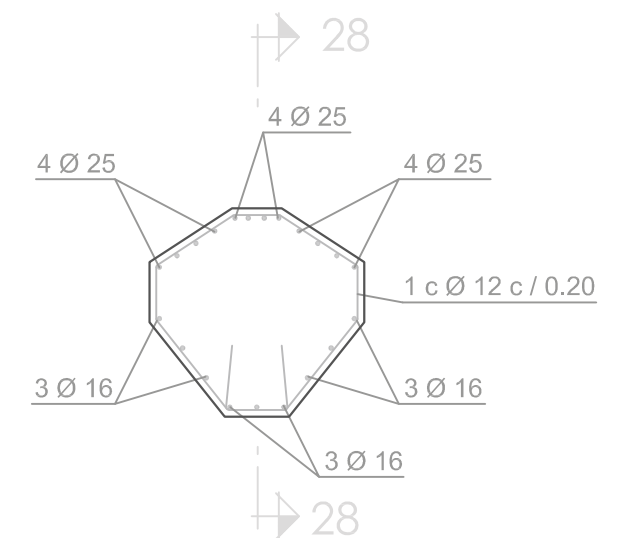
ESCALA 1:40



ARMADURA TIPO D

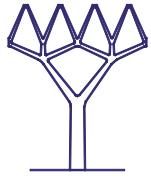
SECCIÓN TRANSVERSAL

ESCALA 1:50



SECCIÓN 29-29 (PIEZA 7)

ESCALA 1:50



5. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS 3 Y 4 (EXTREMAS) Y EL NUDO 3



Ilustración 6.34. Vista de la ejecución de las piezas nº 3.

La función de la pieza nº 3, es salvar la diferencia de altura del nudo 2 para que alcance la altura del nudo 4. Por lo que el nudo 3 será igual que el 4 pero con la diferencia de que el 4 se divide en dos piezas (5) y el nudo 3 en solo una pieza (3).

Las piezas nº 4 extremas son prefabricadas y son las que van unidas a las fachadas este y oeste. Esto hace que se creen unos contrafuertes, para poder compensar los esfuerzos horizontales de los árboles extremos.

Contrafuerte



Ilustración 6.35. Fotografía de las piezas nº 3 y nº 4 de la parte extrema oeste.

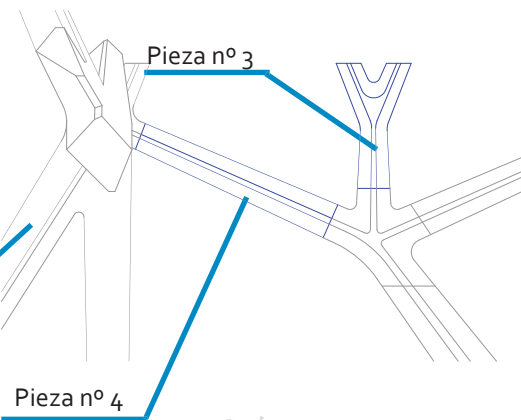
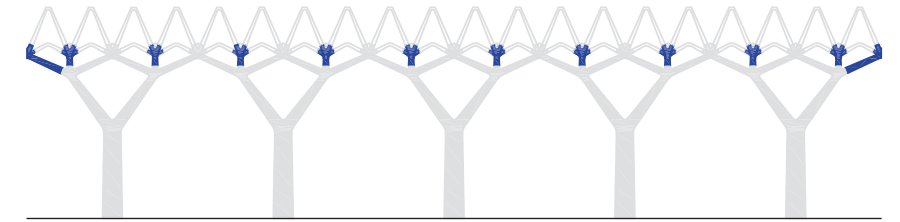
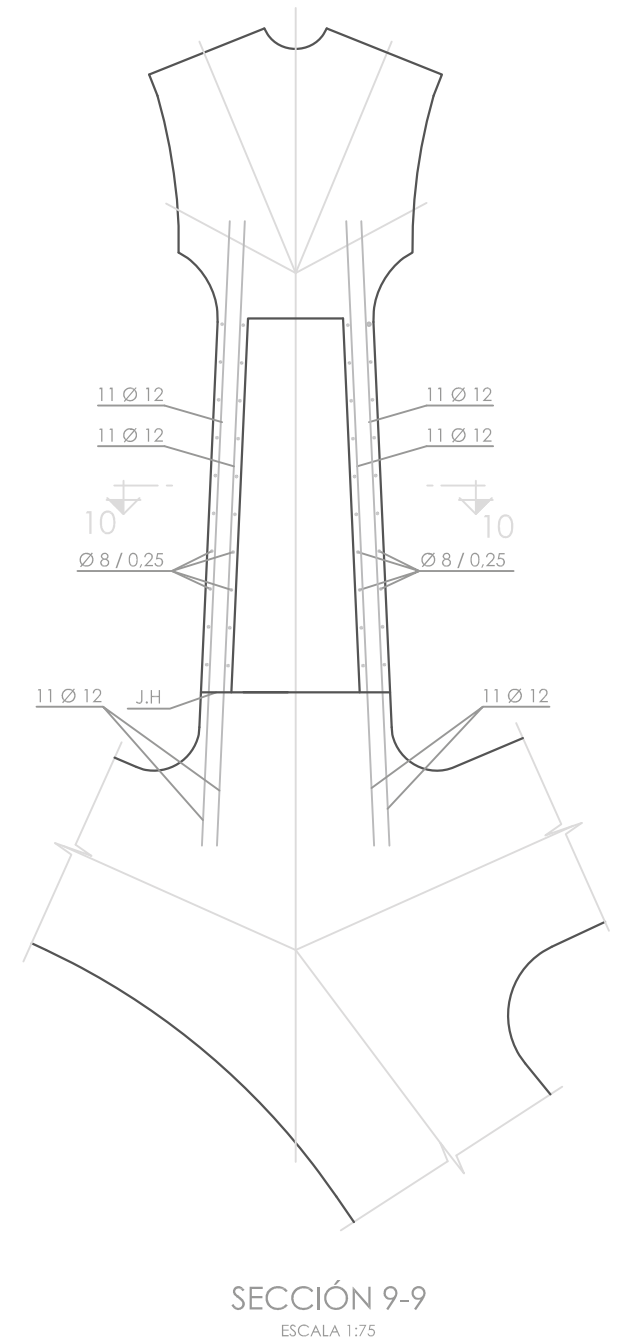
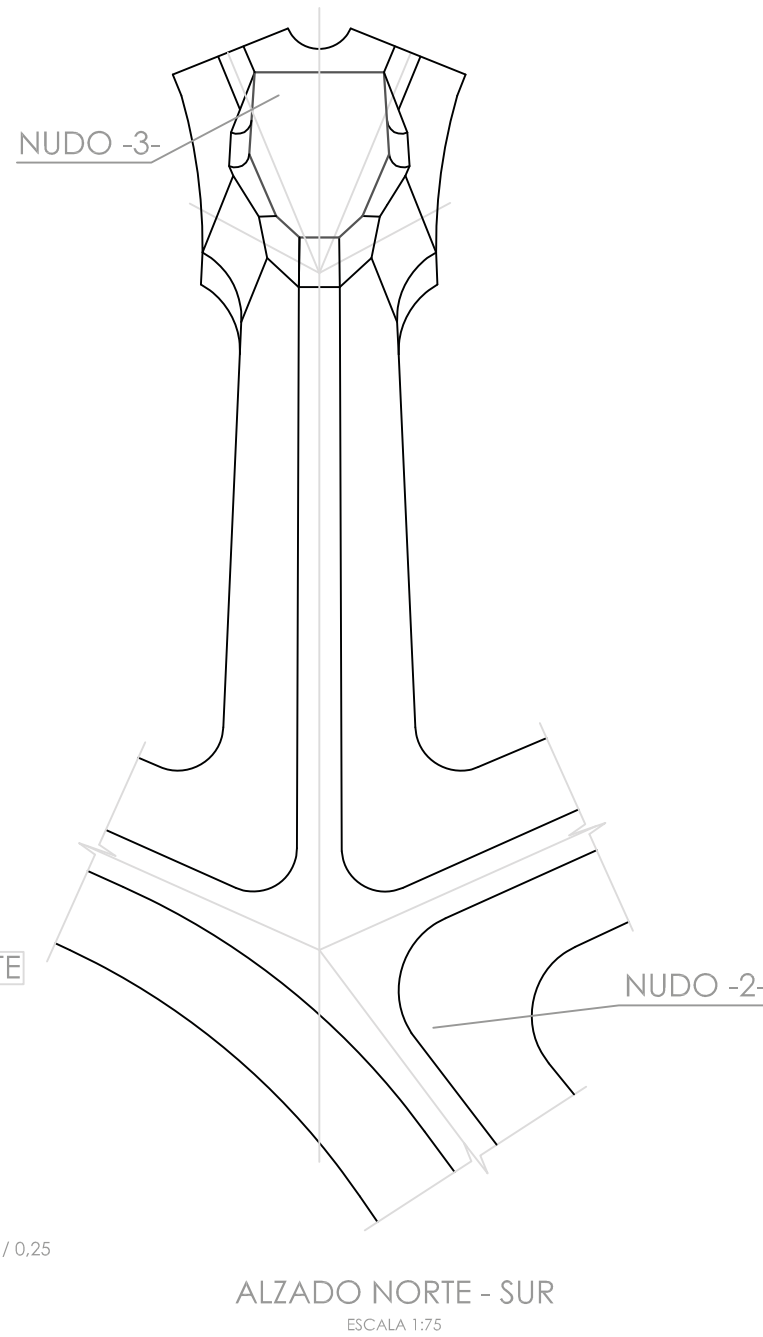
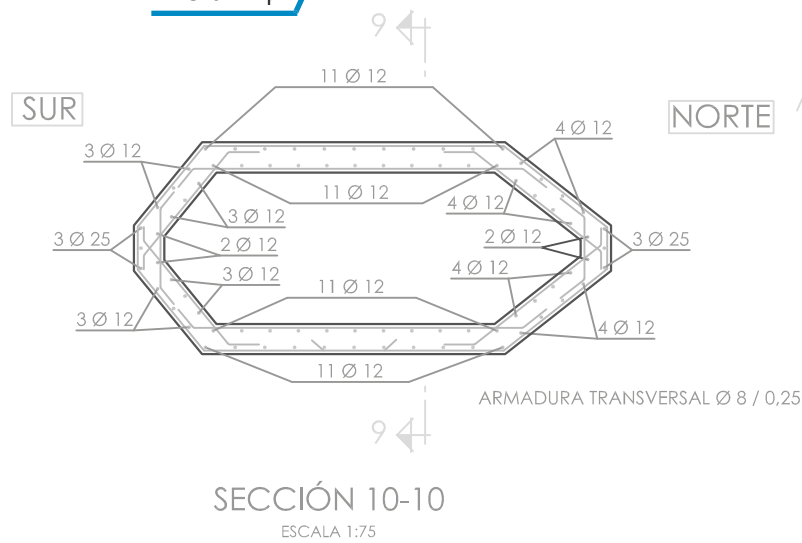


Ilustración 6.36. Fotografía de la ejecución de las piezas nº 3.



