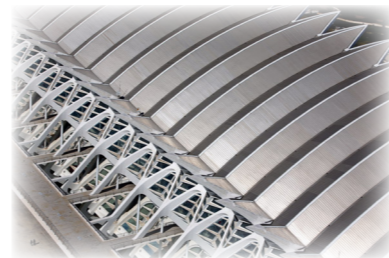


ANÁLISIS GEOMÉTRICO, CONSTRUCTIVO Y ESTRUCTURAL



CUBIERTA

MUSEO DE LAS CIENCIAS PRÍNCIPE FELIPE



FERNANDO CENTELLA ARIAS

GRADO EN INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN · PFG CIENTÍFICO - TÉCNICO · JUNIO 2012

Rafael Juan Ligorit Tomás · Francisco Javier Sanchis Sampedro

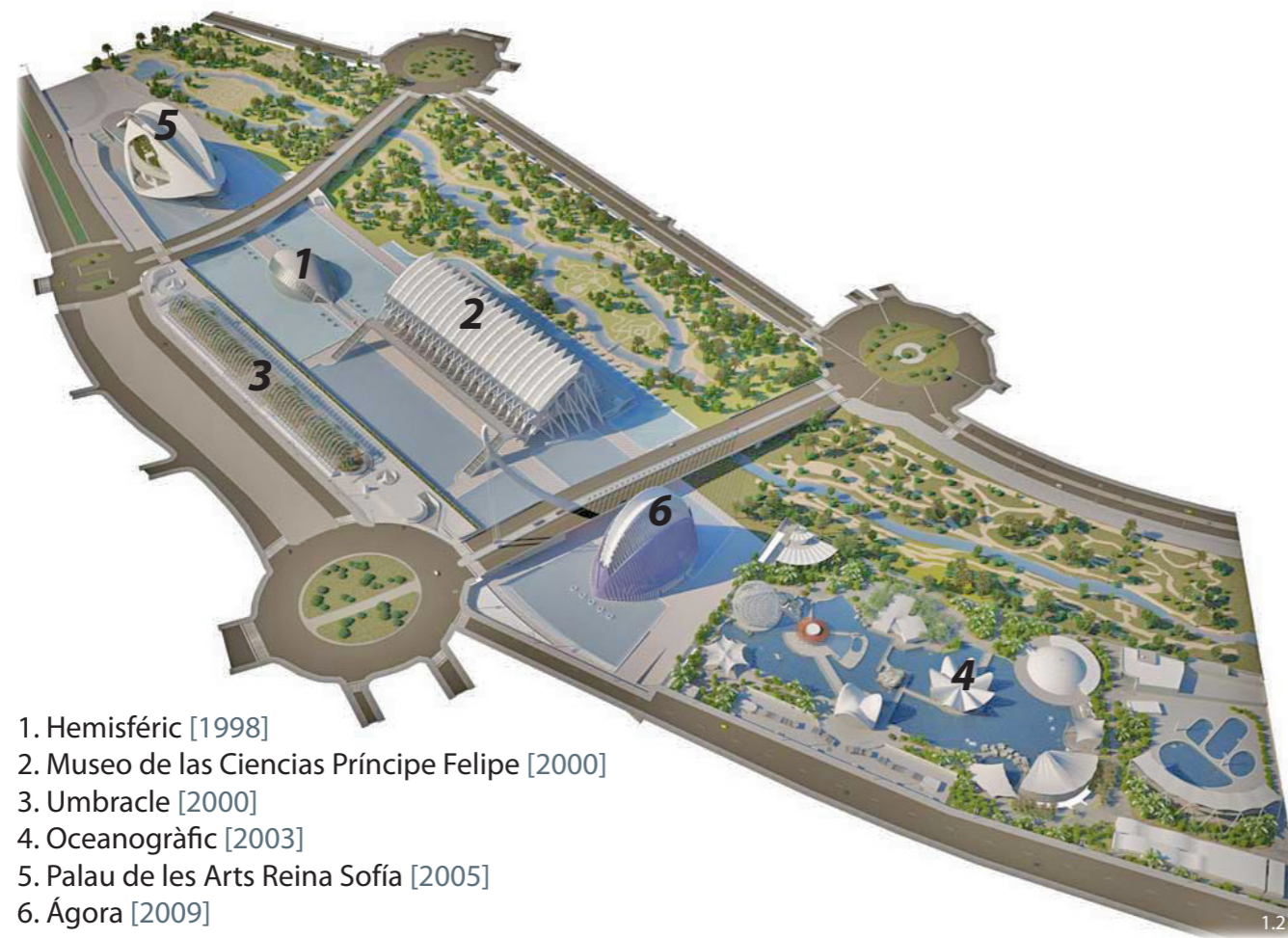


01. SUPERFICIE A ANALIZAR	03
02. DOCUMENTACIÓN SUPERFICIE	07
03. ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO	23
04. ANÁLISIS GEOMÉTRICO	27
05. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	31
06. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	38
07. CONCLUSIONES	74
08. BIBLIOGRAFÍA	76

→ SUPERFICIE A ANALIZAR



Después de la gran riada de 1957 en la ciudad de Valencia se decidió desviar el cauce del río Túria para impedir nuevas inundaciones en la ciudad. Gracias a este desvío, el antiguo cauce se convirtió en un espacio dedicado a zonas verdes, parques, zonas de ocio y recreo. Un gran pulmón verde para la ciudad donde más tarde se levantaría en el tramo final del cauce la Ciudad de las Artes y las Ciencias, un complejo arquitectónico, innovador y de vanguardia, dedicado a la difusión científica y cultural, que nace con el objetivo de promover, por medio de seis grandes elementos, el arte, la ciencia y la naturaleza.



1. Hemisféric [1998]
2. Museo de las Ciencias Príncipe Felipe [2000]
3. Umbracle [2000]
4. Oceanogràfic [2003]
5. Palau de les Arts Reina Sofía [2005]
6. Àgora [2009]



La ciudad de las Artes y las Ciencias, diseñada por los arquitectos Santiago Calatrava y Félix Candela, constituye el primer emblema de la modernidad de Valencia. Es un conjunto arquitectónico único en el mundo, un espacio donde se unen el mar y la luz, por medio de los colores blancos y azules. Se trata de un conjunto de estructuras complejas y superficies curvadas, basadas en el movimiento, el dinamismo y las formas naturales. Un conjunto de elementos con diferentes funciones unido por la similitud de sus materiales y colores.





La superficie a analizar se encuentra en el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, diseñado por Santiago Calatrava Valls. Un gran museo para dar a conocer de forma didáctica, interactiva y amena todo lo relacionado con la evolución de la vida, la ciencia y la tecnología.

La arquitectura del Museo de las Ciencias se desarrolla a partir de su sección transversal, repitiéndose en todo su eje longitudinal. Los testeros, asumen su carácter de remate final del edificio de modo simétrico, con una imagen tensional, de sujeción de los distintos módulos repetitivos a la manera de contrafuertes laterales. La estructura interna se basa en una serie de plataformas suspendidas de un sistema de árboles de hormigón, cuyas ramificaciones sujetan la cubierta del edificio. Así el edificio se configura como una gran cubierta metálica de estructura tubular que se apoya sobre la celosía modular de hormigón armado de la fachada sur y sobre los árboles.



La principal característica de esta obra arquitectónica son sus espacios abiertos y su gran cortina de cristal plegada, situada en la fachada norte, que inunda de luz el edificio. La fachada sur, con su silueta dentada, se articula sobre una compleja combinación de formas romboidales quebradas. El edificio funciona como un fuelle sin juntas de dilatación, la estructura se dilata y se encoge como un acordeón. El resultado es un grandioso fuelle de hormigón y cristal que recoge los pliegues de la cubierta y los transmite a lo largo de toda la fachada en zigzag.



La superficie singular elegida para su estudio pormenorizado es la cubierta del Museo de las Ciencias, una superficie modelada por Santiago Calatrava, que genera inquietudes, tanto a nivel de su diseño geométrico como de su formalización constructiva.



Compuesta por dos curvas definidas en la sección transversal que se repiten a lo largo del eje longitudinal del edificio. Se trata de un sistema modular formado por vigas que conforman las limatesas y limahoyas de la cubierta. Entre estas se disponen correas trianguladas en sentido transversal que soportarán los paneles de cobertura.

Ejecutada con una estructura que descansa sobre la celosía modular de hormigón de la fachada sur y sobre las ramificaciones de los árboles.

SU RESOLUCIÓN DESAFÍA A LA IMAGINACIÓN



La cubierta se asemeja a una gran lámina de agua rizada por el viento. Un juego geométrico descrito por "ondas acuáticas" de 45 metros de longitud, generadas por celosías de acero en forma de arco inclinado.

El estudio de este proyecto facilitará la comprensión de la superficie, no solo para entender la geometría y construcción del elemento sino también para servir como modelo arquitectónico, descubriendo nuevas formas y procesos distintos a la construcción tradicional.

DESPERTANDO LA CREATIVIDAD Y LA IMAGINACIÓN DEL ALUMNO



2 DOCUMENTACIÓN SUPERFICIE



PROMOTOR: GENERALITAT VALENCIANA
GESTIÓN DE PROYECTO Y OBRA: C. A. C. S. A.
PROYECTO Y DIRECCIÓN DE OBRA: SANTIAGO CALATRAVA VALLS
DIRECCIÓN DE OBRA DE INSTALACIONES: L.Z. INGENIEROS CONSULTORES, S. L.
EMPRESA CONSTRUCTORA: UTE MUSEO, FCC-NECSO

MUSEO DE LAS CIENCIAS

Hormigón preparado: HAT HORMIGONES, S. A.
Elaboración y montaje de acero corrugado: FERROBERICA, S. L.
Elaboración y montaje de estructura metálica: TALLERES NECSO-TORREJÓN, S. A.; METÁLICAS DEL GUADALQUIVIR; AUGESON, S. L.; TREYCAL, S. L.
Grúas: GRÚAS ALAPONT, S. A.; GRÚAS RIGAR, S.A.; GRÚAS BONET, S.A.
Encofrados: ALCOR, S. A.; LE.S., S. A.; INGENIERÍA FLORS, S. A.
Encofradores albañiles: SOR, S. L.; LEAL CAMINO, S. L.; CIUDAD MEDETERRÁNEA, S. L.; DASOMA, S. L.
Acristalamientos: LAVENECIANALEVANTE, S.L.; ARIÑODOUGLAS, S.A.
Pavimentos: COMARPI, S. L.
Acero inoxidable: INDUFERRO, S. L.; CERRAJERÍA MASÍA DEL JUEZ, S. L.
Instalaciones: INSTALACIONES FONSA, S.A.; FONLIDER, S.L.; HONEYWELL, S.A.
Cubierta de Kal-Zipp: IBER-AIS, S. L.
Perforaciones y taladros: ANCLAFIX, S.L.
Carpintería estructura metálica: NABONDA GROUP, S. L.
Muro cortina: TALLERES MOYSER, S. L.
Cartón yeso: PORTACARRETÓN, S. L.; SISTESUL, S. L.
Revestimientos (pinturas): APOL, S. L.
Iluminación: DISEÑOYLUZ, S.L.
Suministros ferreteros: SUMINISTROS FERREHICU, S. L.
Cancelas y puertas: TRIMEL, S. L. STANLEY
Ascensores y escaleras mecánicas: ZARDOYA OTIS, S. A.
Medios auxiliares de elevación: ALDAITURRIAGA, S.A.; SERVICLEM, S.A.; J.M.G. MONTERO, S.A.; VAMASA; 1.PONS, S.A.
Suministro de material eléctrico: CIAL ANTONIO CHUST, S. A.
Instalaciones eléctricas: ELECTROTECNIA MONRABAL, S. A.
Movimiento de tierras: EXC. Y SERVICIOS ARGENTE, S. A.
Instalaciones eléctricas y red informática: MONT. ELÉCTRICOS G. DEL OLMO
Maquinaria: FERRIOL, S. L.



2.1

ESTRUCTURA METÁLICA CUBIERTA

Fabricación y montaje: METALURGIA DEL GUADALQUIVIR, S.L. - MEGUSA

DETALLES ESTRUCTURA METÁLICA

Peso: 1604 Tn

Longitud: 210 m

Acero: S355J2G3 (ST-52.3)

Altura: 50 m

Ancho: 54,5 m

Estructura metálica singular para cubierta, formada por 21 celosías triangulares de 10 m de base y altura variable entre 3,4 y 2,7 m que libran una luz entre apoyos de 45,5 m. Fabricada en su mayor parte por vigas armadas en chapas de calidad S355J2G3, requirió un riguroso control de ensayos no destructivos. El peso de la estructura es de 1604 Tn y cubre una superficie de $210 \times 54,5 = 11.445\text{m}^2$. El tratamiento superficial aplicado fue intumescente (sistema Protherm) para un grado de protección EF-30. Transportada a obra desde Sevilla con largos de 35/40 m y ancho de 6,3 m, requirió de unos caballetes especiales basculantes que permitieron adaptarse a altos y anchos autorizados.



CUBIERTA KALZIP

Instalación: IBER-AIS, S.L.

DETALLES CUBIERTA

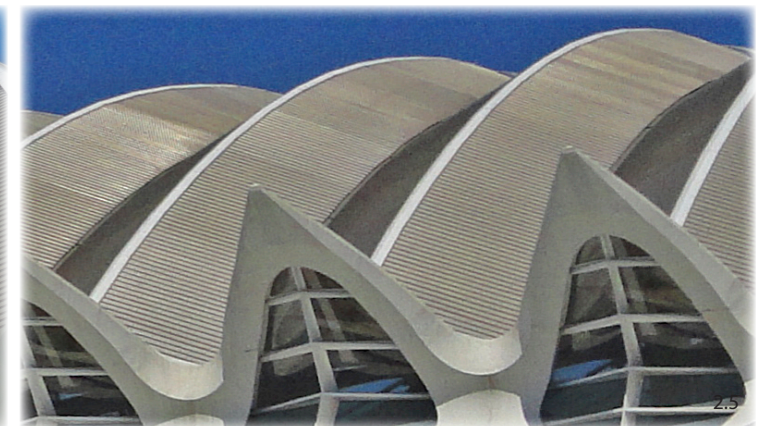
Tipo de perfil: Kalzip 65/333

Tipo de superficie: Estucado

Color: Aluminio

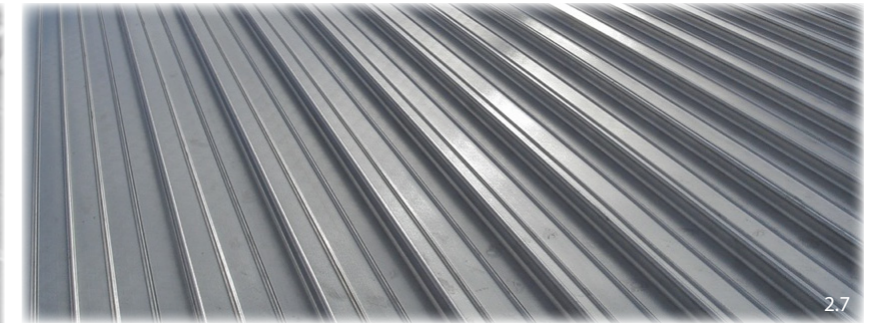
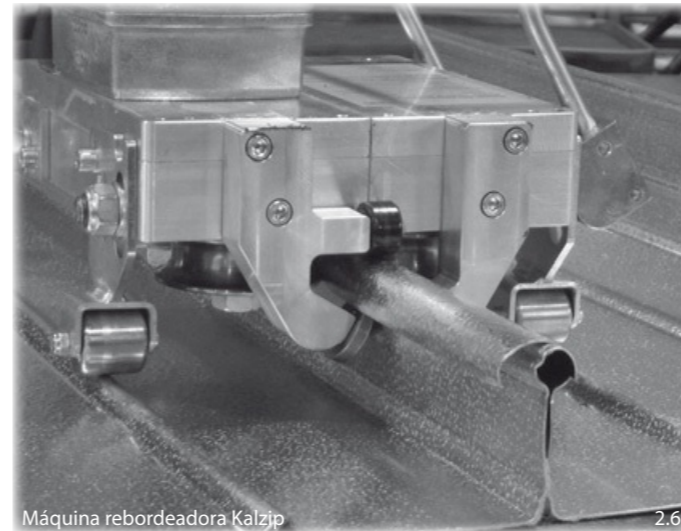
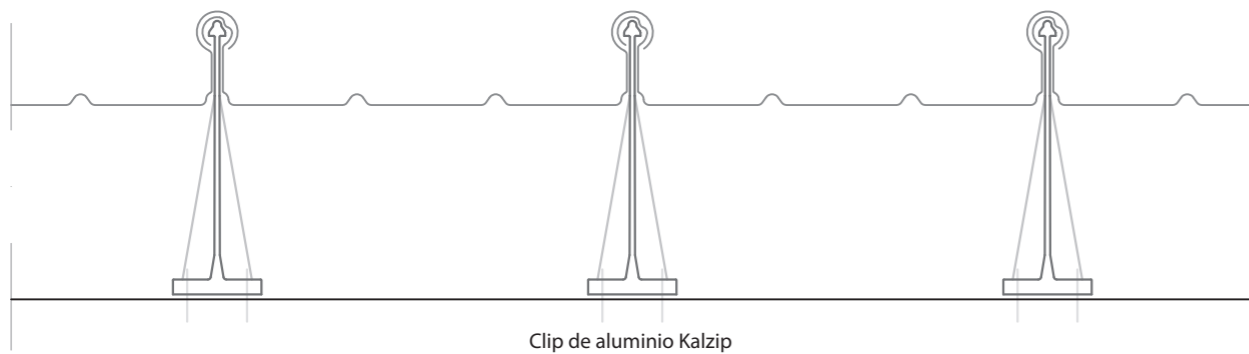
Superficie cubierta: 11500 m²

Sistema muy funcional para el drenaje del agua a través de canales centrales entre cada costilla de la cubierta. La cubierta esta compuesta por 21 costillas. Capa interior lisa de poliéster con recubrimiento de acero, apoyada en correas y vigas, con perfiles omega en su interior. A continuación barrera de vapor y sobre ella los clips "ST 50", con almohadillas de barrera térmica, para la fijación de los perfiles Kalzip 65/333 de 1 mm de grosor con acabado estucado en longitudes de 5,4 m. Los canalones son perfiles estucados de aleación de aluminio de 1,2 mm de grosor y con un ancho de 750 mm. Las crestas convexas de la cubierta están revestidas con tapajuntas de aluminio bañados en color blanco.