PIEZA 3 Y NUDO 3

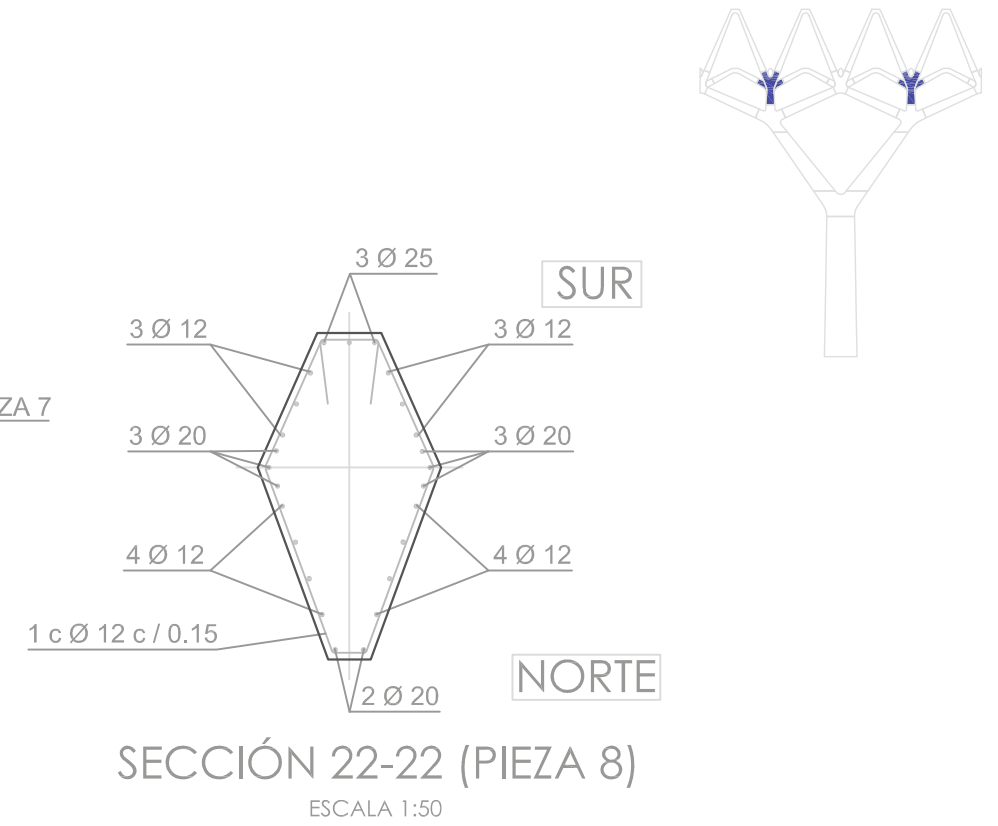
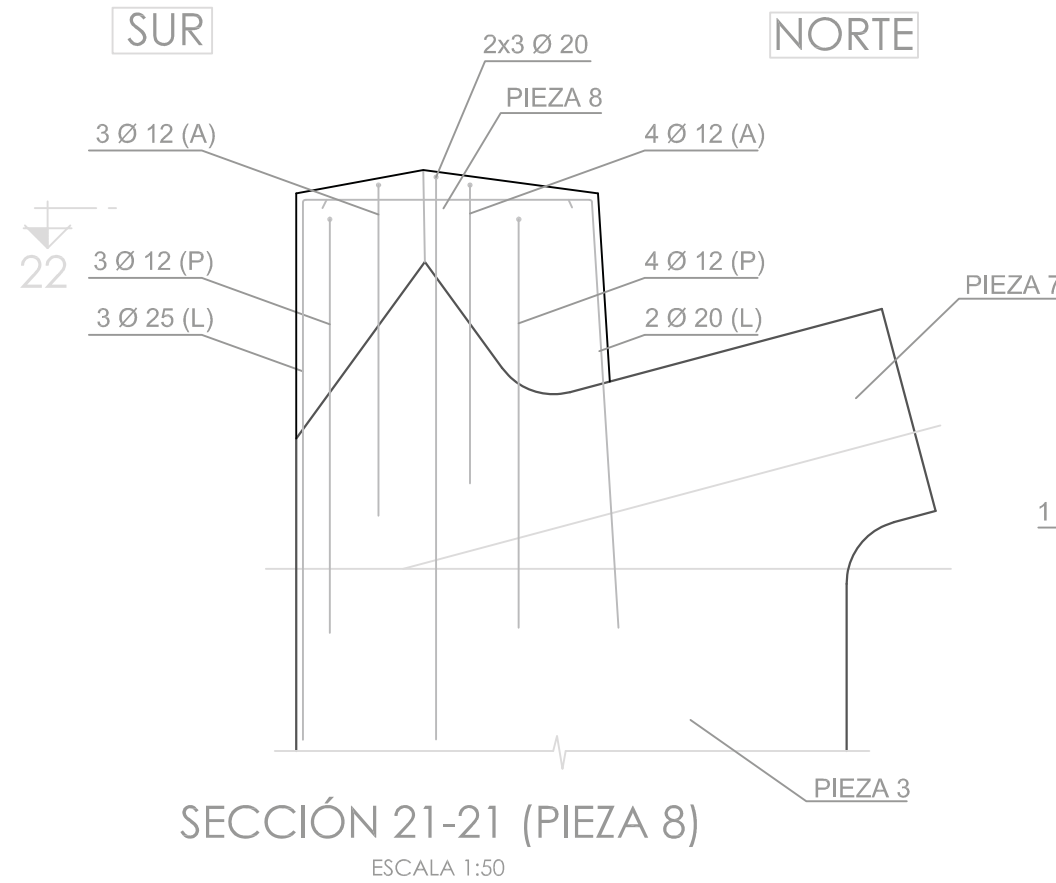
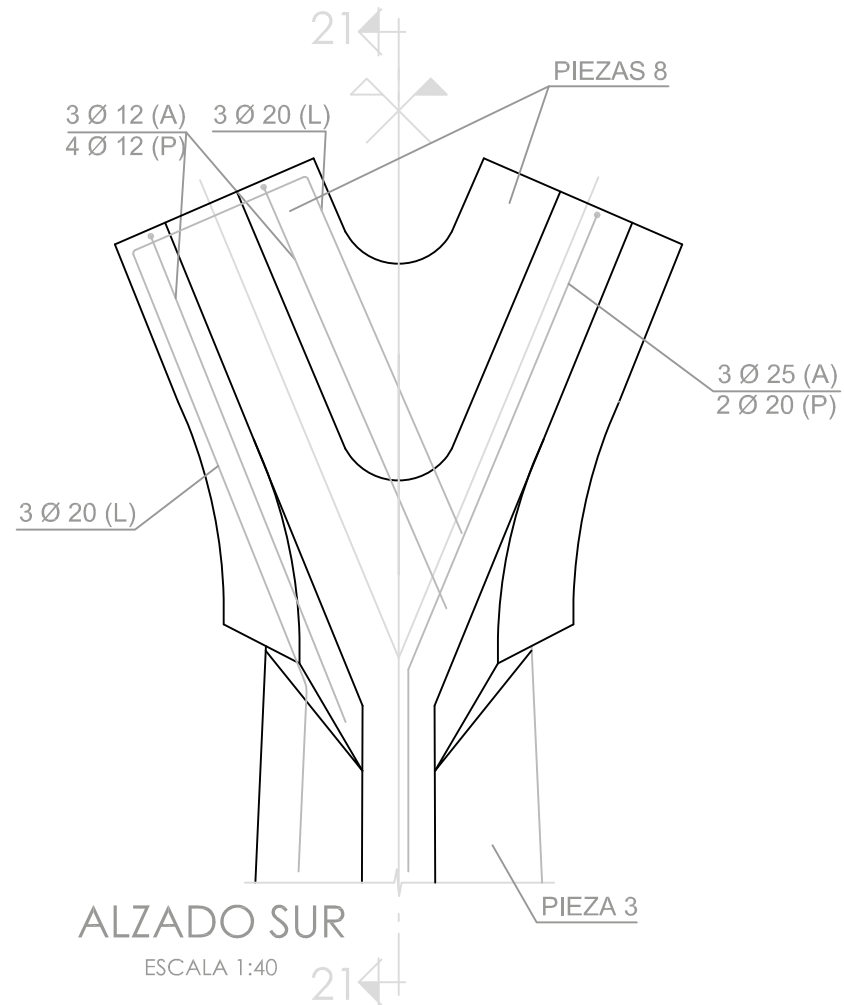
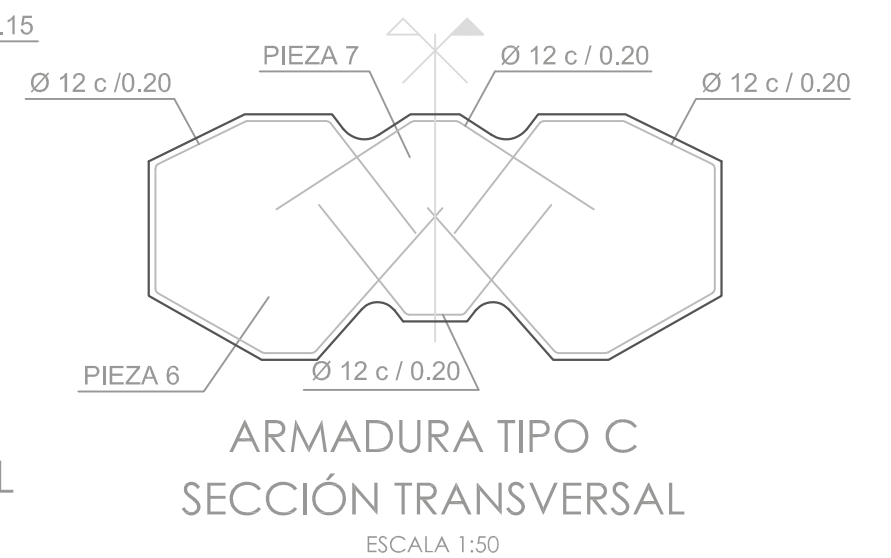
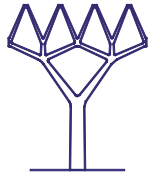


Ilustración 6.37. Fotografía del nudo 3.





6. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 8



Ilustración 6.38. Colocación de la pieza nº 8 mediante grúa telescópica.

Las piezas nº 8 son prefabricadas, realizadas en taller. Por este motivo nos garantizan una mayor precisión en la geometría y en la capacidad estructural.

Las piezas se colocan en obra mediante una grúa telescópica como nos muestra la imagen 6.38.

La unión de los nudos 3 y 4 se realiza mediante pernos roscados. Estos son nivelados sobre cada nudo y a continuación se atornilla la placa que lleva incorporada la pieza nº 8.

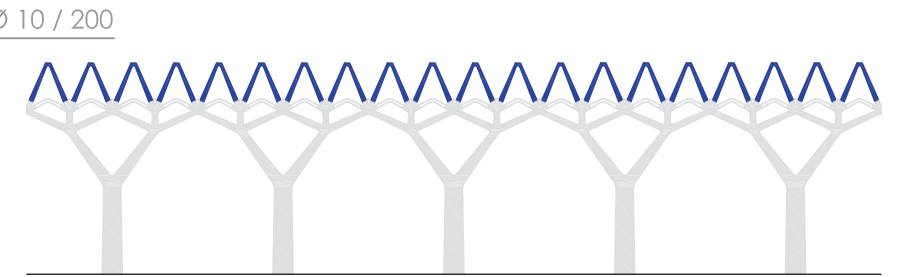
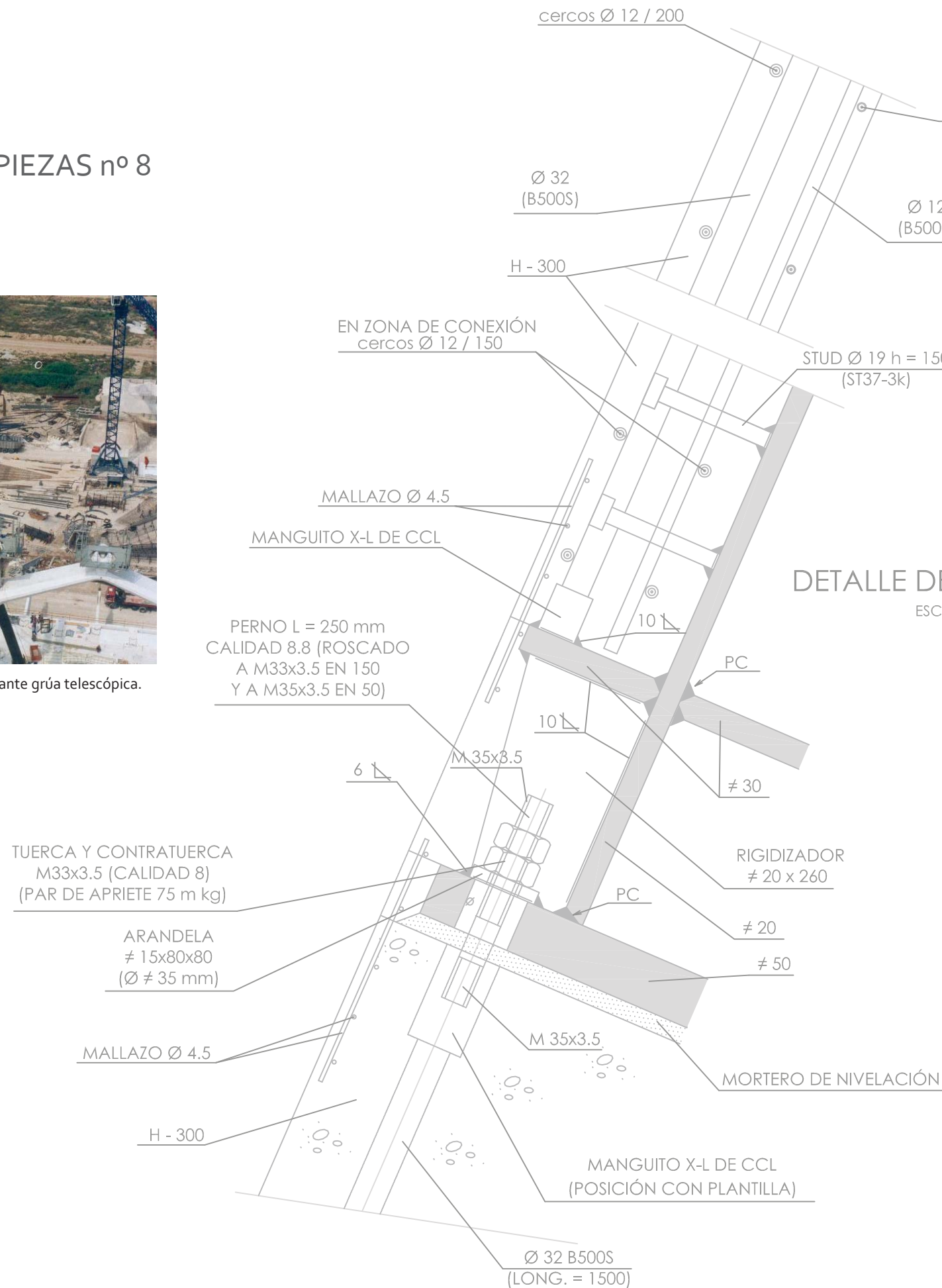


Ilustración 6.39. Nudo articulado de la cubierta.