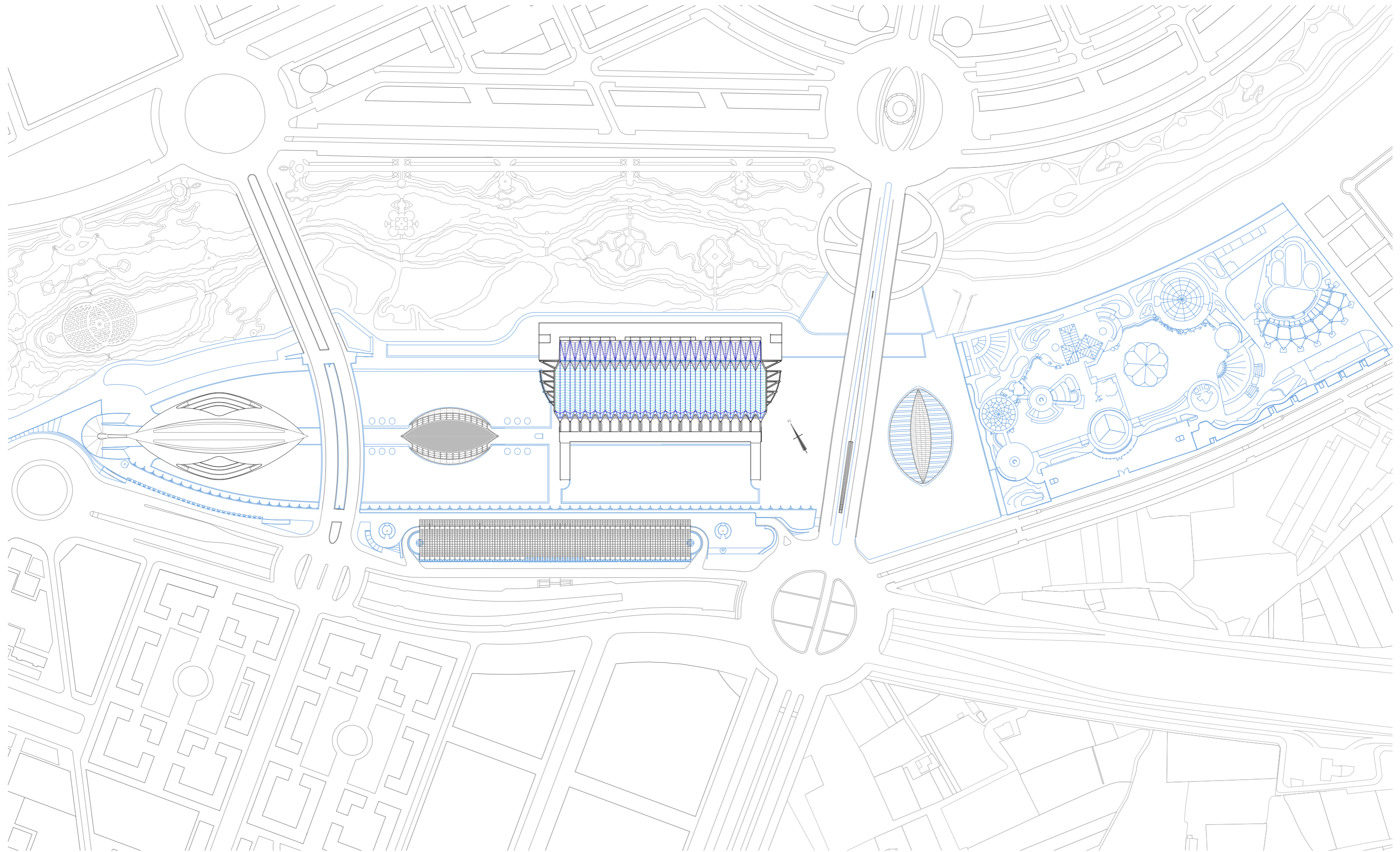


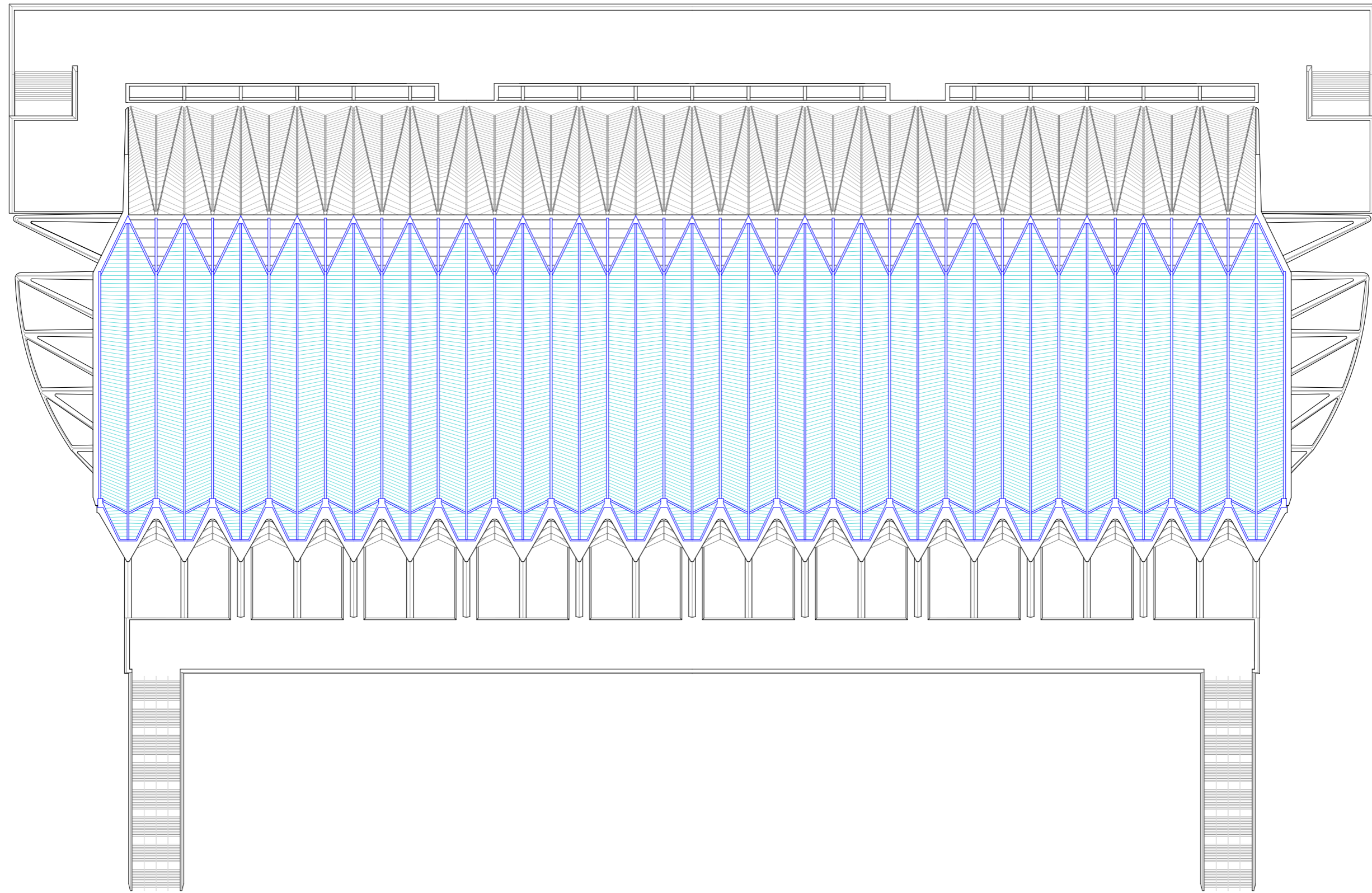


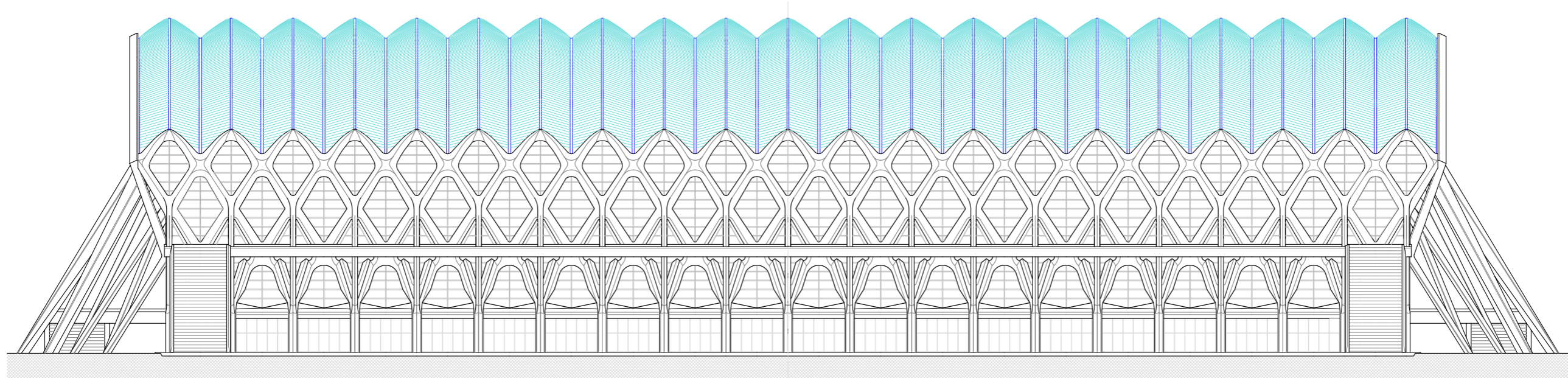
El sistema de cubierta Kalzip utiliza unos clips especiales de aluminio para unir las bandejas perfiladas con la subestructura, estos clips encajan con las aletas rebordeadas de las bandejas y se solapan con la siguiente. Así los elementos de fijación quedan ocultos debajo de la cubierta y no la perforan. De este modo se garantiza una estanquidad máxima frente a la lluvia.



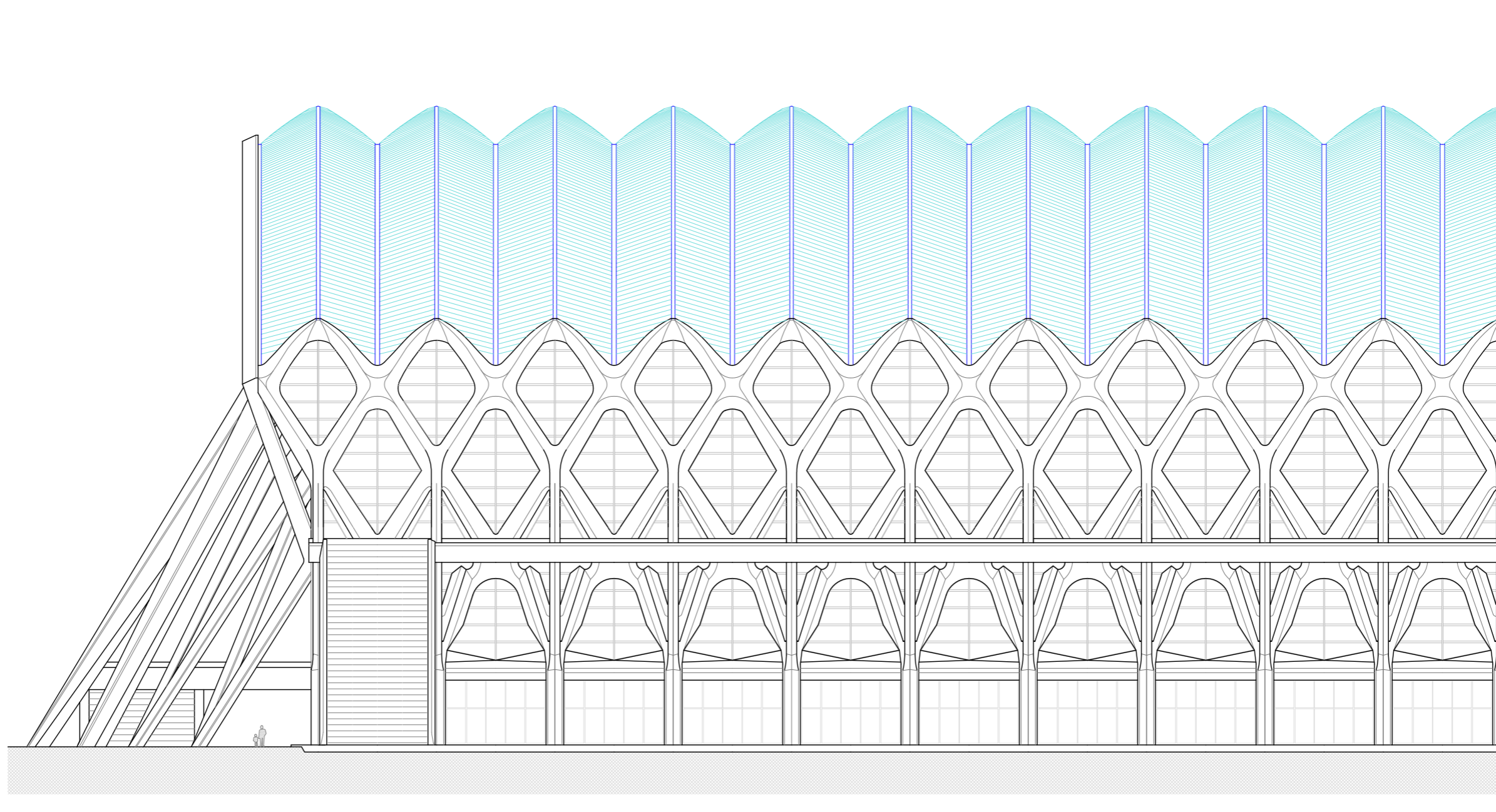
La máquina rebordeadora de Kalzip se utiliza para unir las bandejas contiguas a las cabezas de los clips. Esta máquina presiona las aletas rebordeadas de las bandejas a los clips de forma que las bandejas se quedan sujetas sin necesidad de utilizar elementos de fijación que perforan la cubierta.



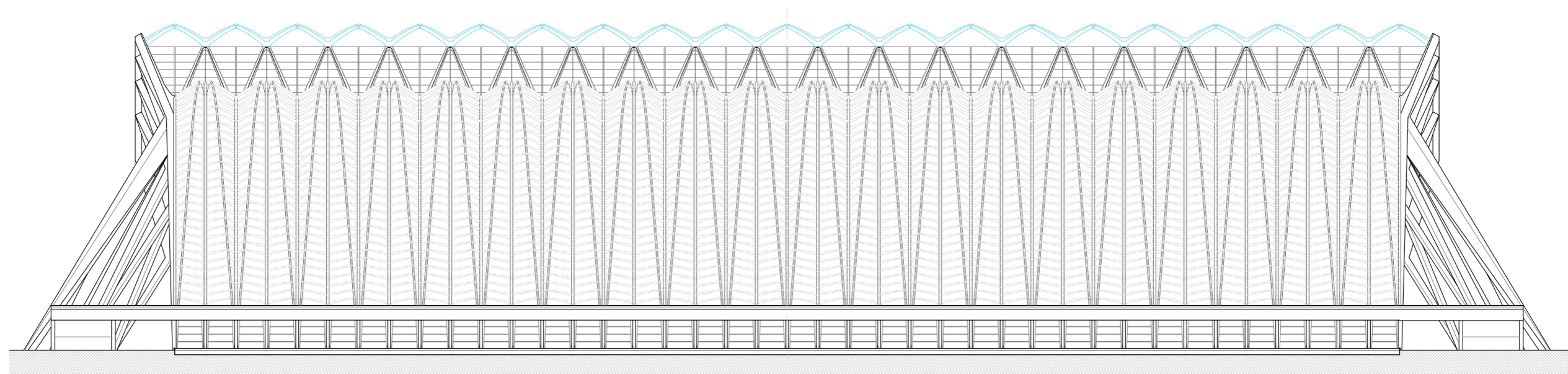
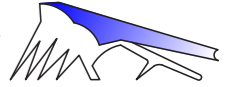




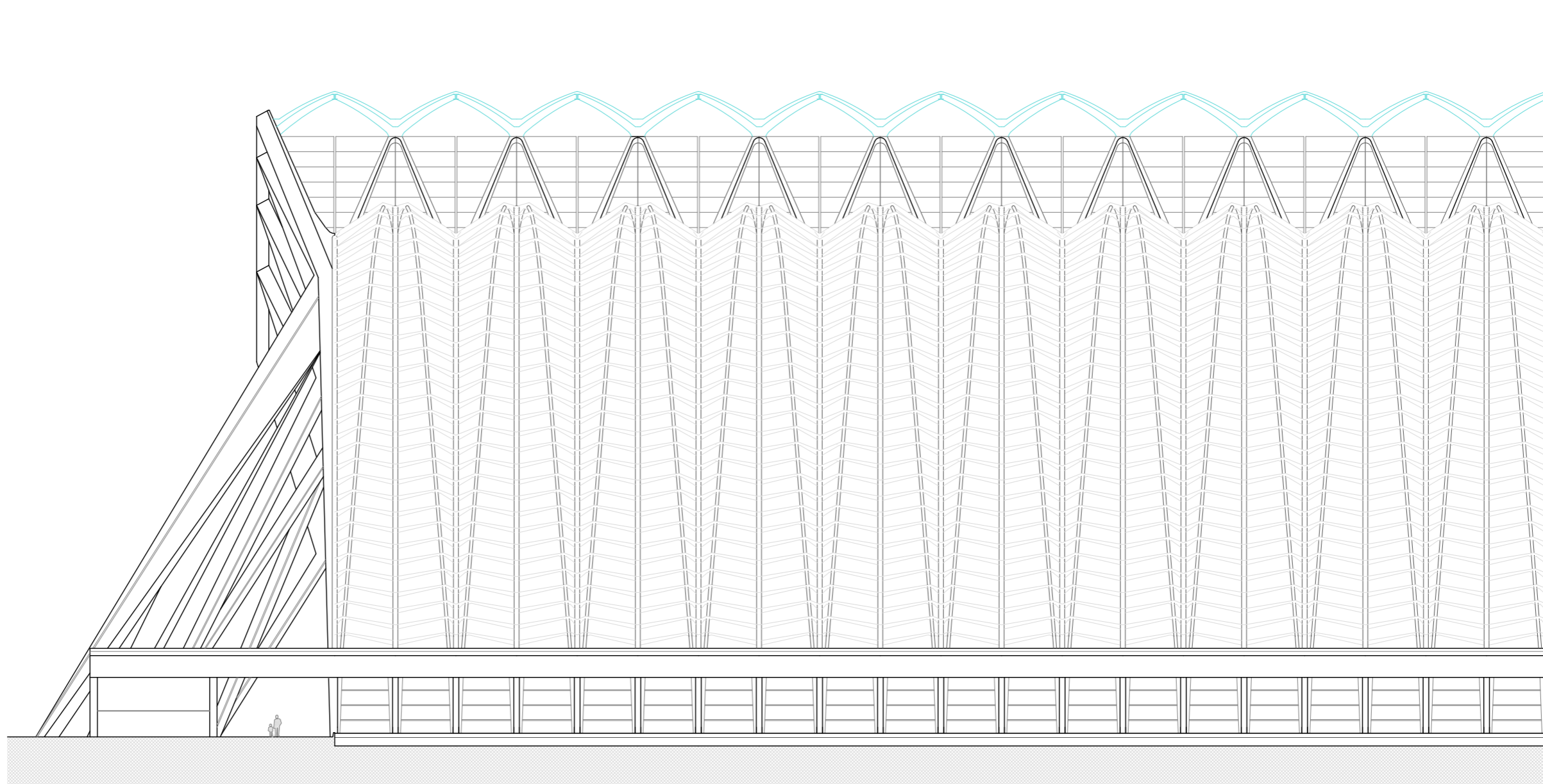
E 1:750 0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 m