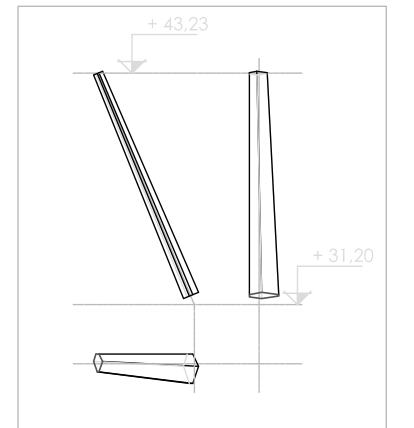
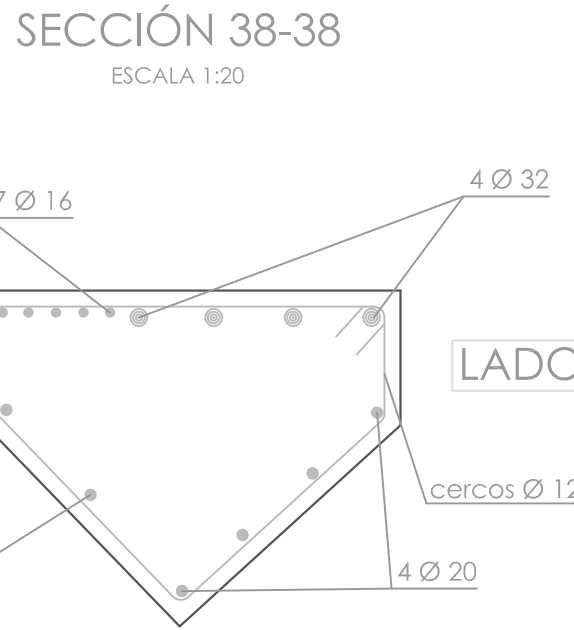
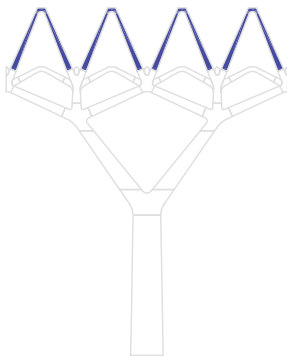
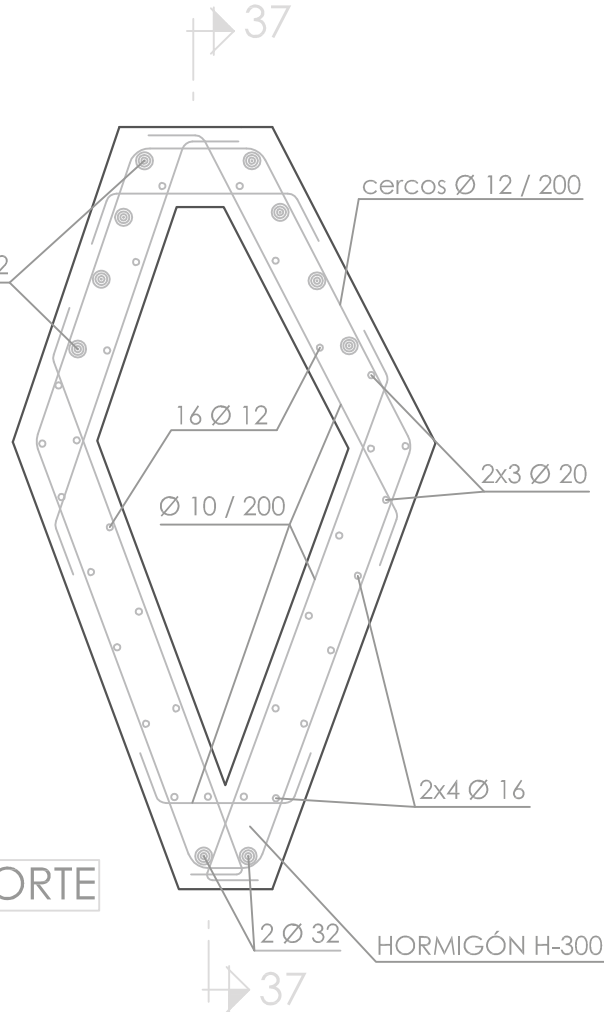
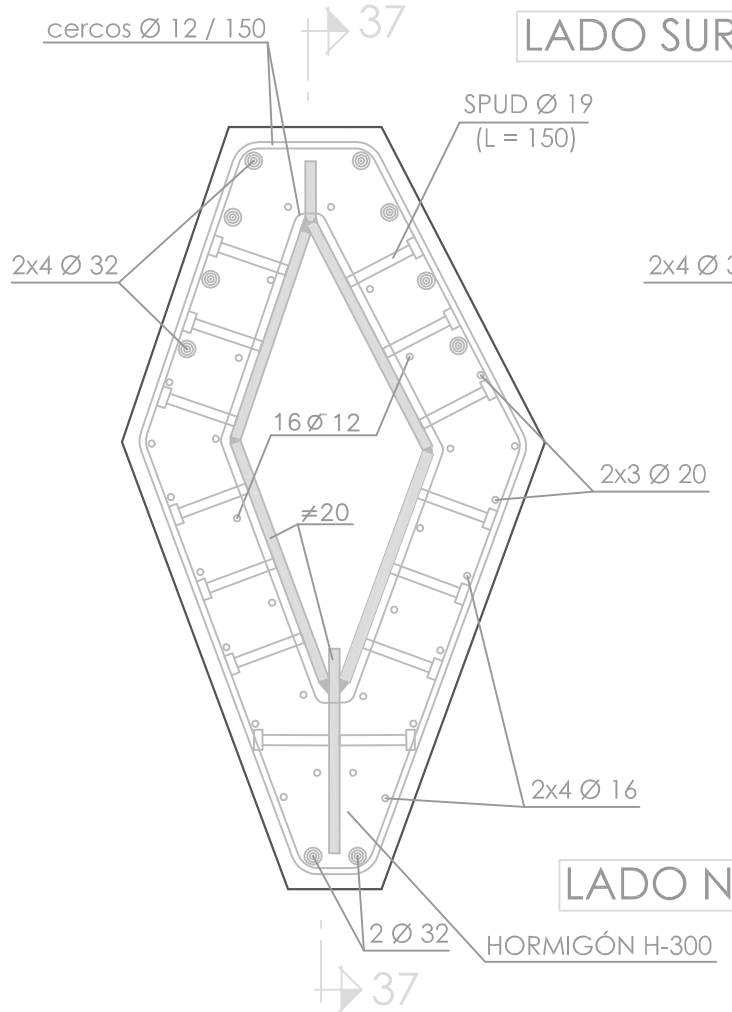
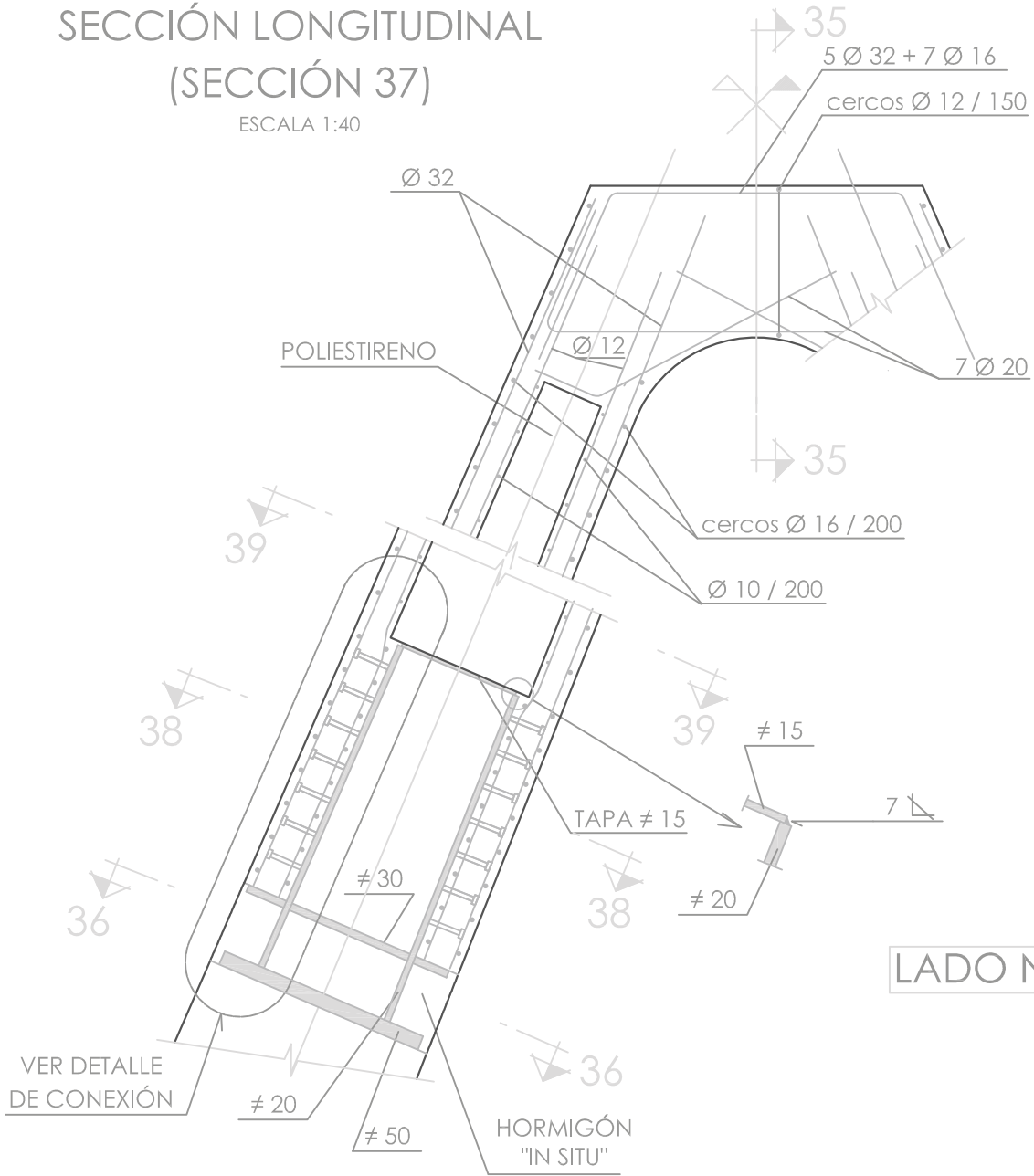


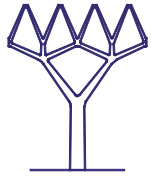
Ilustración 6.40. Fotografía de las piezas nº 8 ya ejecutadas.

PIEZA 8



Ilustración 6.41. Fotografía de la ejecución de las piezas nº 8.