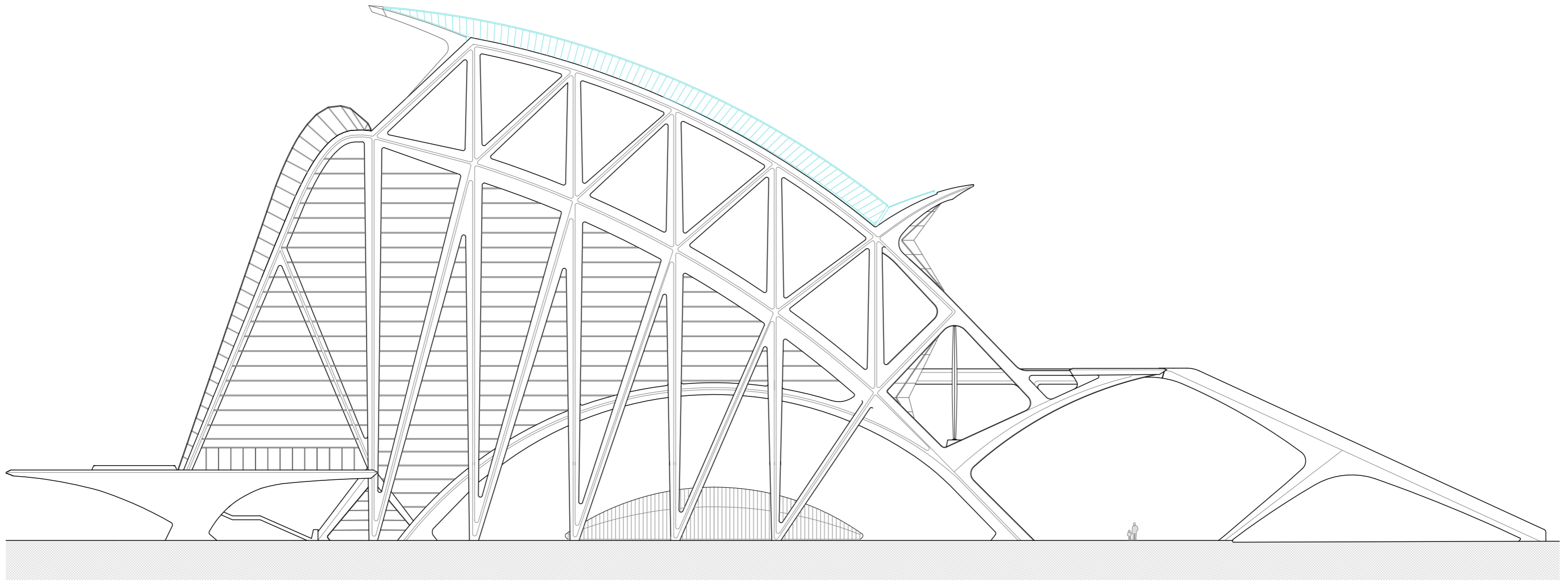
E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



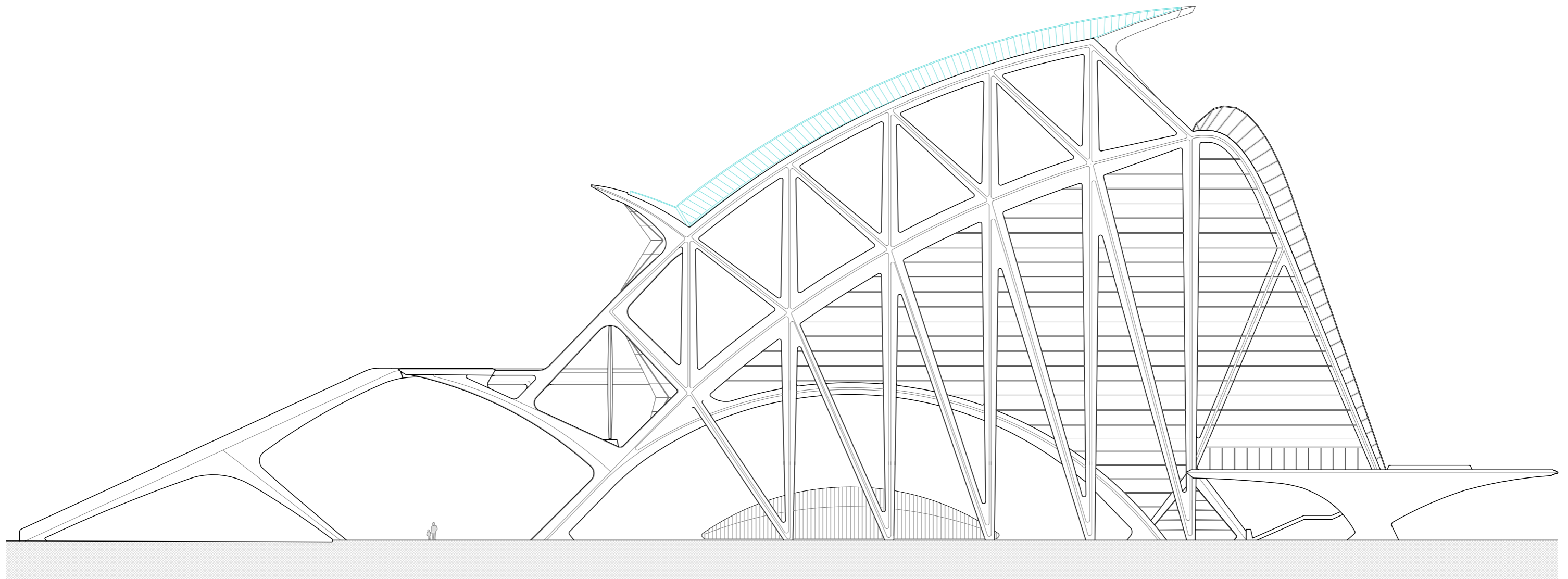
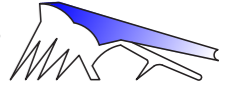
E 1:750 0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 m



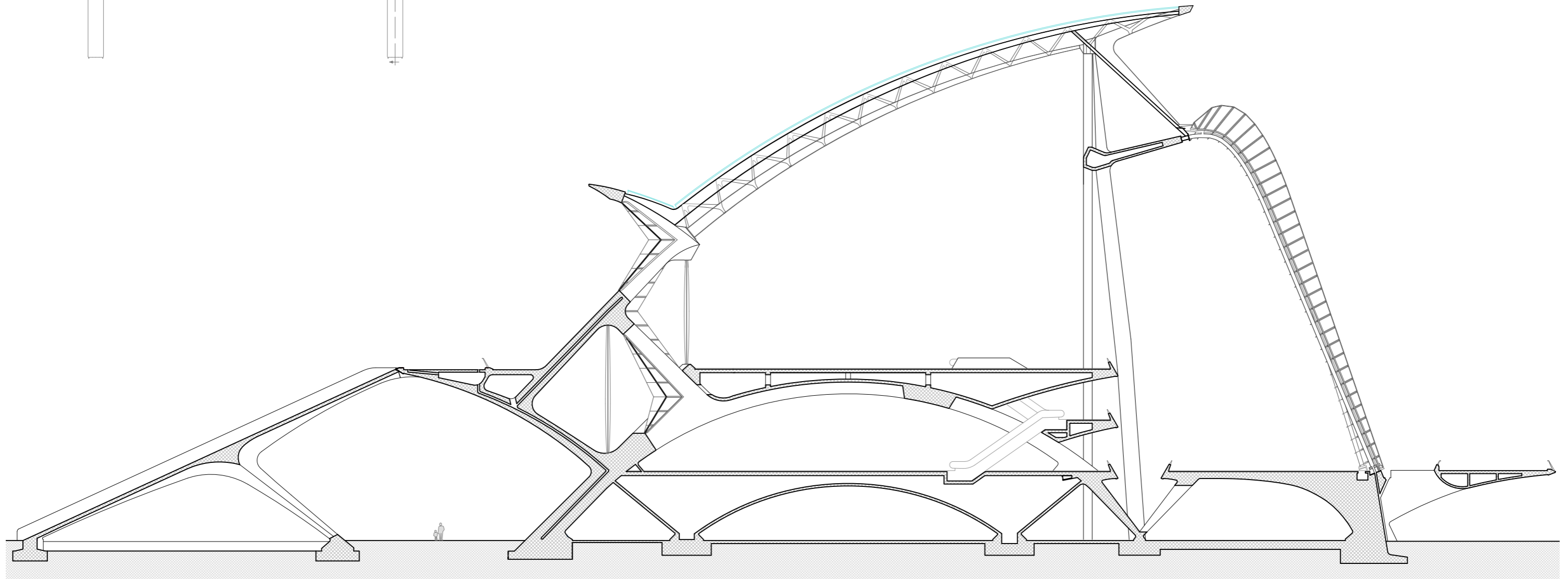
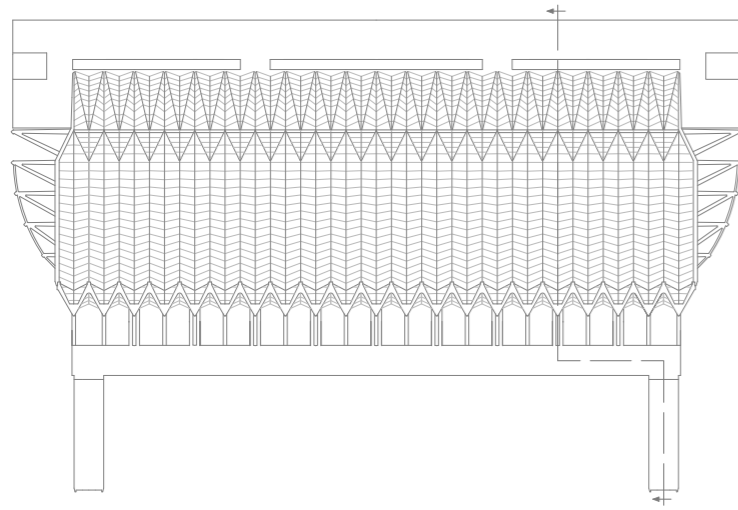
E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



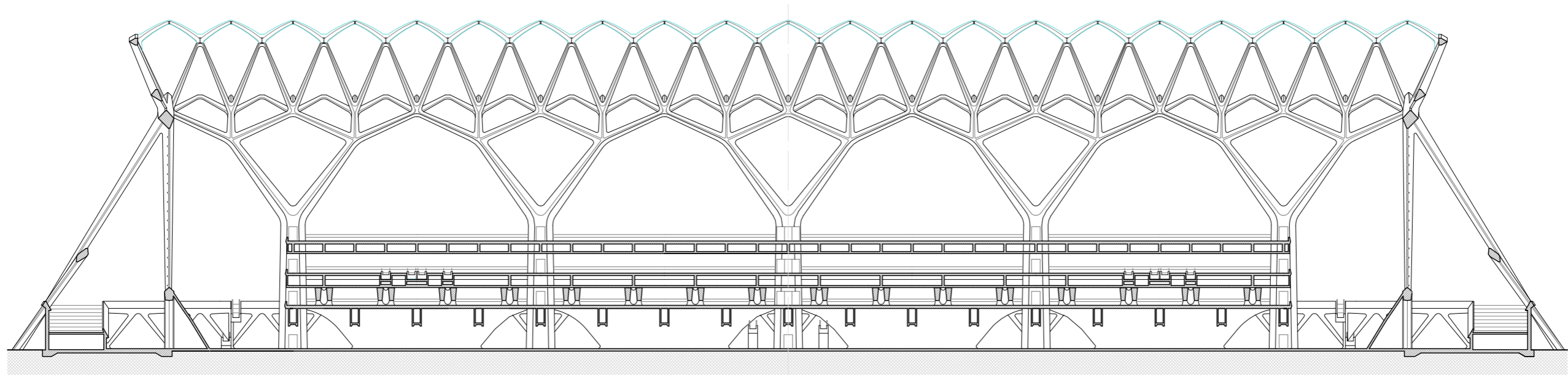
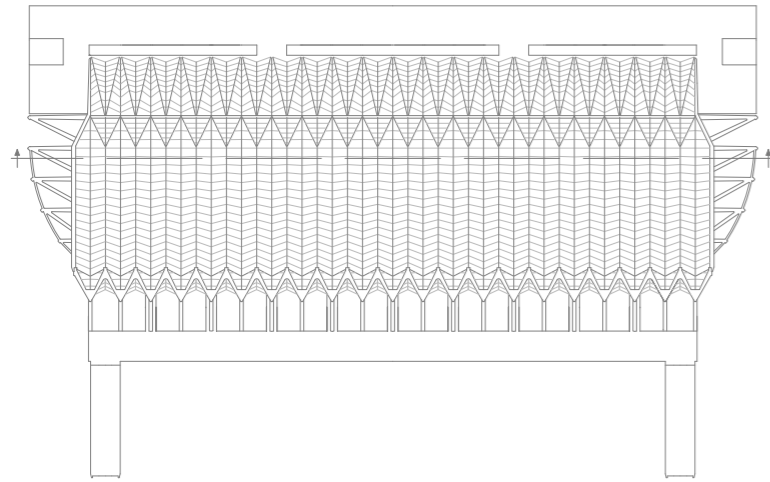
E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