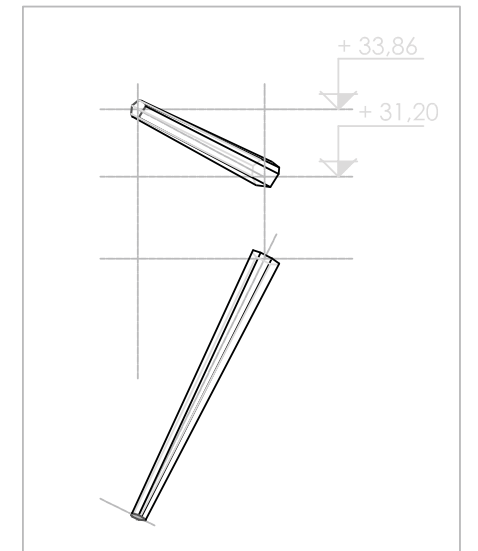
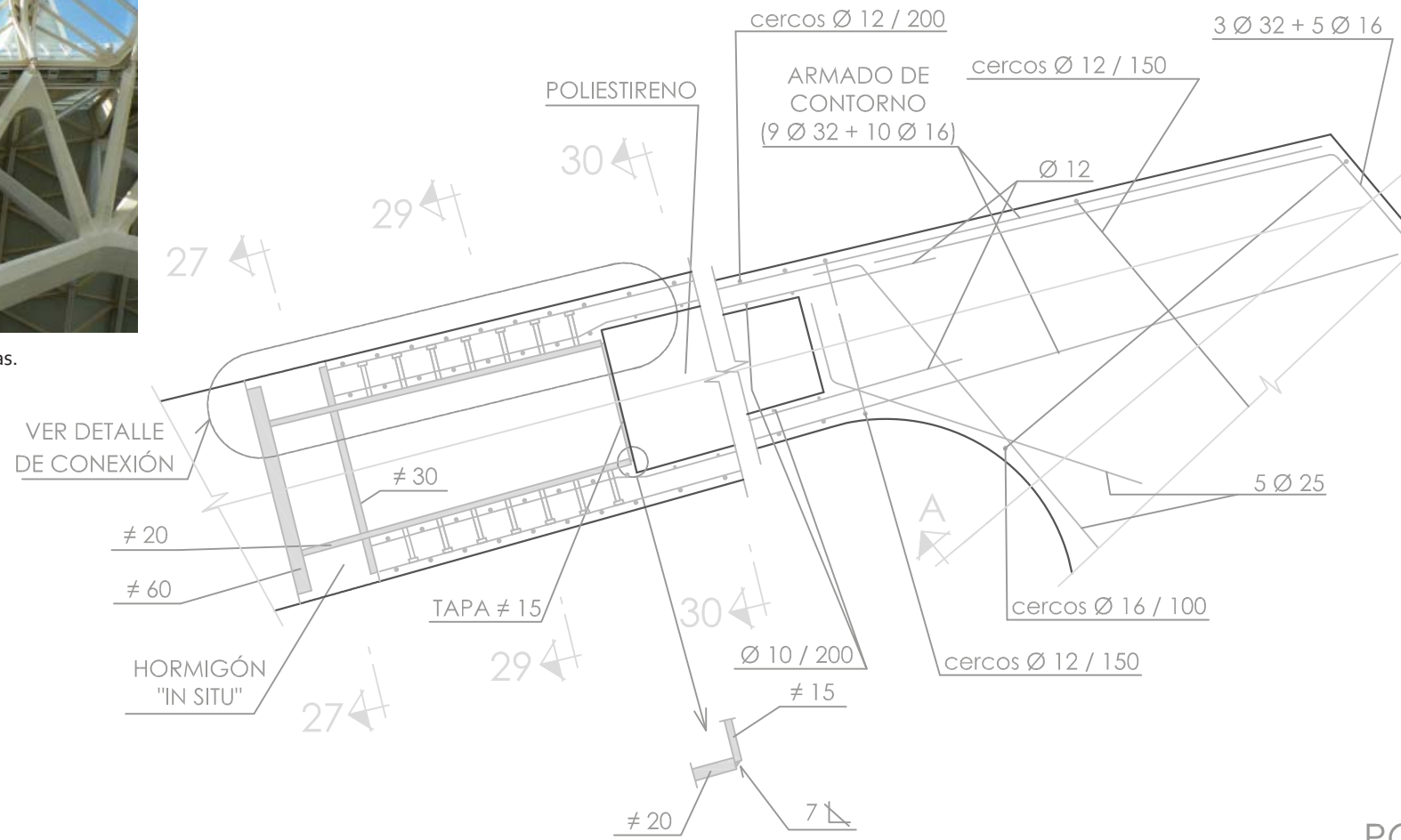
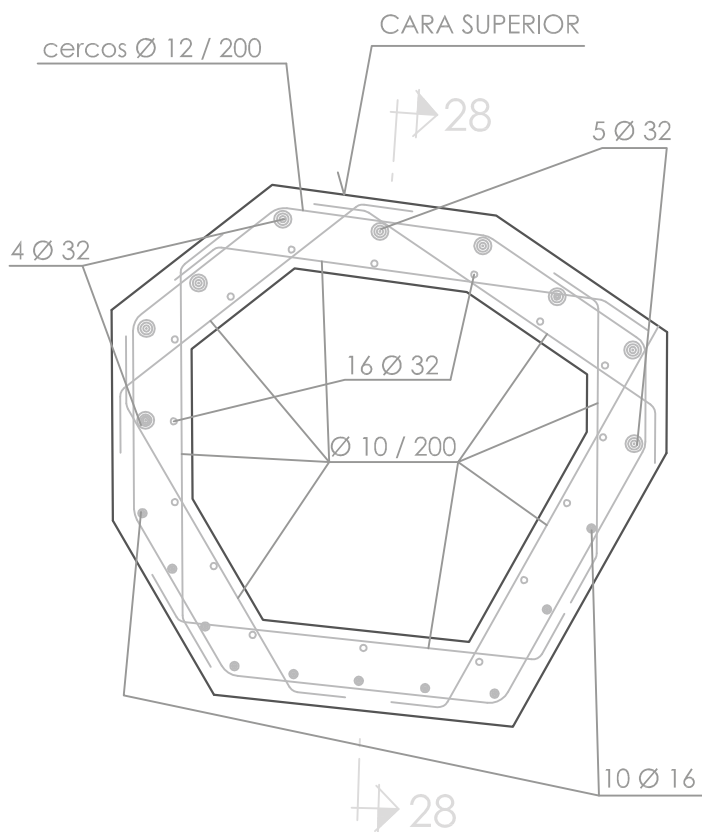
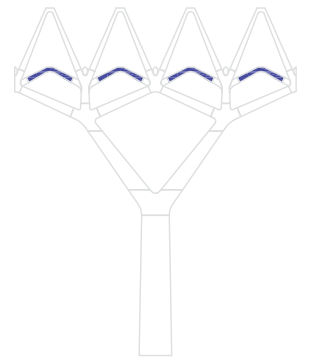
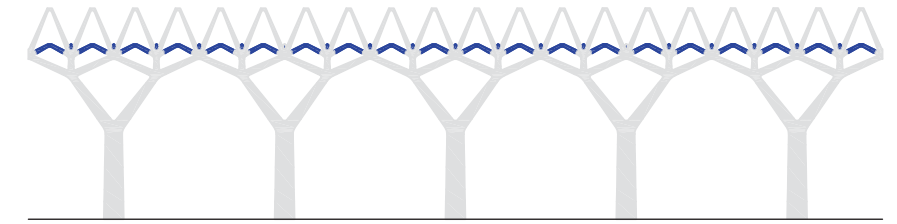




7. EJECUCIÓN DE LAS PIEZAS nº 6 Y nº 7



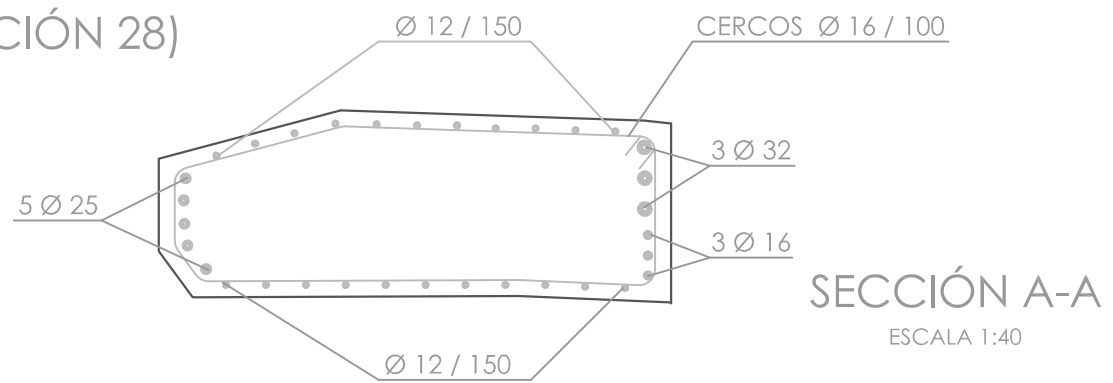
Ilustración 6.42. Fotografía de las piezas nº 6 y 7 ya ejecutadas.



POSICIÓN REAL DE LA PIEZA
ESCALA 1:400

SECCIÓN LONGITUDINAL (SECCIÓN 28)
ESCALA 1:40

SECCIÓN 30-30
ESCALA 1:10
(SECCIÓN DE HORMIGÓN)



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:40

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO 06

PIEZAS 6 Y 7



Ilustración 6.43. Colocación de la fachada sobre las piezas nº 6 y 7.



Ilustración 6.44. Fotografía 1 aérea de la ejecución de las piezas nº 6 y 7.



Ilustración 6.45. Fotografía 2 aérea de la ejecución de las piezas nº 6 y 7.

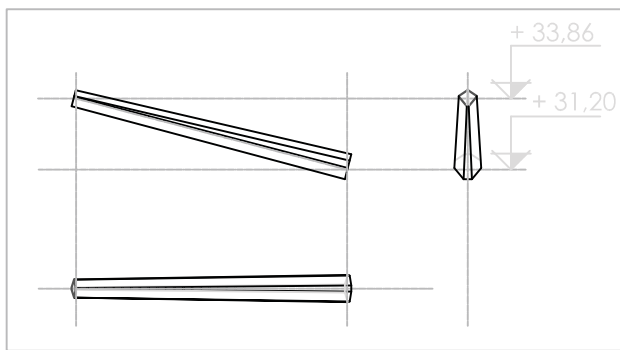


Ilustración 6.46. Fotografía aérea de la ejecución de la fachada norte del Museo.

Las piezas 6 y 7 son prefabricadas y tienen una contra-flecha vertical de 12 y 9 cm. respectivamente. Esta contra-flecha se debe a que tienen que soportar importantes cargas de la cubierta y de la fachada norte mediante articulaciones.

La ejecución de las uniones de las piezas con los nudos es igual que en las piezas nº 8. Van unidas mediante pernos roscados.

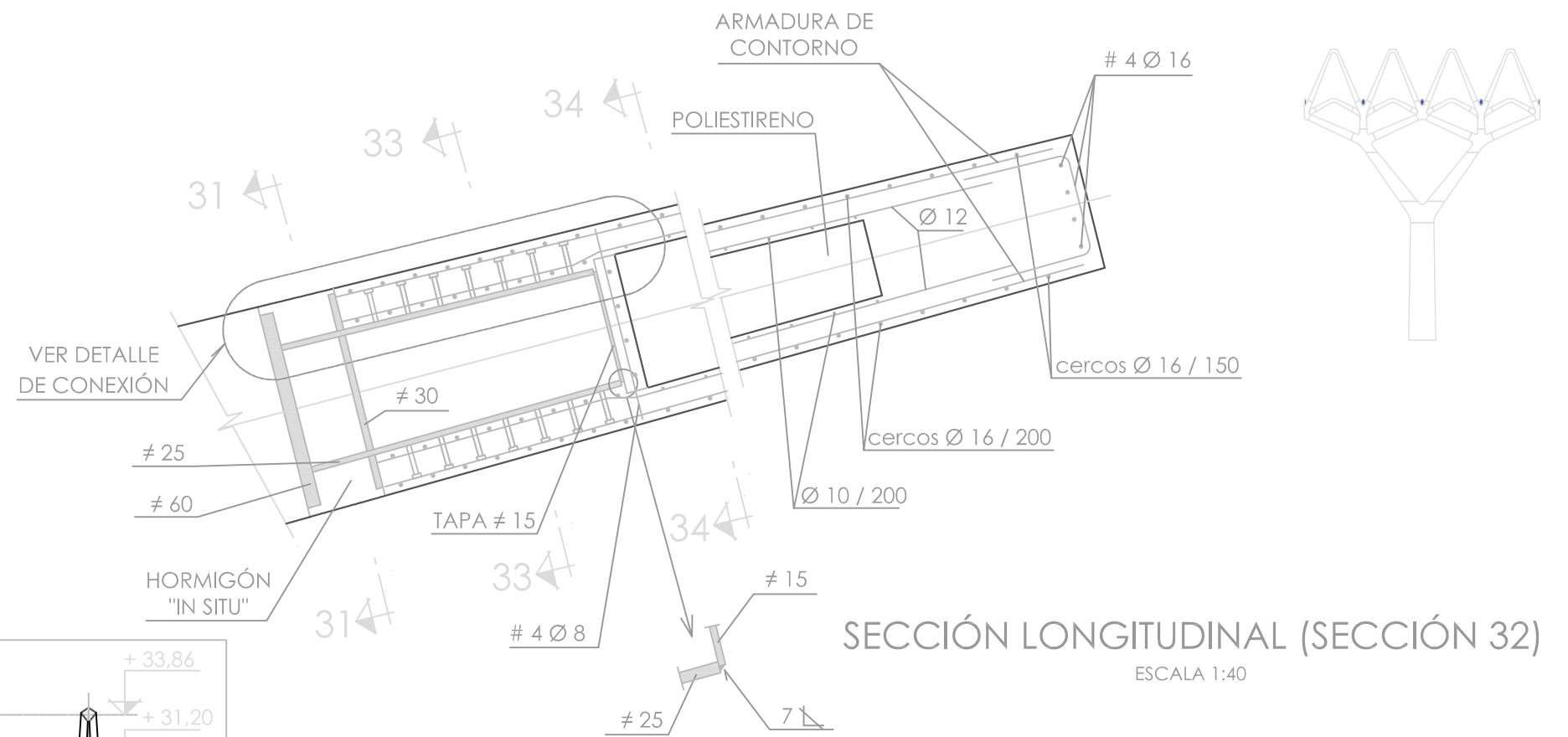
Cuando todas las piezas conforman los árboles, ya se puede dar paso a la ejecución de la fachada norte y de la cubierta.



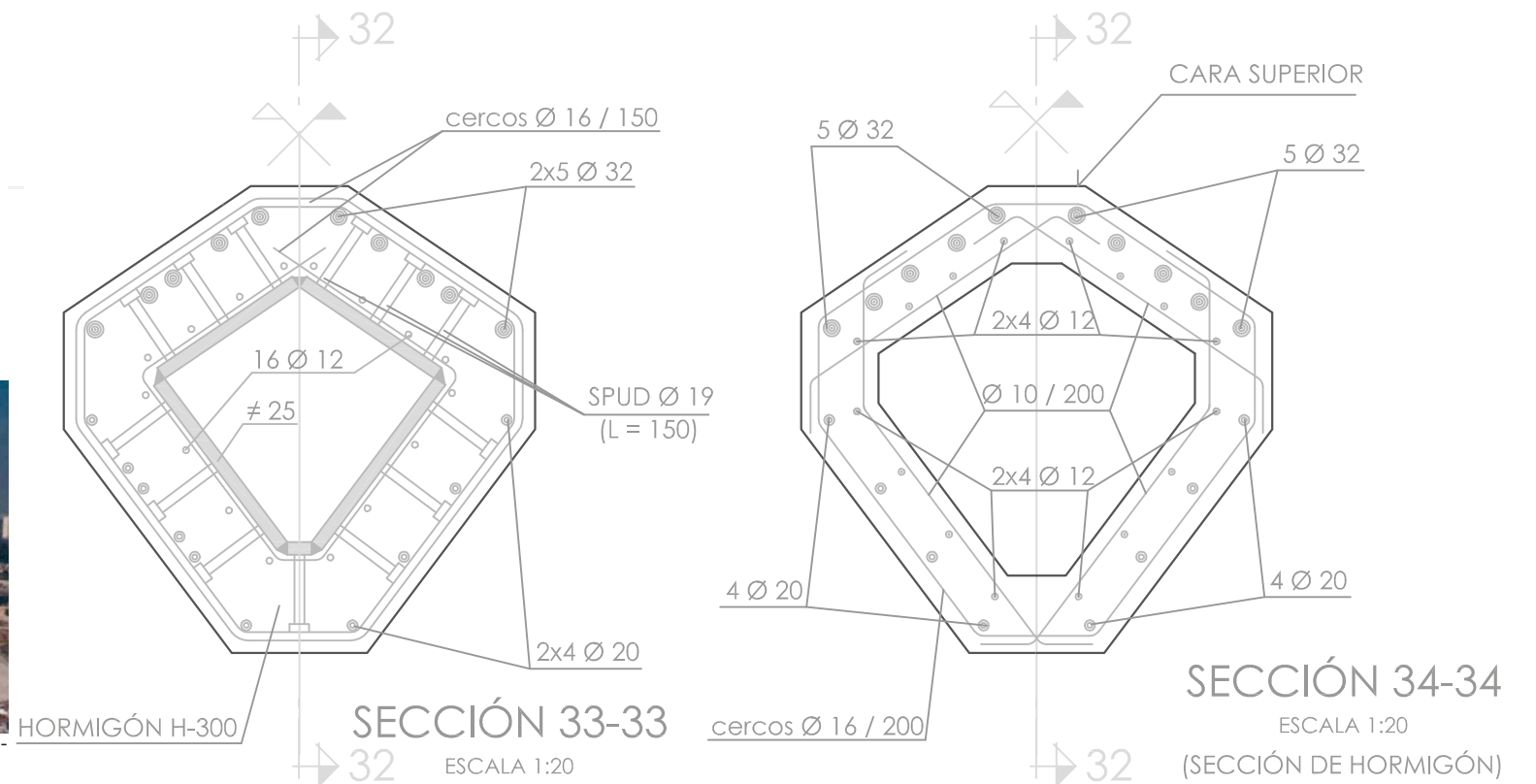
POSICIÓN REAL DE LA PIEZA
ESCALA 1:400



Ilustración 6.47. Colocación de la pieza nº 6 y 7 mediante grúa telescópica.



SECCIÓN LONGITUDINAL (SECCIÓN 32)
ESCALA 1:40



SECCIÓN 33-33
ESCALA 1:20

SECCIÓN 34-34
ESCALA 1:20
(SECCIÓN DE HORMIGÓN)

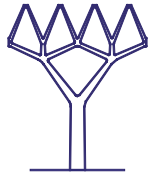
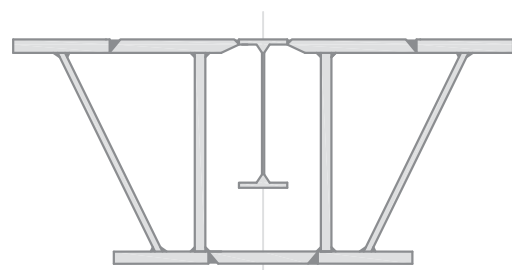


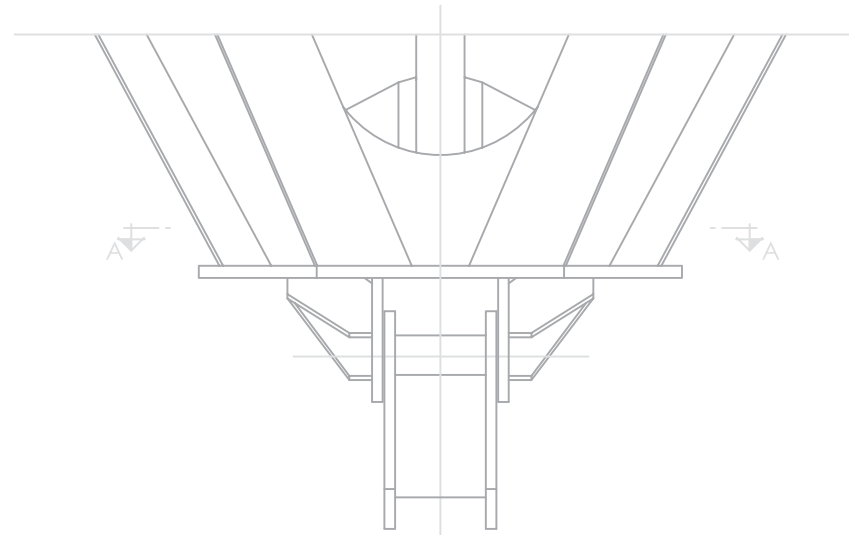
Ilustración 6.48. Fotografía de las dos articulaciones de la pieza 7.



Ilustración 6.49. Fotografía de la articulación del árbol con la cubierta.