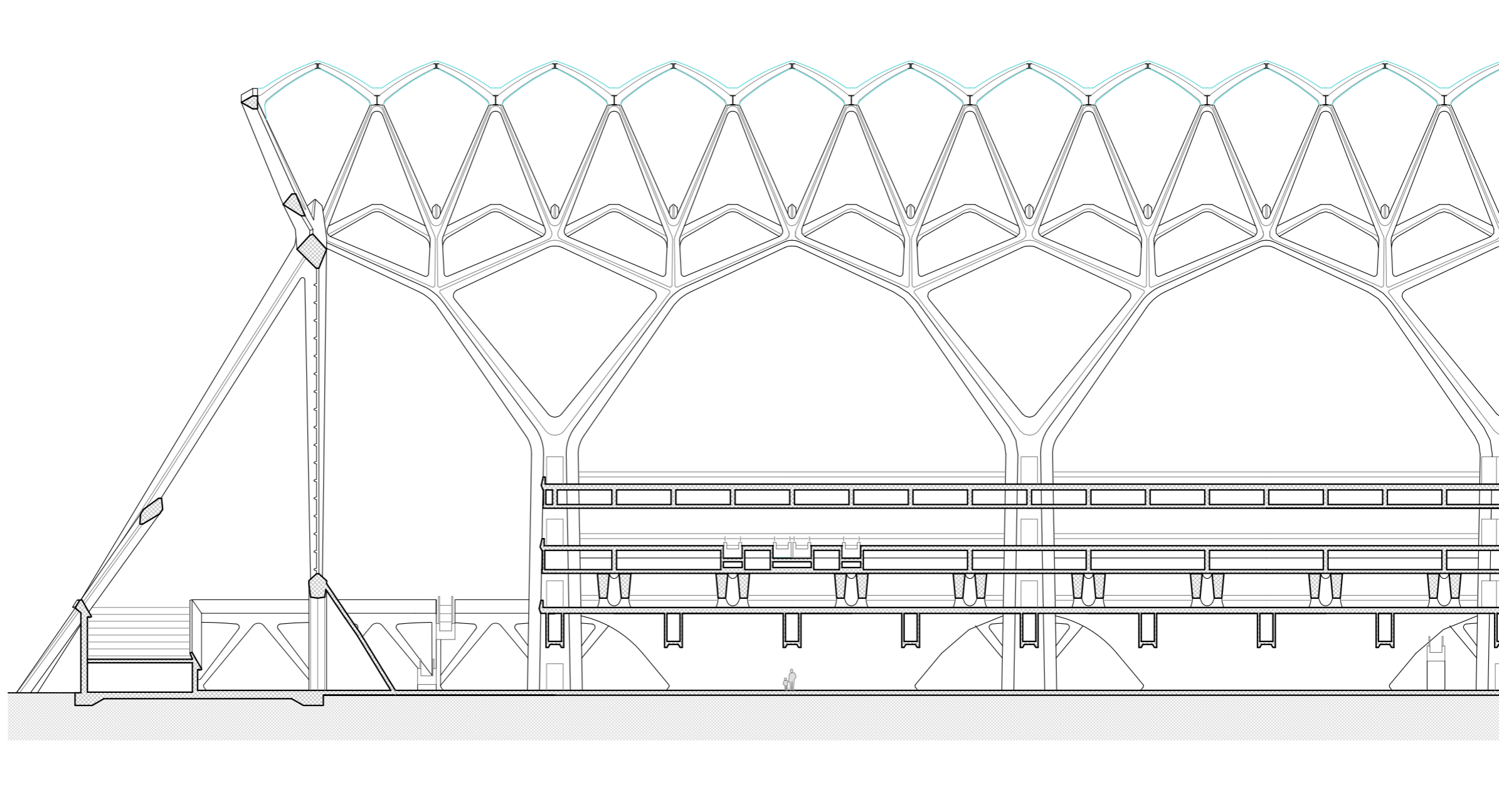
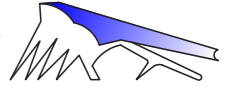
E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



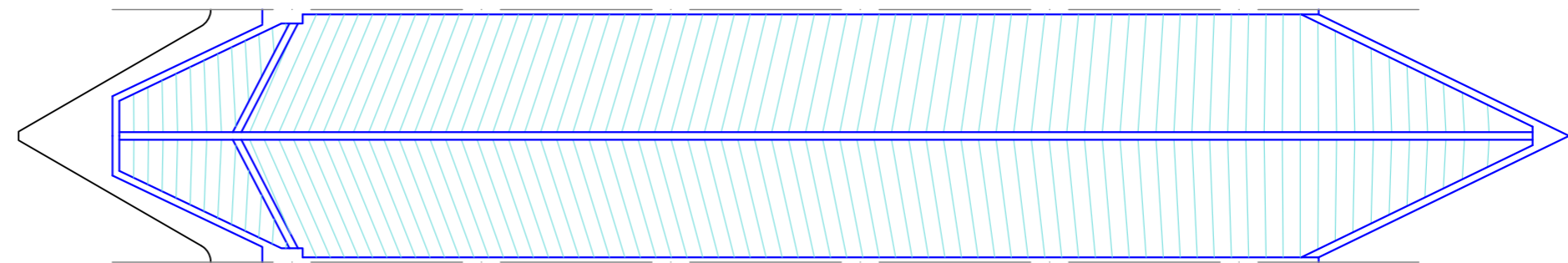
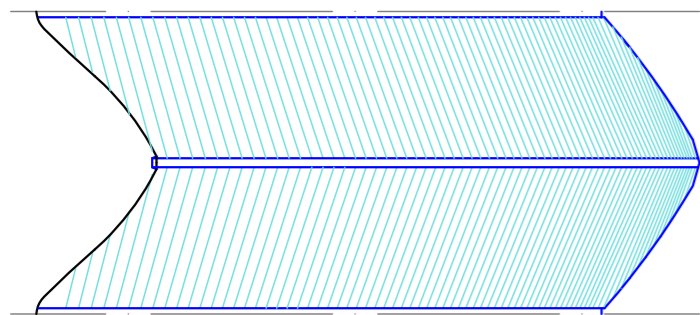
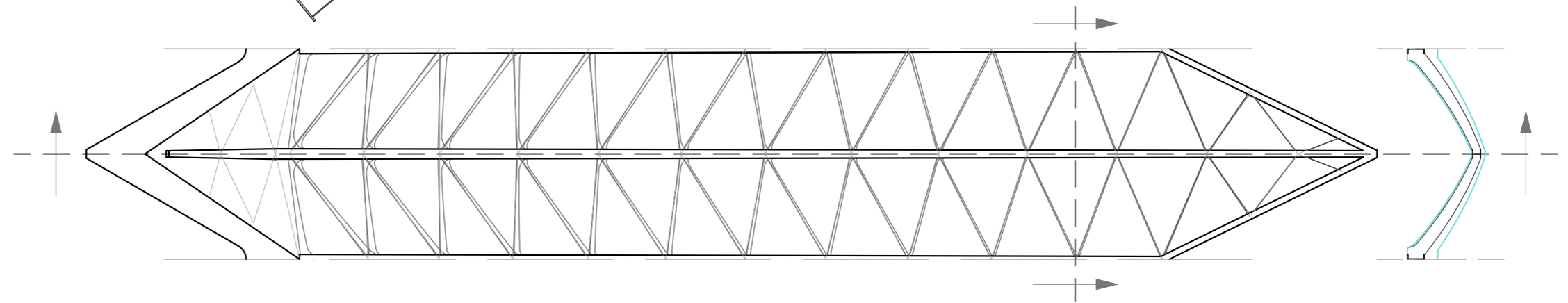
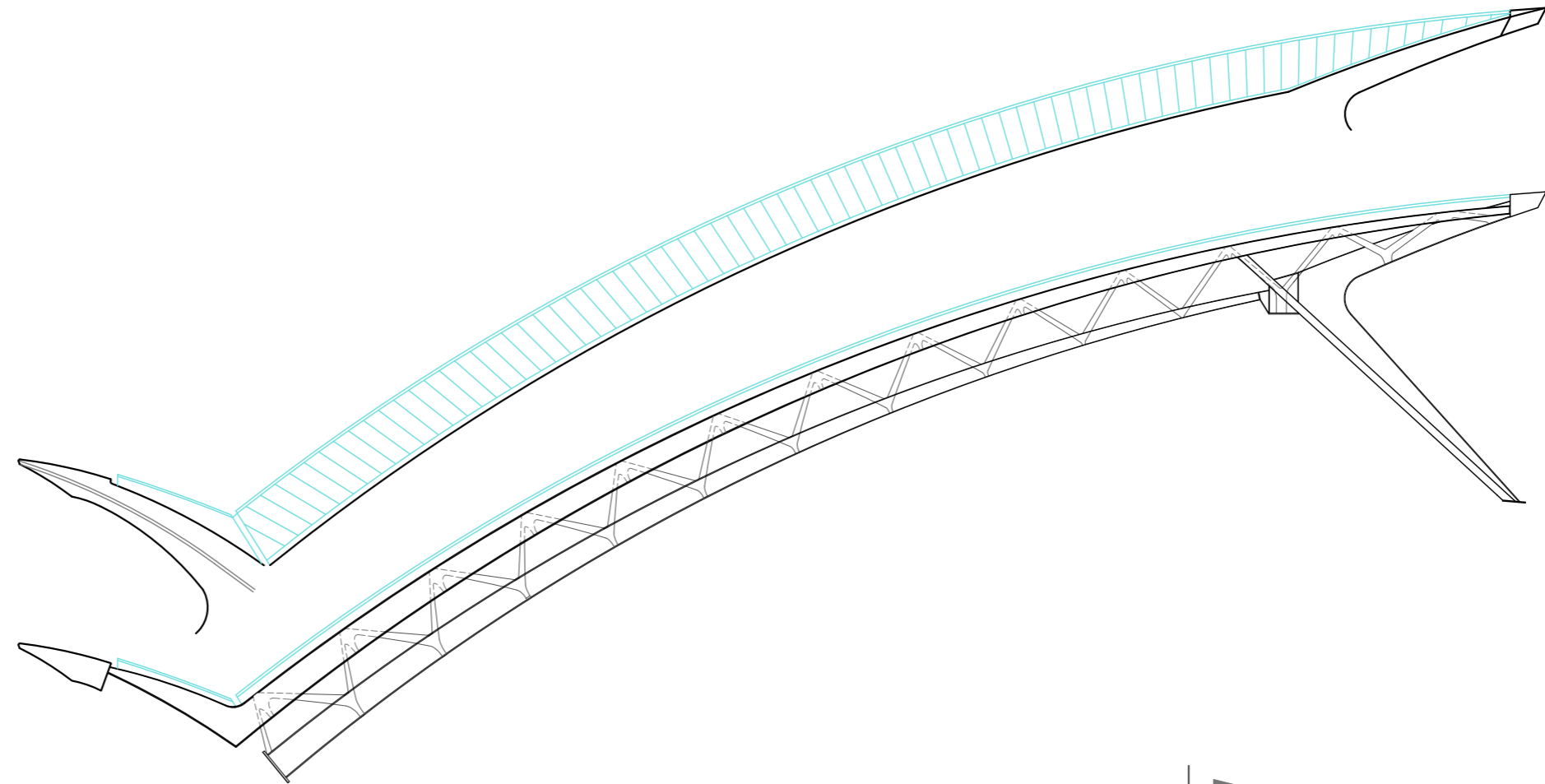
E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



E 1:750 0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 m



E 1:400 0 1 5 10 20 30 40 m



E 1:250 0 1 5 10 20 30 40 m



HISTORIA



La cubierta es el elemento inicial de la búsqueda de refugio por parte del hombre. Podemos no tener paredes o usar la tierra de piso, pero para protegernos necesitamos una cubierta. En realidad se sabe muy poco sobre la vivienda prehistórica y es que normalmente se hacían de materiales biodegradables.

Se emplearon los recursos que ofrecía la naturaleza. Sabemos que se refugiaban en diversas estructuras de ramas y piedras.



En los países calizos las cuevas ofrecieron refugio a los grupos humanos. Aunque era un recurso muy poco empleado, siendo de uso principal para rituales y enterramientos.

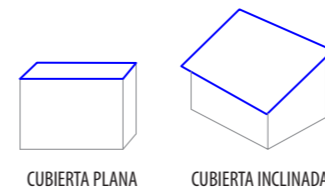
En zonas frías y con pocos árboles se empleaban huesos de mamut recubiertos por pieles para mantener un ambiente cálido en su interior.



Luego, el descubrimiento de la agricultura obliga a la sedentarización de la población. Aquí aparecen los primeros antecedentes básicos de lo que es nuestra vivienda actual.

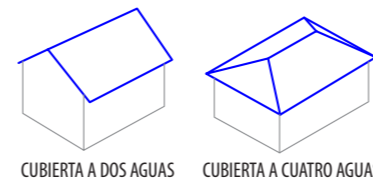
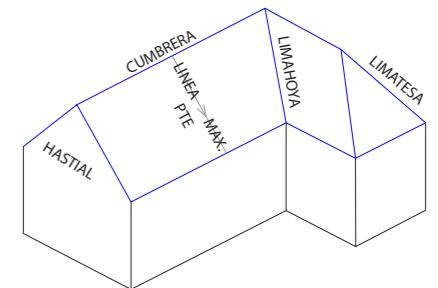
Viviendas de una o dos estancias, de planta circular o cuadrada. El muro de cierre suele ser de piedra o adobe, mientras que la cubierta es de elementos orgánicos como ramas, paja, etc.

DEFINICIÓN CUBIERTA La cubierta es el elemento constructivo que protege a los edificios en la parte superior. Las cubiertas son necesarias para proteger a los edificios de las fenómenos meteorológicos.