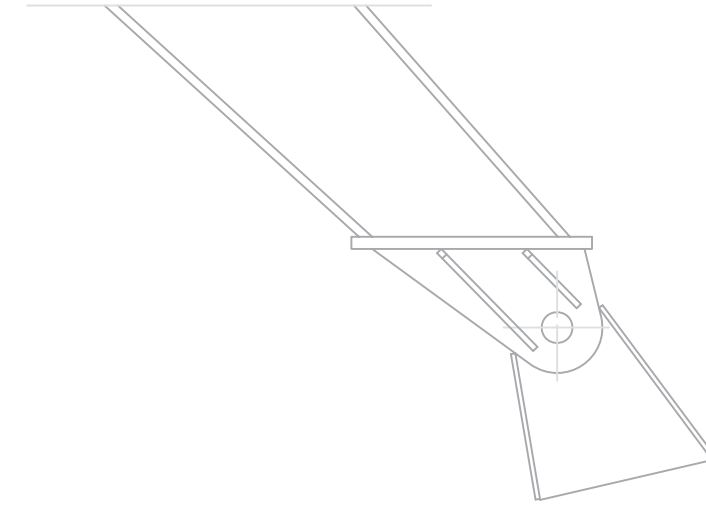


SECCIÓN A-A
ESCALA 1:25

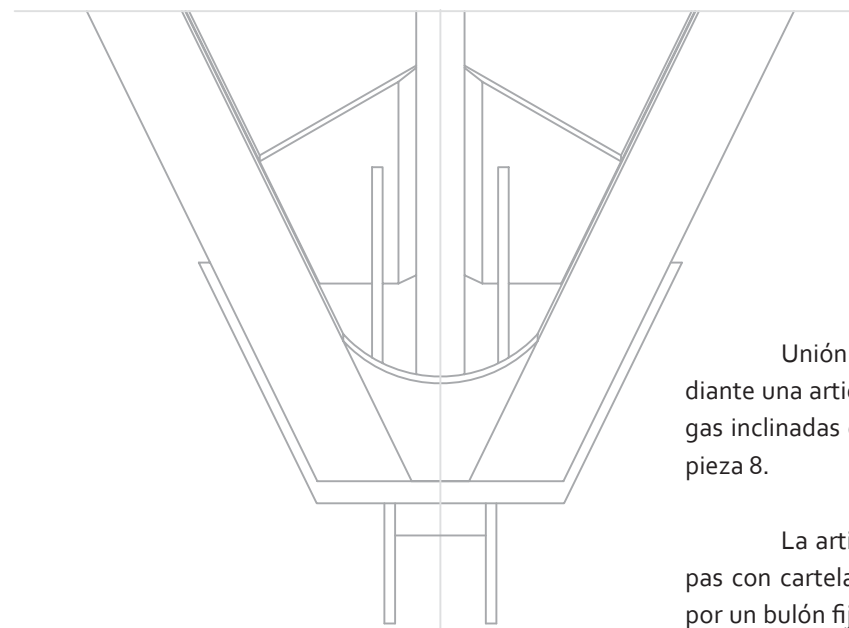


ALZADO FRONTAL
ESCALA 1:25

ARTICULACIÓN DE LA PIEZA 6 CON LA CUBIERTA



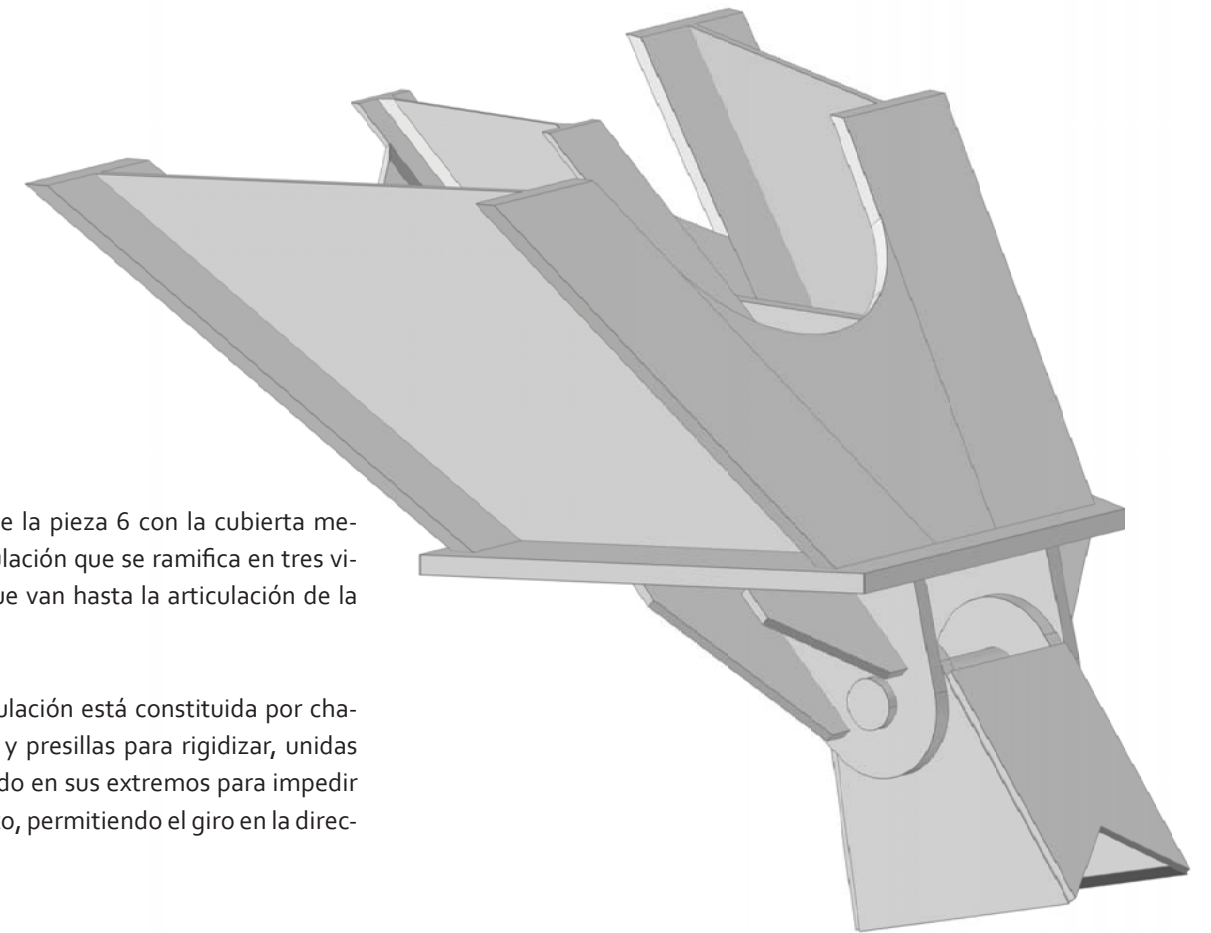
ALZADO LATERAL
ESCALA 1:25



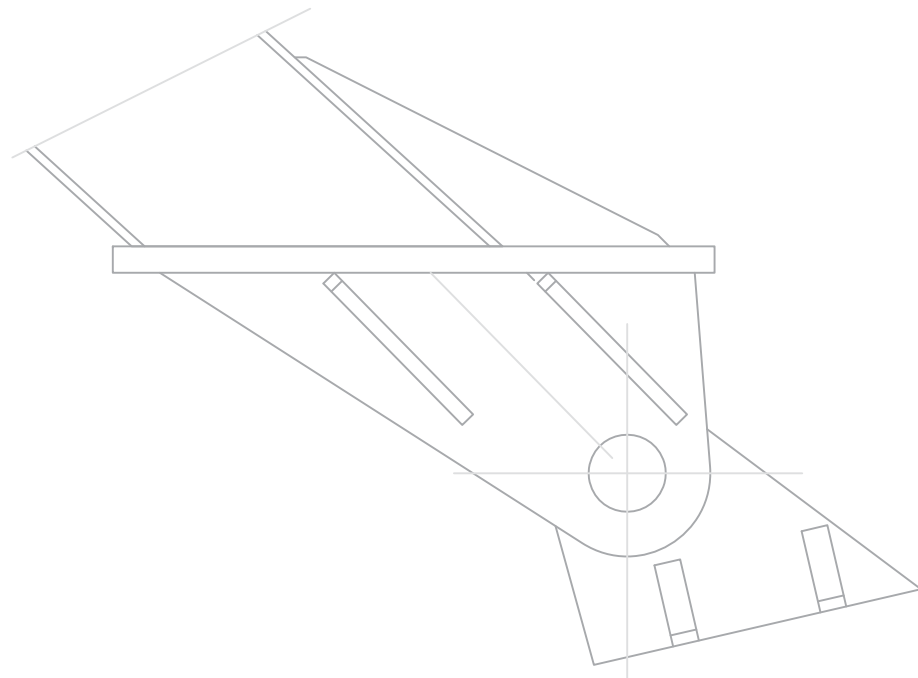
PLANTA
ESCALA 1:25

Unión de la pieza 6 con la cubierta mediante una articulación que se ramifica en tres vigas inclinadas que van hasta la articulación de la pieza 8.

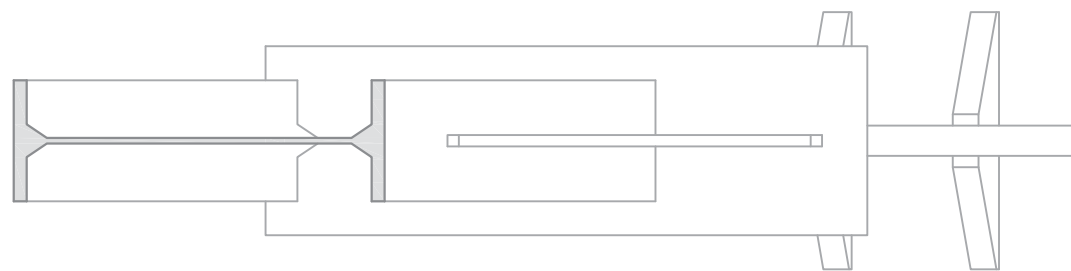
La articulación está constituida por chapas con cartelas y presillas para rigidizar, unidas por un bulón fijado en sus extremos para impedir el desplazamiento, permitiendo el giro en la dirección del pórtico.



ARTICULACIÓN DE LA PIEZA 7 CON LA CUBIERTA



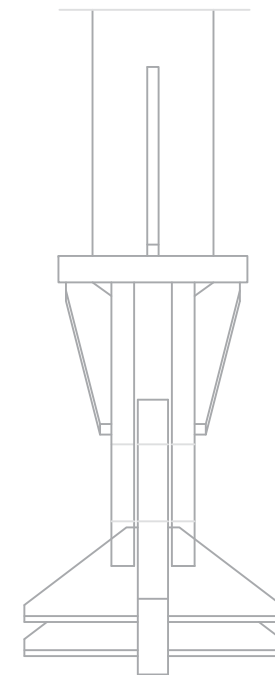
ALZADO LATERAL
ESCALA 1:10



PLANTA
ESCALA 1:10

Unión de la pieza 7 con la cubierta mediante una articulación. Esta es unida con una viga inclinada a la articulación de la pieza 8.

La articulación está constituida por chapas con cartelas y presillas para rigidizar, unidas por un bulón fijado en sus extremos para impedir el desplazamiento, permitiendo el giro en la dirección del pórtico.



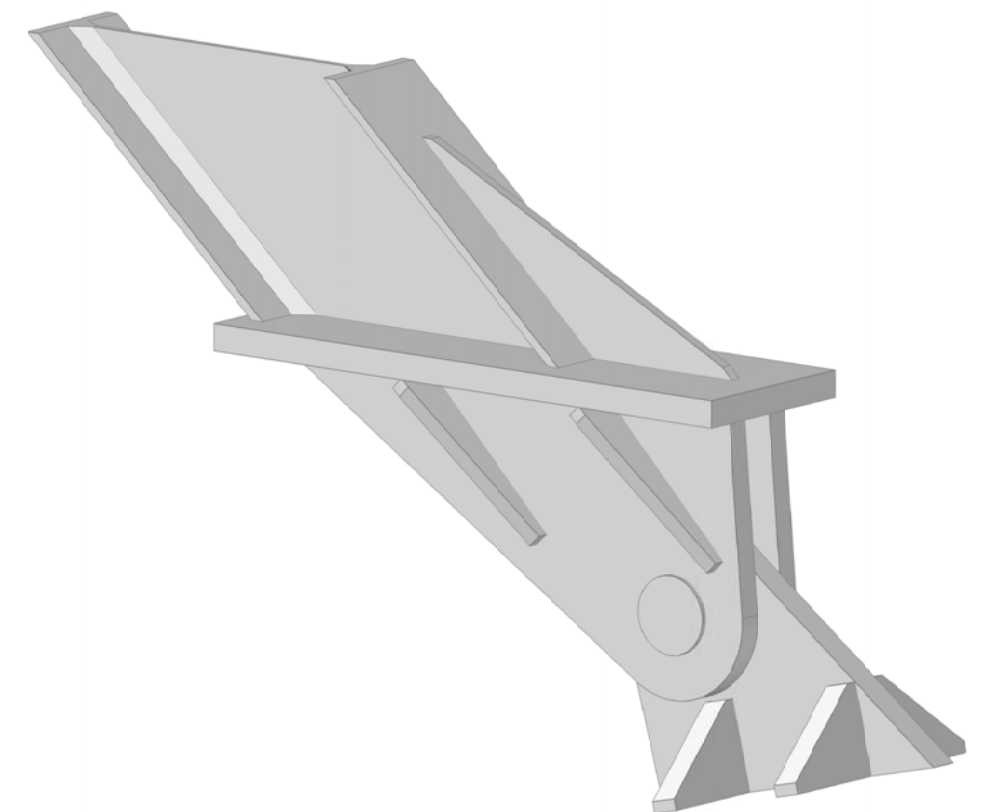
ALZADO FRONTAL
ESCALA 1:10

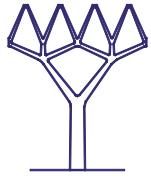


Ilustración 6.51. Fotografía de la articulación del árbol con la cubierta.



Ilustración 6.50. Fotografía de las dos articulaciones de la pieza 6.





ARTICULACIÓN DE LA PIEZA 8 CON LA CUBIERTA



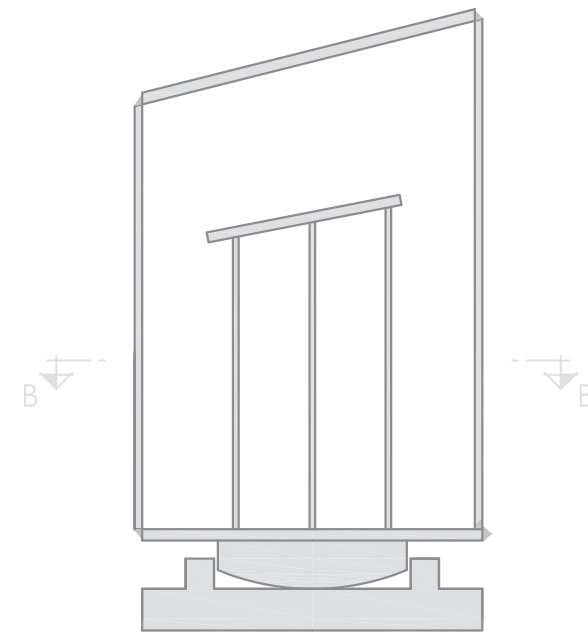
Ilustración 6.52. Fotografía del apoyo del árbol con la cubierta.



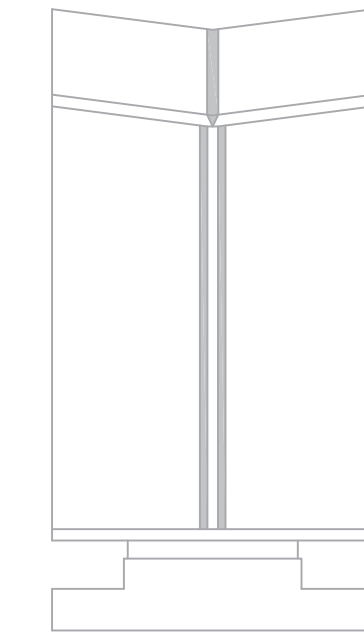
Ilustración 6.53. Fotografía del apoyo del árbol con la cubierta.