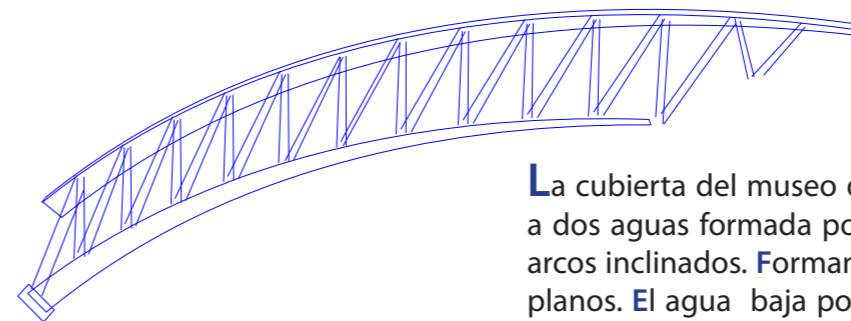
Se suele distinguir entre dos tipos: la cubierta inclinada y la cubierta plana, las inclinadas se utilizaban más en climas principalmente lluviosos, pues permiten desalojar el agua por simple gravedad, y las planas en climas más secos, donde además tienen aprovechamiento.

Cada plano que forma una cubierta inclinada se denomina faldón. Las aristas que separan cada faldón se llaman limas, limahoya (en la parte cóncava), limatesa (en la parte convexa). La lima superior de coronación se llama cumbre.



Para describir la forma de las cubiertas inclinadas se suele hacer referencia al número de faldones, a los que se les llama "aguas", así se habla de cubiertas a un agua, a dos, tres, cuatro o más aguas.

Las cubiertas metálicas resuelven techar recintos de grandes luces sin apoyos intermedios. El principio estructural utilizado es la triangulación. La rigidez de las cerchas de la cubierta y de las vigas en celosía, está basado en el principio de indeformabilidad de los triángulos que la forman.

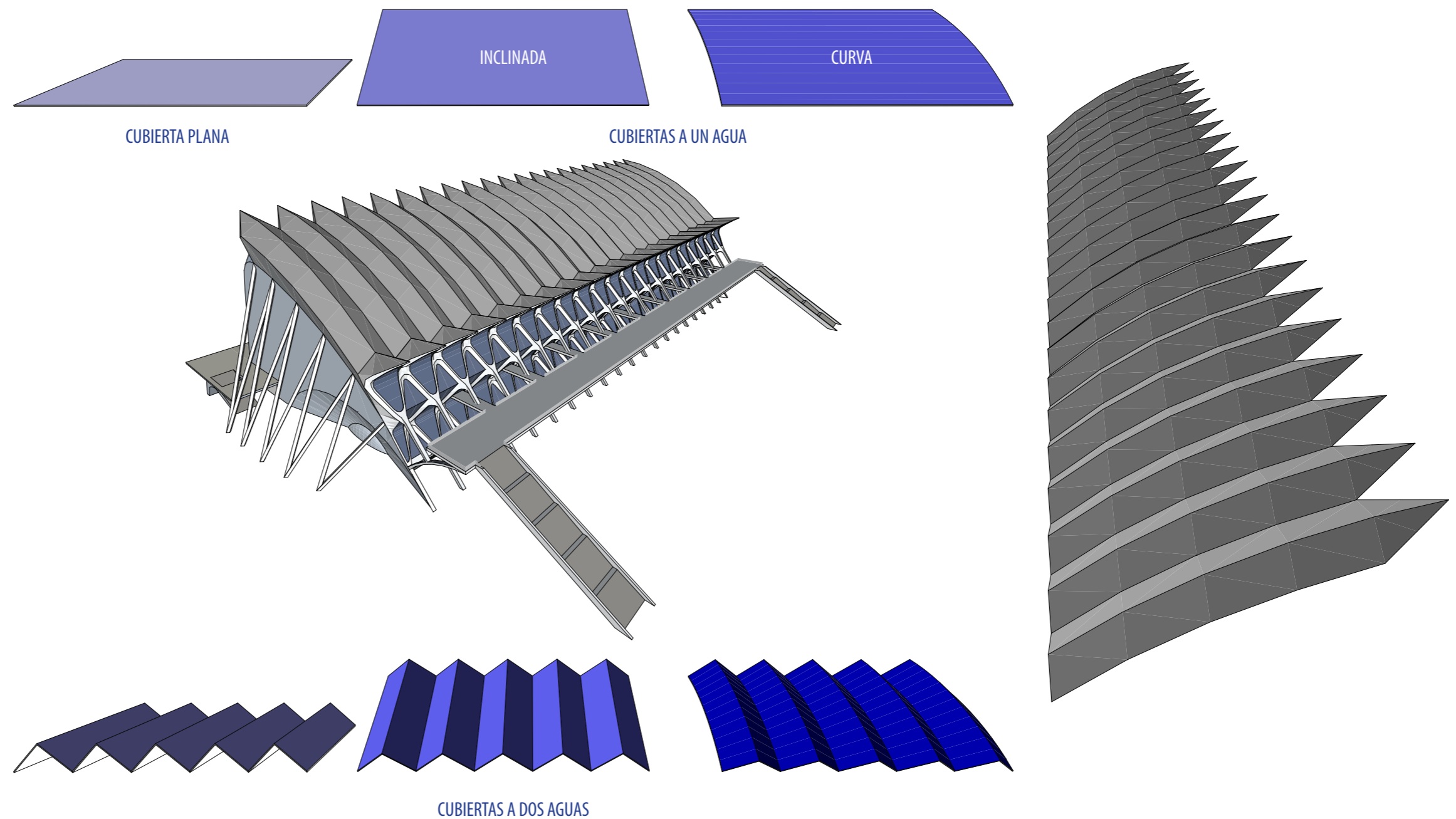


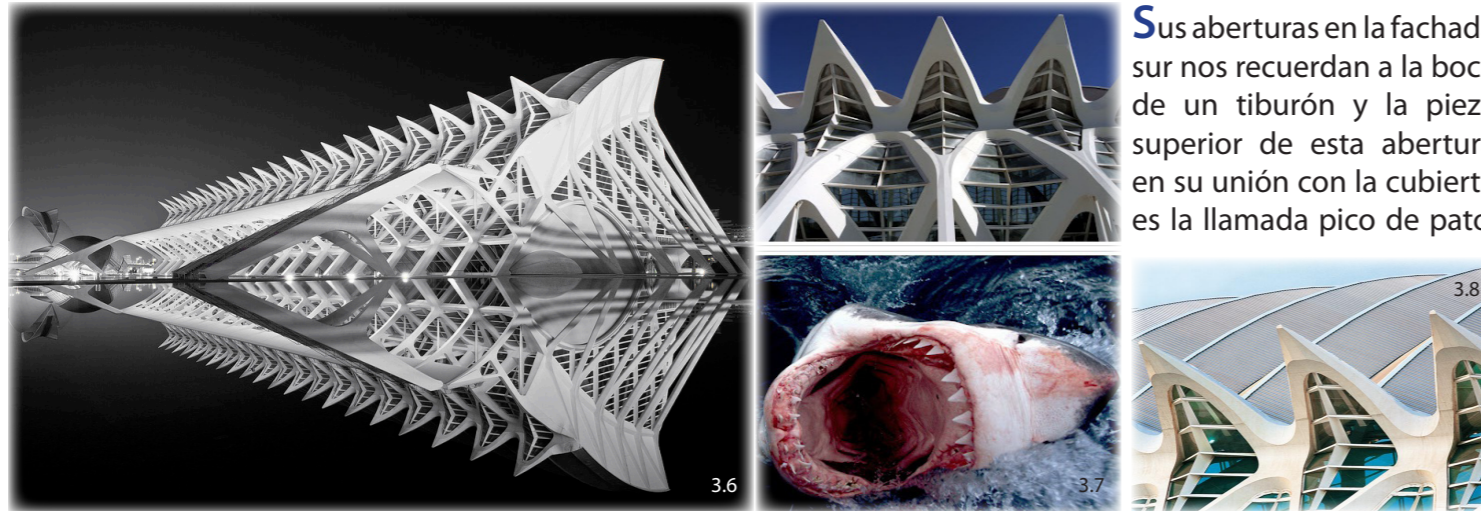
La cubierta del museo de la ciencias es una repetición de cubiertas a dos aguas formada por 21 celosías trianguladas definidas por dos arcos inclinados. Formando limatesas y limahoyas en la unión de sus planos. El agua baja por gravedad a la limahoya y por esta discurre hacia la bajante, existe una bajante por cada limahoya de la cubierta.



Calatrava diseña la cubierta del Museo de las Ciencias partiendo de una cubierta inclinada a la que le da una pequeña curvatura de forma que sigue las líneas del edificio. Además divide esta cubierta curva, en una repetición de cubiertas a dos aguas formadas por arcos inclinados que se unen con las líneas de la fachada sur y la fachada norte. De esta forma Calatrava consigue diseñar una cubierta que no solo desarrolla la función de proteger al edificio sino que también forma parte de él siguiendo su geometría y sus líneas, formando módulos en su sección transversal que se repiten a lo largo de todo su eje longitudinal.

Un juego geométrico descrito por celosías de acero en forma de arco inclinado de 45 m de longitud entre apoyos consiguiendo un espacio diáfano en su interior.





Sus aberturas en la fachada sur nos recuerdan a la boca de un tiburón y la pieza superior de esta abertura en su unión con la cubierta es la llamada pico de pato.

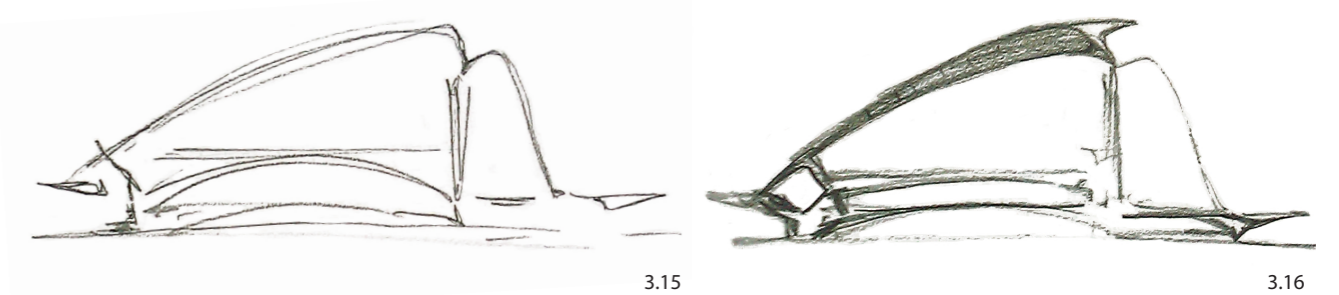
La interpretación general del edificio suele ser el esqueleto de un dinosaurio o un animal mitológico. Se habla de que su estructura se diseñó como si fuera la columna de un reptil, adornada por una cresta, cuyo peso reposa sobre los soportes laterales.



La cubierta se asemeja a una gran lámina de agua rizada por el viento. Un juego geométrico descrito por "ondas acuáticas" de 45 metros de longitud, generadas por celosías de acero en forma de arco inclinado.

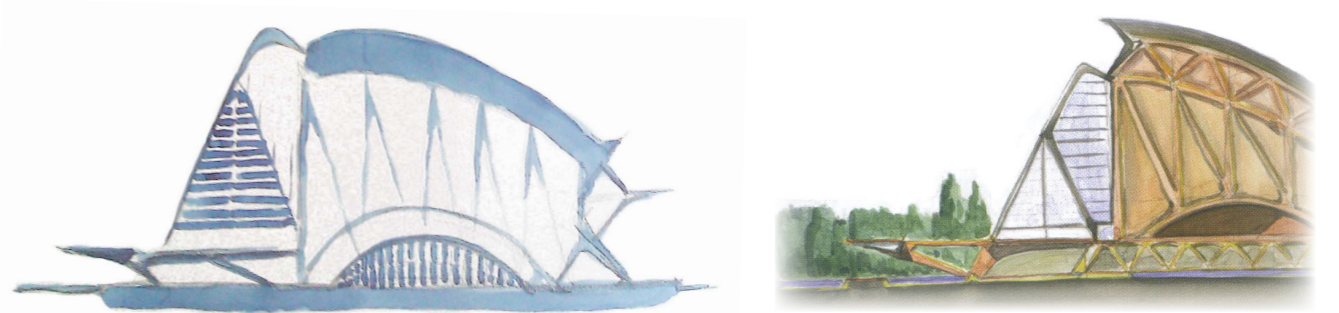
Calatrava juega con los colores y las formas, el material que elige para cubrir la cubierta genera diferentes colores según la incidencia del sol y la luz. Pasando del color metálico original a colores azulados y anaranjados.

Además también se asemeja a las líneas formadas por el viento en la arena de las dunas del desierto.



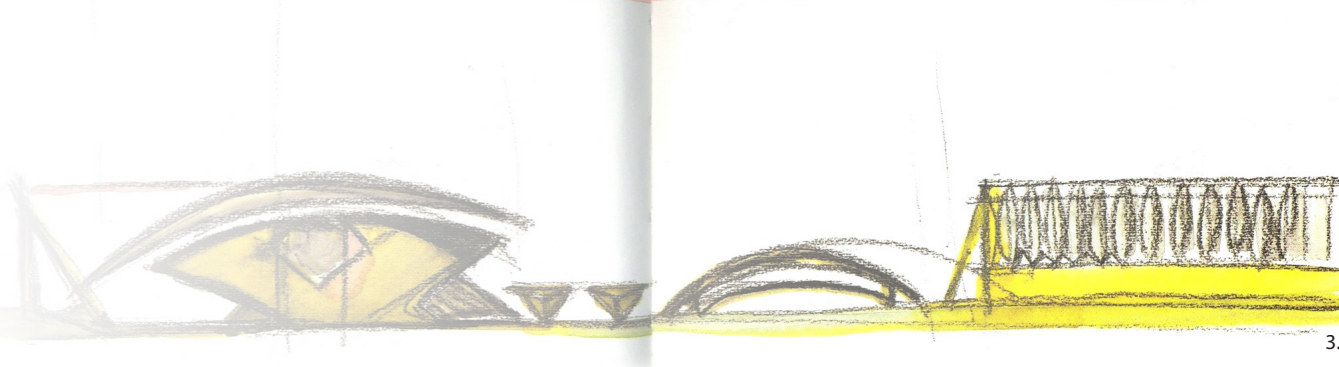
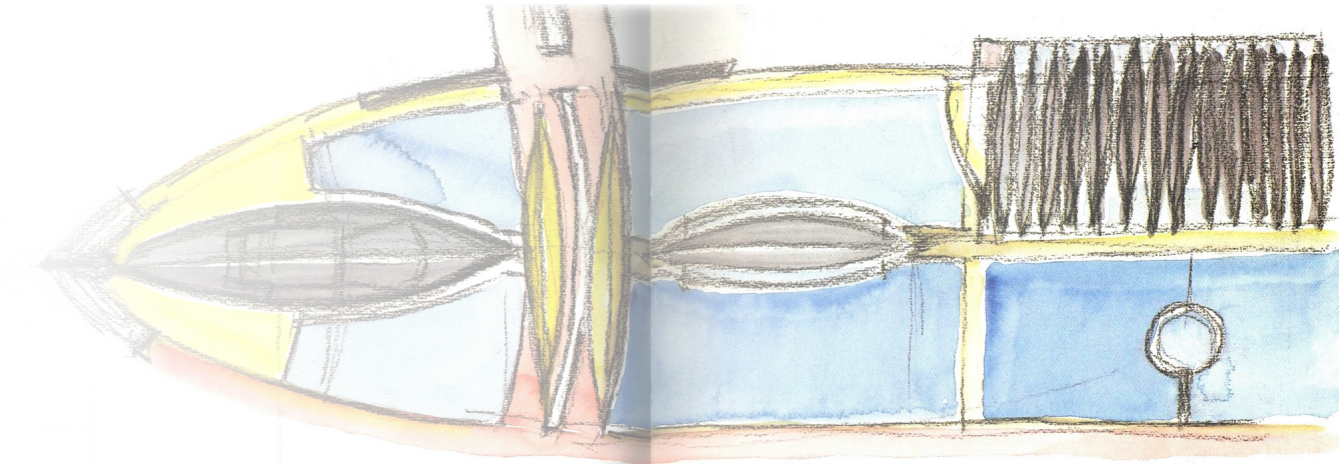
3.15

3.16



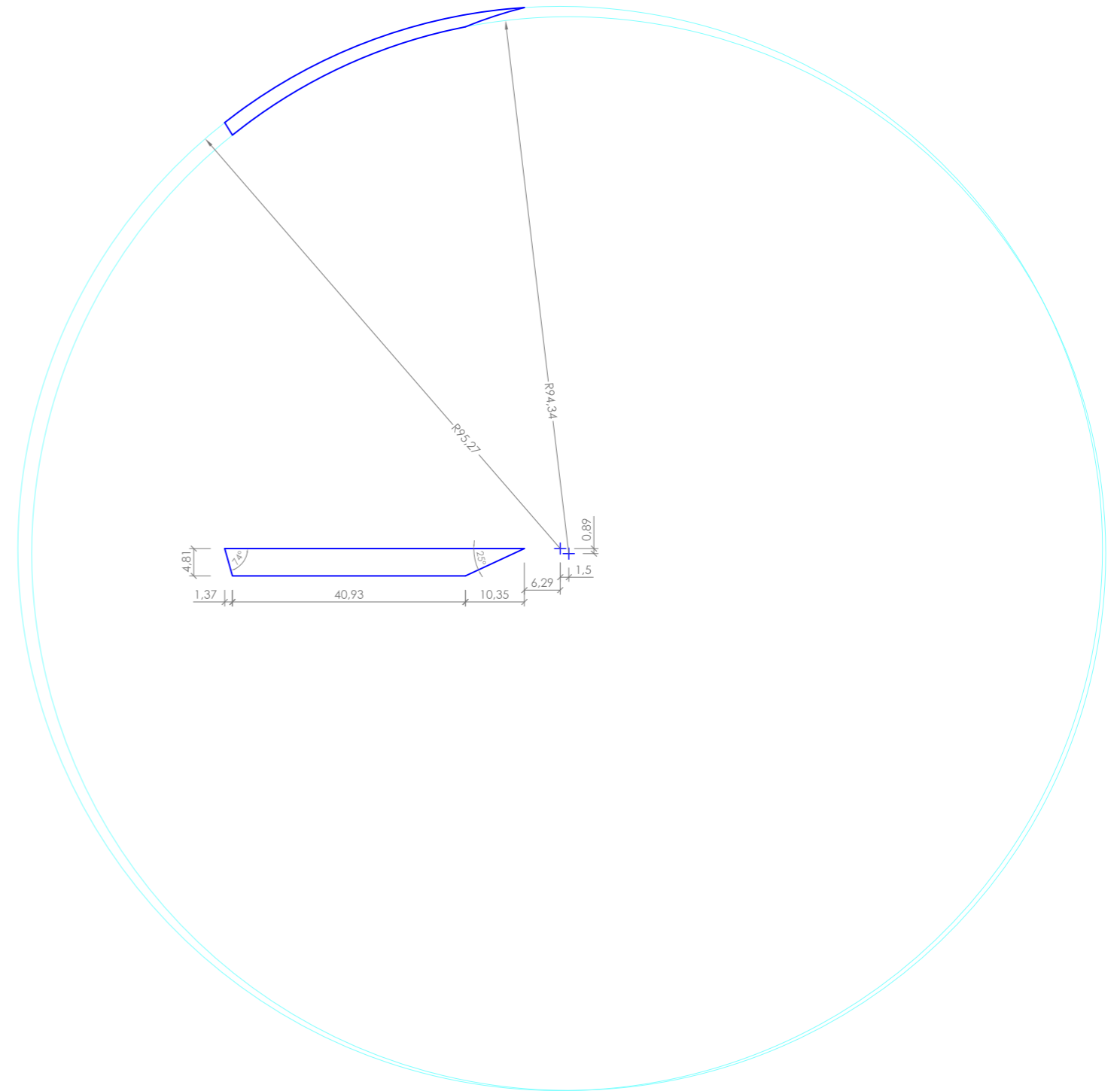
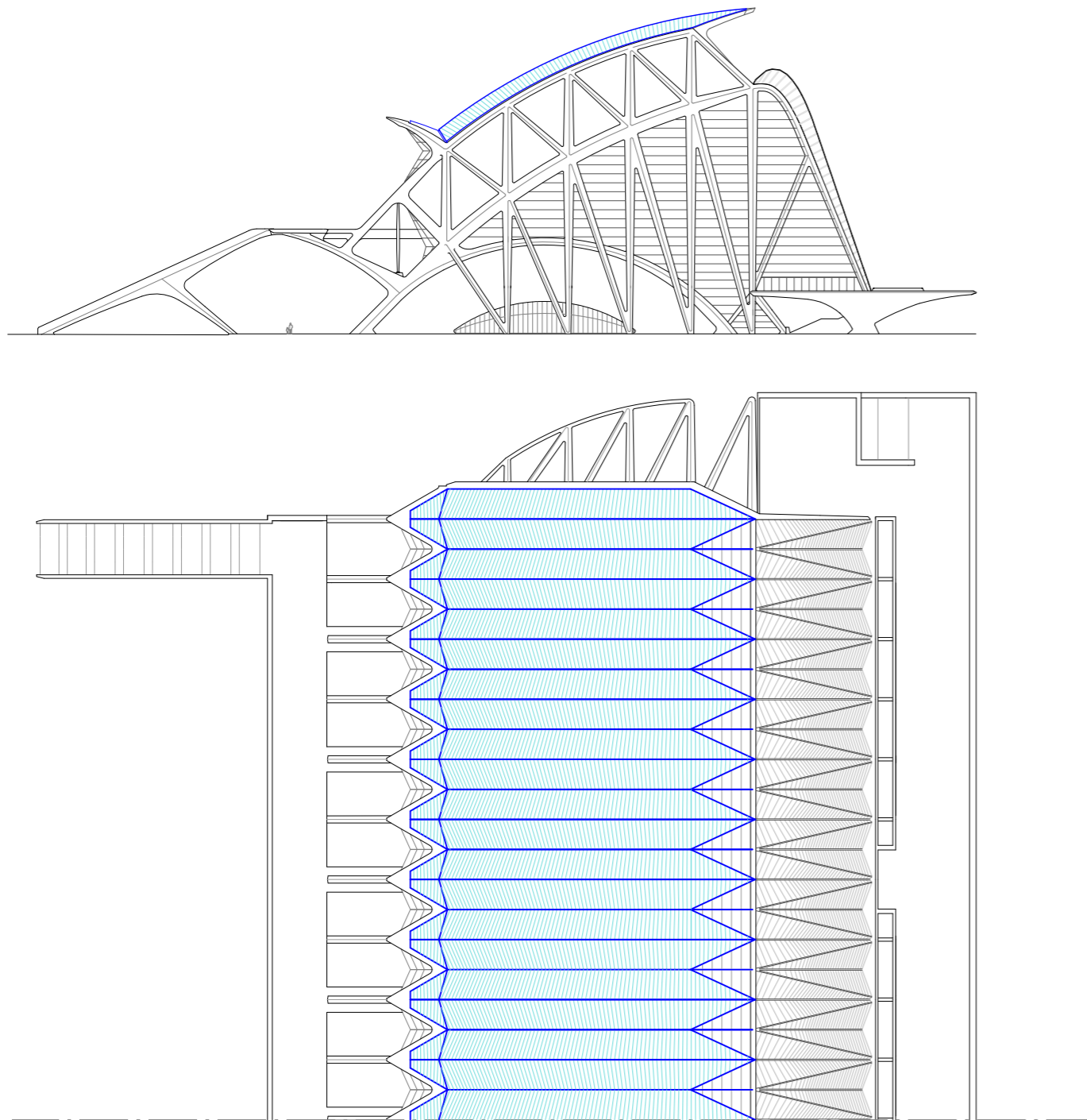
3.17

3.18



3.19

4 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

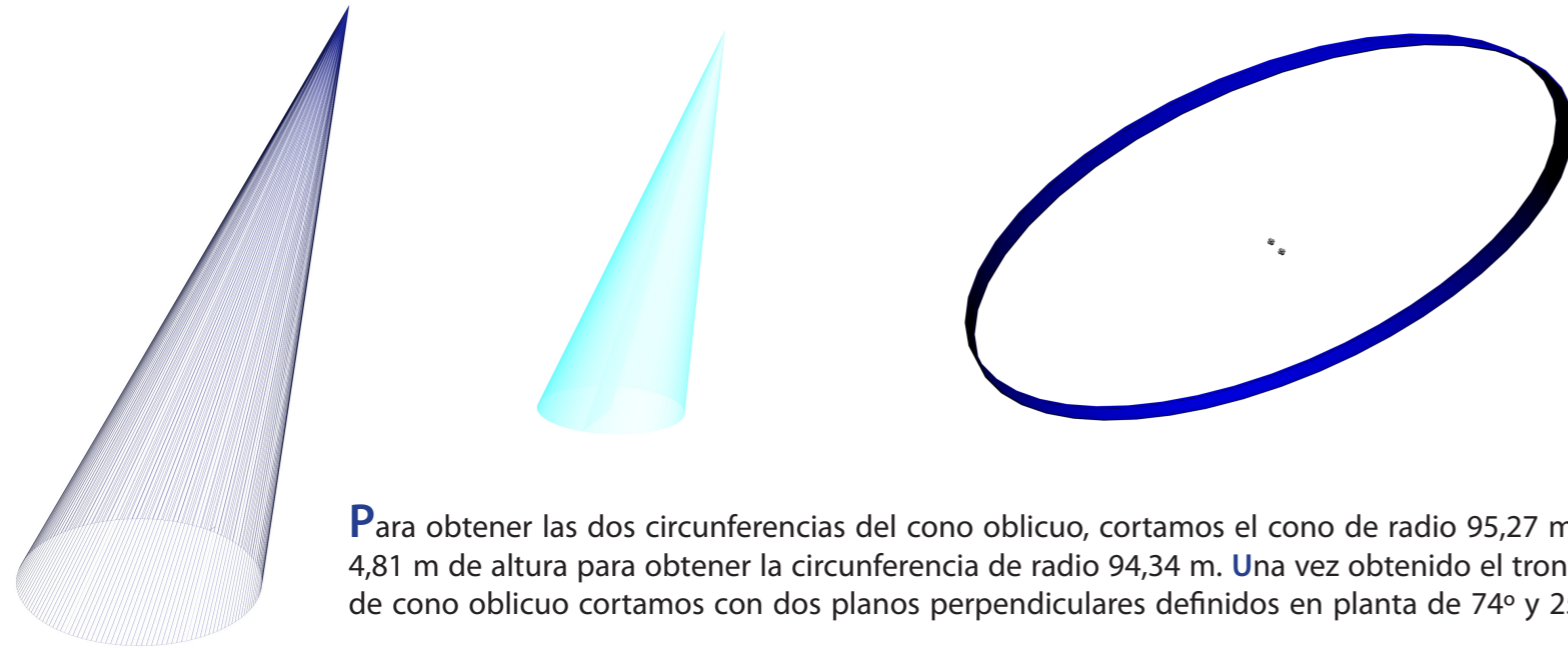


La cubierta del museo de las ciencias se divide en 21 módulos de cubierta, además cada módulo tiene dos partes simétricas. Analizando solo una parte de cada módulo podemos observar que la cubierta se define por dos directrices curvas circulares de radio 95,27 m y 94,34 m, separadas 4,81 m en planta.