Apoyo de cajón articulado sobre pieza 8. Permite el giro en la dirección del pórtico gracias a la base cilíndrica que se dispone en la parte inferior del cajón. Cada uno recoge las cargas de un módulo de la cubierta.

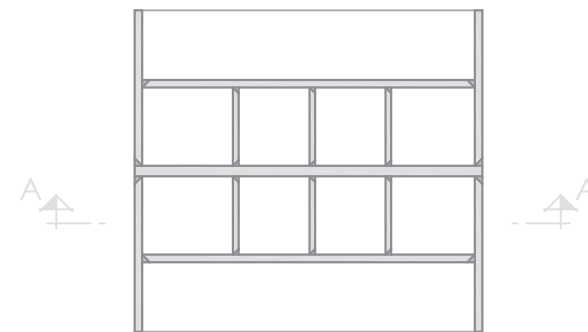
Está formado por chapas, albergando en su interior unos rigidizadores que dan continuidad a las vigas de la cubierta.



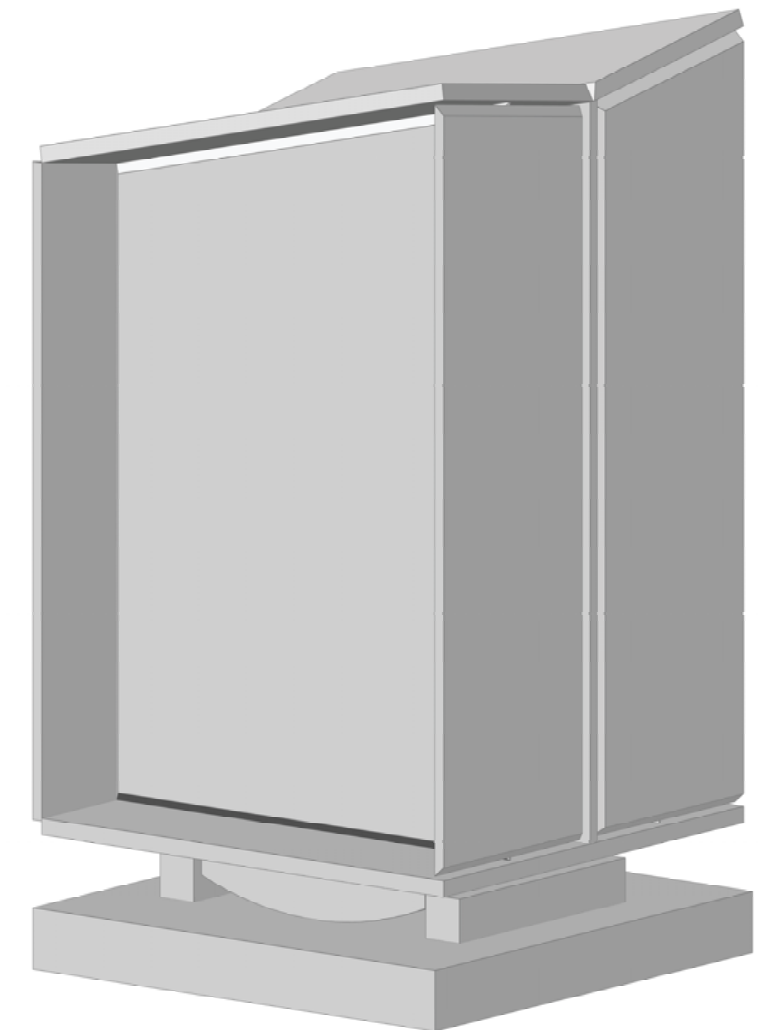
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:20



ALZADO LATERAL
ESCALA 1:20



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:20



ARTICULACIONES DE LAS PIEZAS 6 Y 7 CON LA FACHADA NORTE



Ilustración 6.54. Fotografía de la articulación de la pieza 7.



Ilustración 6.55. Fotografía de la articulación de la pieza 7.

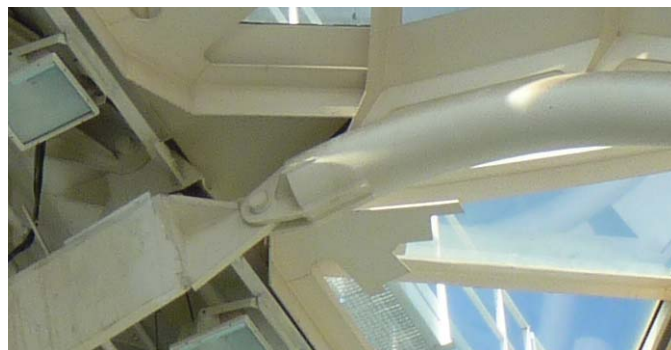
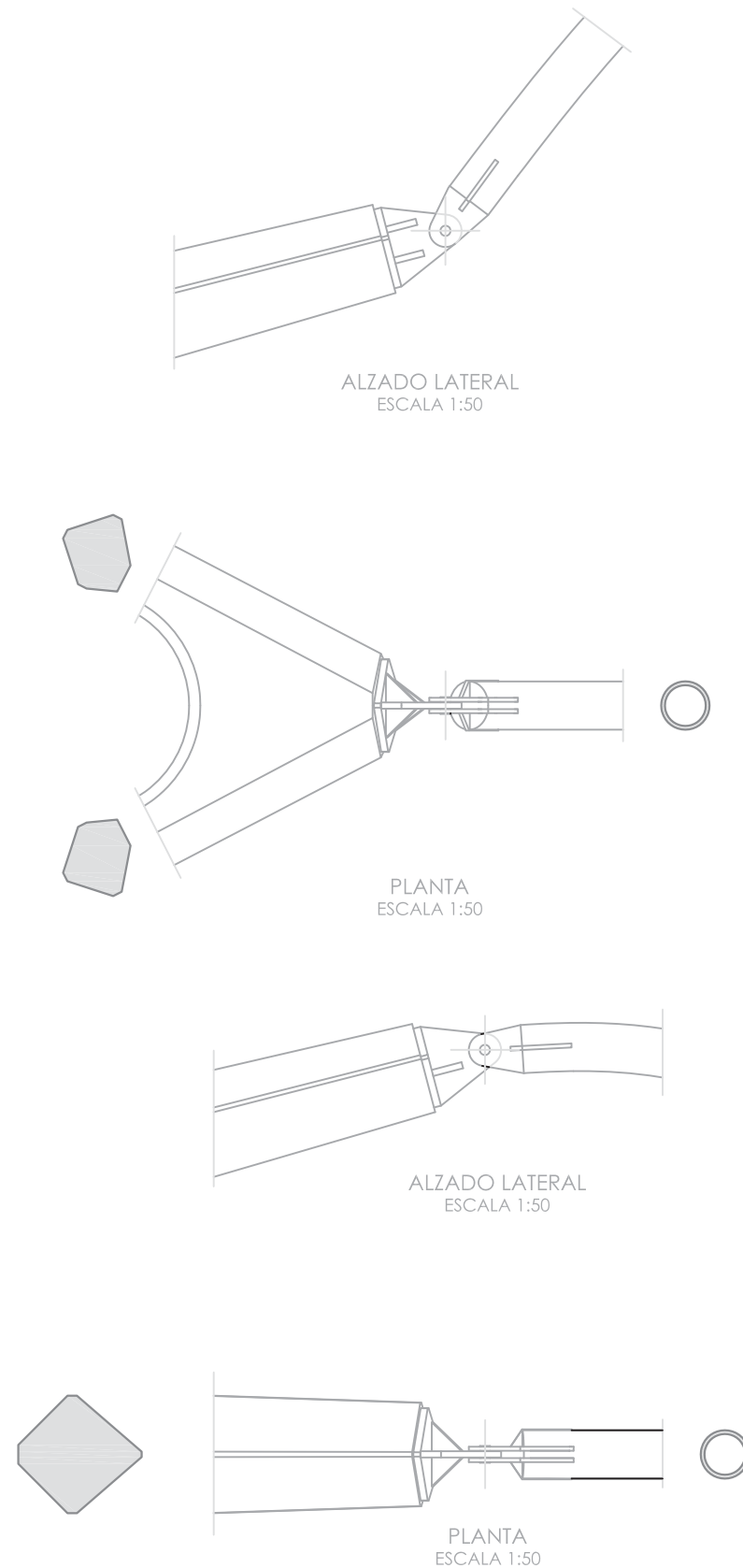


Ilustración 6.56. Fotografía de la articulación de la pieza 6.



Ilustración 6.57. Fotografía de la articulación de la pieza 6.



En un principio, el proyecto indicaba que las uniones de las piezas 6 y 7 del árbol con la fachada norte eran rígidas. Pero tras el estudio de los movimientos que iban a generar la fachada frente a las ramas del árbol, se optó por la solución actual, nudos articulados.

Estos nudos están formados por chapas y rigidizadores que son articulados por un bulón.

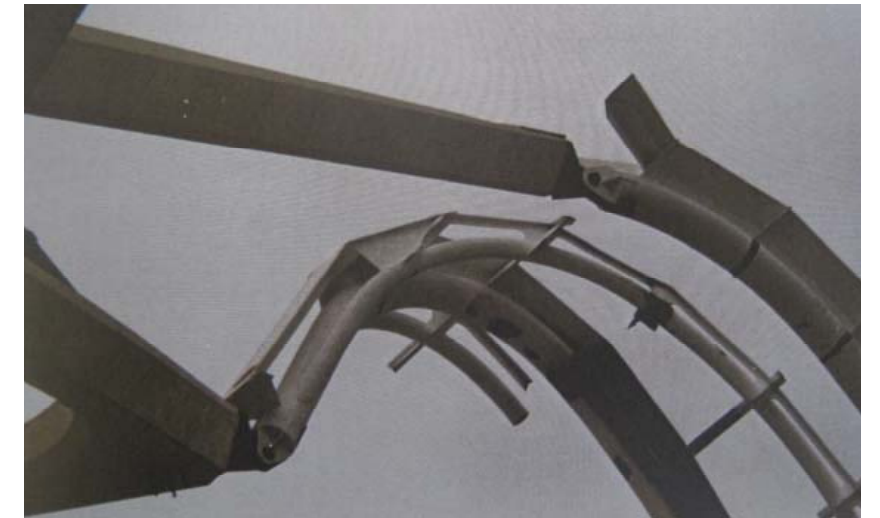
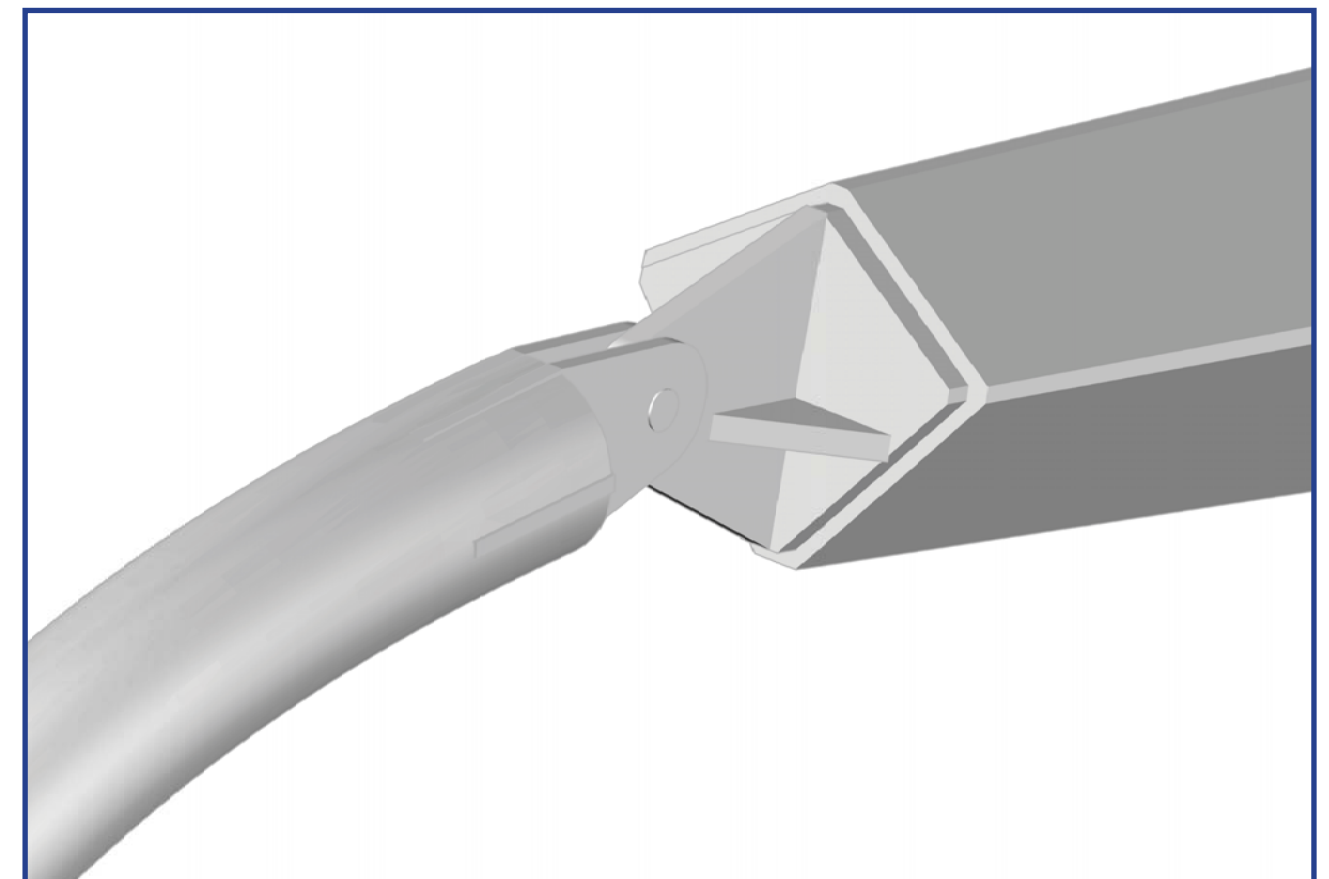


Ilustración 6.58. Ejecución de las articulaciones con la fachada norte.





07. CONCLUSIONES

ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

El pilar es un elemento arquitectónico en forma de árbol, el cual tiene tres niveles de ramificación. Esta forma orgánica es muy propia del arquitecto, que tiene como finalidad la creación de estructuras óseas a partir de hormigón blando. También vemos este tipo de inspiración en otras épocas, como en el gótico.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO

El estudio de la geometría del pilar se ha restringido hasta la primera ramificación debido a la complejidad de la misma. Las superficies analizadas han sido ocho, que por lo general están compuestas por superficies planas y partes de cilindros o de conos.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

La estructura de los árboles es una parte fundamental del museo Príncipe Felipe. Estos cinco pilares forman un conjunto de cuatro arcos completos y dos medios a los extremos. En estos dos extremos, los arcos son terminados con unos contrafuertes en forma de arbotantes. La forma de trabajo recuerda a la de las antiguas catedrales, hay un descenso de cargas gradual desde las ramas superiores hasta el fuste. Los nudos que conectan con la cubierta y la fachada norte son articulados debido a los considerables movimientos que estos ejercen sobre los pilares. El resto de nudos son rígidos.

A la vez que los pilares sirven de apoyo a otros elementos del museo, también reciben cargas variables en su interior, ya que son núcleo de comunicación vertical, mediante escaleras, ascensores y un montacargas.

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

Esta estructura está conformada en hormigón armado "in situ" y prefabricados. La cimentación está realizada mediante pilotes de más de 25 metros de profundidad. La ejecución de la estructura de los pilares se realiza de forma escalonada, desde el pilar que está más al oeste hacia el que está más al este. Los equipos de obra utilizados son: dos grúas torre, dos grúas telescópicas y una gran variedad de andamios y encofrados específicos para estos pilares.

A pesar de adquirir una forma favorable para trabajo de cada una de las piezas de los árboles, el armado de estas es de una gran cuantía. Lo que demuestra que prevalece la estética a la correcta utilización de los materiales para su mayor aprovechamiento.

Para finalizar tengo que decir que el taller 14 superficies arquitectónicas singulares me ha servido para cuestionarme por la arquitectura de hoy en día. Parece que todo esté modulado en bloques cuadrados y formas simples, habiendo perdido la monumentalidad y belleza de los edificios de otras épocas. Los árboles del museo me han abierto la perspectiva de ver los edificios desde un punto de vista más estético a la vez que funcional.

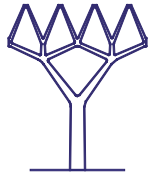


08. BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Fuente	Página
1.1.	http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/ (24/02/2012)	11
1.2.	elaboración propia	11
1.3.	elaboración propia	11
1.4.	http://atlas.freshlogicstudios.com/ (09/03/2012)	12
1.5.	http://atlas.freshlogicstudios.com/ (09/03/2012)	12
1.6.	http://atlas.freshlogicstudios.com/ (09/03/2012)	12
1.7.	elaboración propia	12
1.8.	elaboración propia	13
1.9.	elaboración propia	13
1.10.	elaboración propia	13
1.11.	http://masviajesmasriqueza.blogspot.com.es/2010/03/ (24/02/2012)	13
1.12.	elaboración propia	13
1.13.	elaboración propia	13
1.14.	elaboración propia	13
1.15.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	13
3.1.	www.arcspace.com (25/03/2012)	27
3.2.	http://urbanity.blogsome.com/200 (25/03/2012)	27
3.3.	http://planet.hupme.es/2009/12/48h-guia-facil-toronto/ (25/03/2012)	27
3.4.	elaboración propia	27
3.5.	elaboración propia	27
3.6.	http://www.jotdown.es/2011/11/los-hypars-de-felix-candela-i/ (25/03/2012)	28
3.7.	http://mcnenipopo.blogspot.com.es/ (25/03/2012)	28
3.8.	http://cantarranas-out.blogspot.com.es/2011/03/sagrada-familia.html (25/03/2012)	28
3.9.	http://gallery.nottale.net/v/barcelone/gaudi+et+ecole+moderne/ (25/03/2012)	28
3.10.	http://www.iesmarquesdesantillana.com/plantasweb.htm (25/03/2012)	29
3.11.	elaboración propia	29
3.12.	elaboración propia	29
3.13.	http://blogs.libertaddigital.com/articulos-de-viaje/archivo-2011-02.html (26/03/2012)	29
3.14.	elaboración propia	29
3.15.	http://www.flickr.com/photos/jvavipelaez/4735478474/sizes/l/in/ (25/03/2012)	29
4.1.	elaboración propia	33
5.1.	http://fotos.euroresidentes.com/fotos/segovia/acueducto-de-segovia/ (14/05/2012)	39
5.2.	elaboración propia	39
5.3.	http://www.gallizo.com/resources/imagenes (19/01/2013)	39
5.4.	http://spanish.alibaba.com/product-gs (19/01/2013)	39
5.5.	elaboración propia	40
5.6.	elaboración propia	43
5.7.	elaboración propia	43
5.8.	elaboración propia	43
5.9.	elaboración propia	43
6.1.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	47
6.2.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	47
6.3.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	47
6.4.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	47
6.5.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	47
6.6.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	50
6.7.	Fomento de Construcciones y Contratas (1997)	50

Ilustración	Fuente	Página
6.8.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	50
6.9.	elaboración propia	50
6.10.	elaboración propia	50
6.11.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	52
6.12.	elaboración propia	52
6.13.	elaboración propia	52
6.14.	elaboración propia	53
6.15.	elaboración propia	53
6.16.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	54
6.17.	elaboración propia	54
6.18.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	54
6.19.	elaboración propia	54
6.20.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	56
6.21.	elaboración propia	57
6.22.	elaboración propia	57
6.23.	elaboración propia	58
6.24.	elaboración propia	59
6.25.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	59
6.26.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.27.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.28.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.29.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.30.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.31.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.32.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	60
6.33.	elaboración propia	61
6.34.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	62
6.35.	elaboración propia	62
6.36.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	62
6.37.	elaboración propia	63
6.38.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	64
6.39.	elaboración propia	64
6.40.	elaboración propia	64
6.41.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	65
6.42.	elaboración propia	66
6.43.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	67
6.44.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	67
6.45.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	67
6.46.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	67
6.47.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	67
6.48.	elaboración propia	68
6.49.	elaboración propia	68
6.50.	elaboración propia	69
6.51.	elaboración propia	69
6.52.	elaboración propia	70
6.53.	elaboración propia	70
6.54.	elaboración propia	71
6.55.	elaboración propia	71
6.56.	elaboración propia	71
6.57.	elaboración propia	71
6.58.	Fomento de Construcciones y Contratas (1998)	71



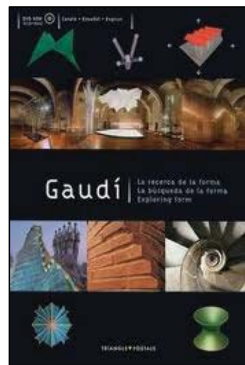
RECURSOS ELECTRÓNICOS

- Informes de la Construcción, Vol. 52 nO 469-470, septiembre/octubre-noviembre/diciembre 2000
- <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-568-Museo-Ciencias-Principe-Felipe.aspx>
- <http://www.flickr.com/photos/jmhdez/3891172138/>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Santiago_Calatrava
- <http://www.via-arquitectura.net/07/07-050.htm>

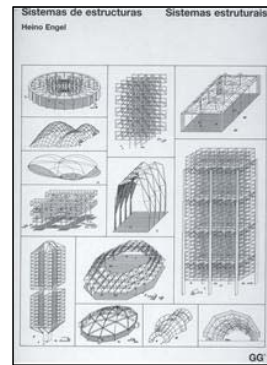
PLANOS Y ESQUEMAS

Todos los planos han sido cedidos por FCC, aunque han sido modificados y adaptados para este proyecto.





GIRALT MIRACLE, Daniel, 2002, Gaudí. La búsqueda de la forma, Lunwerg.

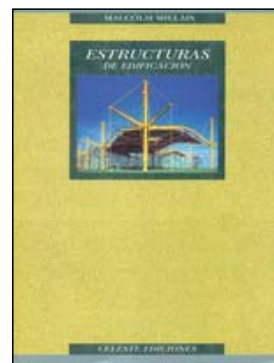


ENGEL, Heino, 2006, Sistemas de estructuras, Gustavo Gili S.L.



Mario y HELLER, Robert, 2005, Estructuras para arquitectos, Nobuko.

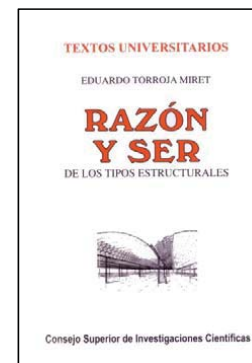
PFG's 2011, Taller 14. Superficies arquitectónicas singulares.



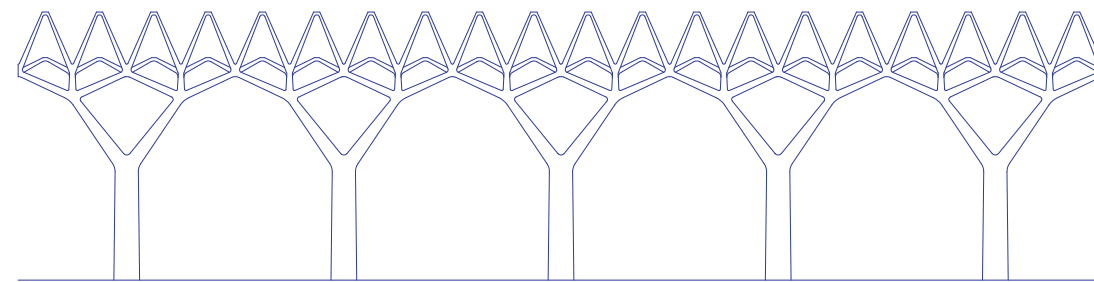
MILLAIS, Malcolm, 1997, Estructuras de edificación, Celeste.



SANCHIS SAMPEDRO, Francisco J., 2011, TFM: Las formas del hormigón. Catálogo práctico de diseño.



TORROJA MIRET, Eduardo, 2008, Razón y ser de los tipos estructurales, Consejo superior de investigaciones científicas.



ÁRBOLES DEL MUSEO PRÍNCIPE FELIPE

SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES - Francisco J. Sanchís Sampedro * Rafael J. Ligorit Tomás

Ángel Pascual Carrión Piles * Valencia 2011 - 2012