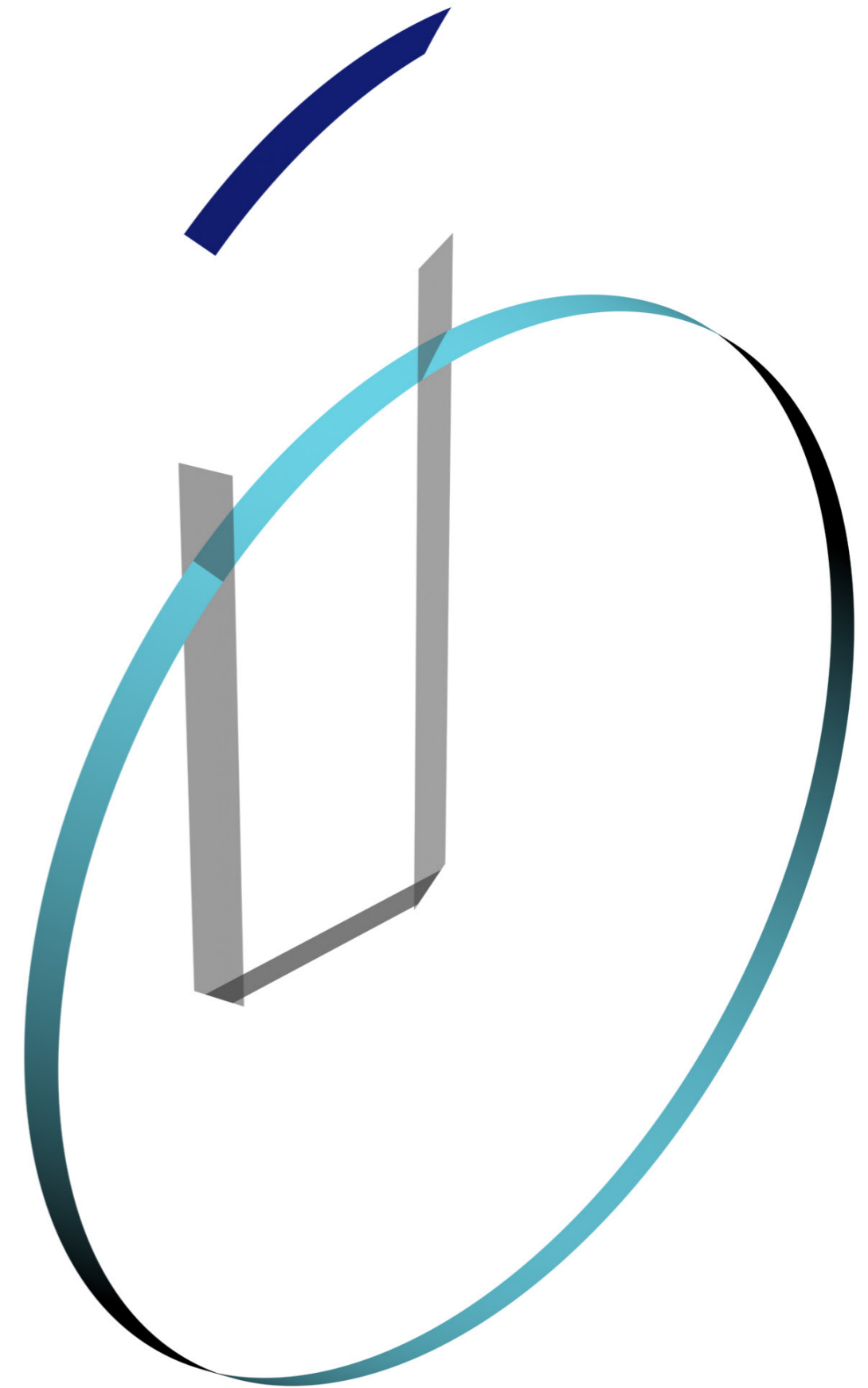
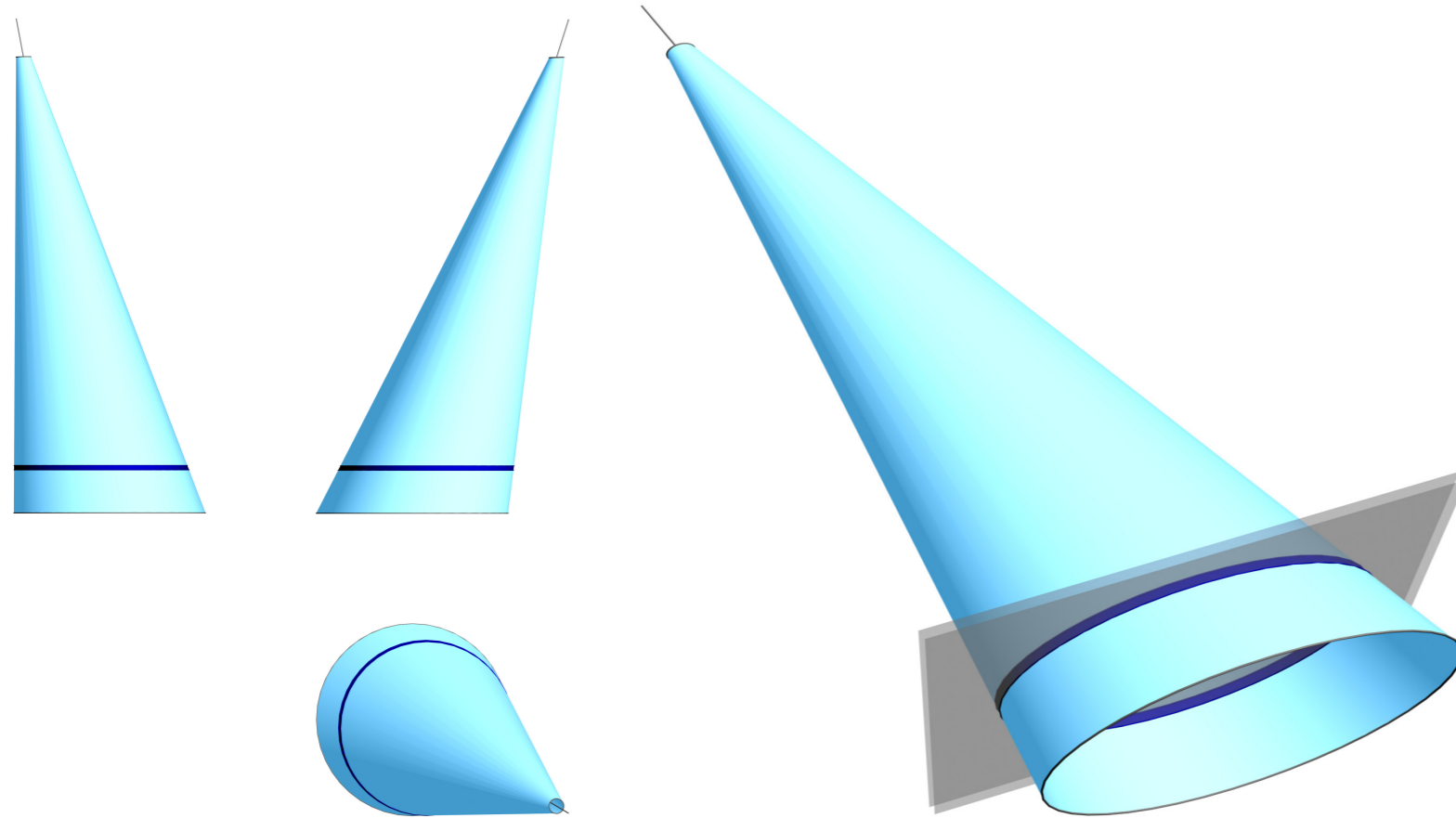
La superficie creada entre las dos directrices curvas se corta por dos planos, a 74° y a 25°, definidos en planta que cortan la superficie, creando la mitad del módulo de la cubierta. La cubierta se crea haciendo la simetría de esta superficie y repitiéndola 21 veces a lo largo del eje longitudinal del edificio.

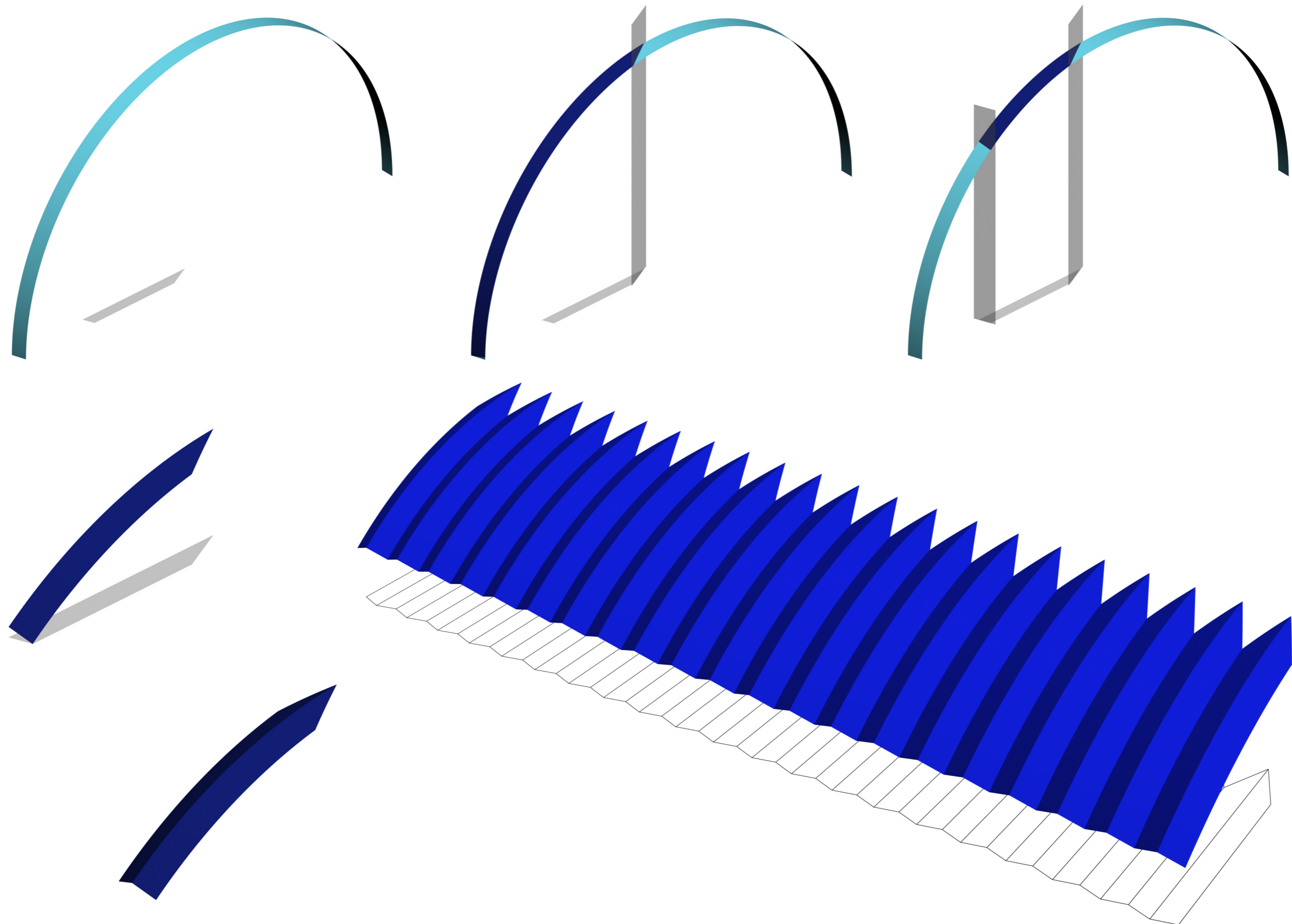
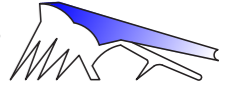


Las generatrices de la superficie reglada que se crea entre las dos directrices circulares definen un cono oblicuo de base circular. Esto se observa alargando todas las generatrices de la superficie creada entre las dos curvas, además el eje oblicuo del cono pasa por los dos centros de las circunferencias.

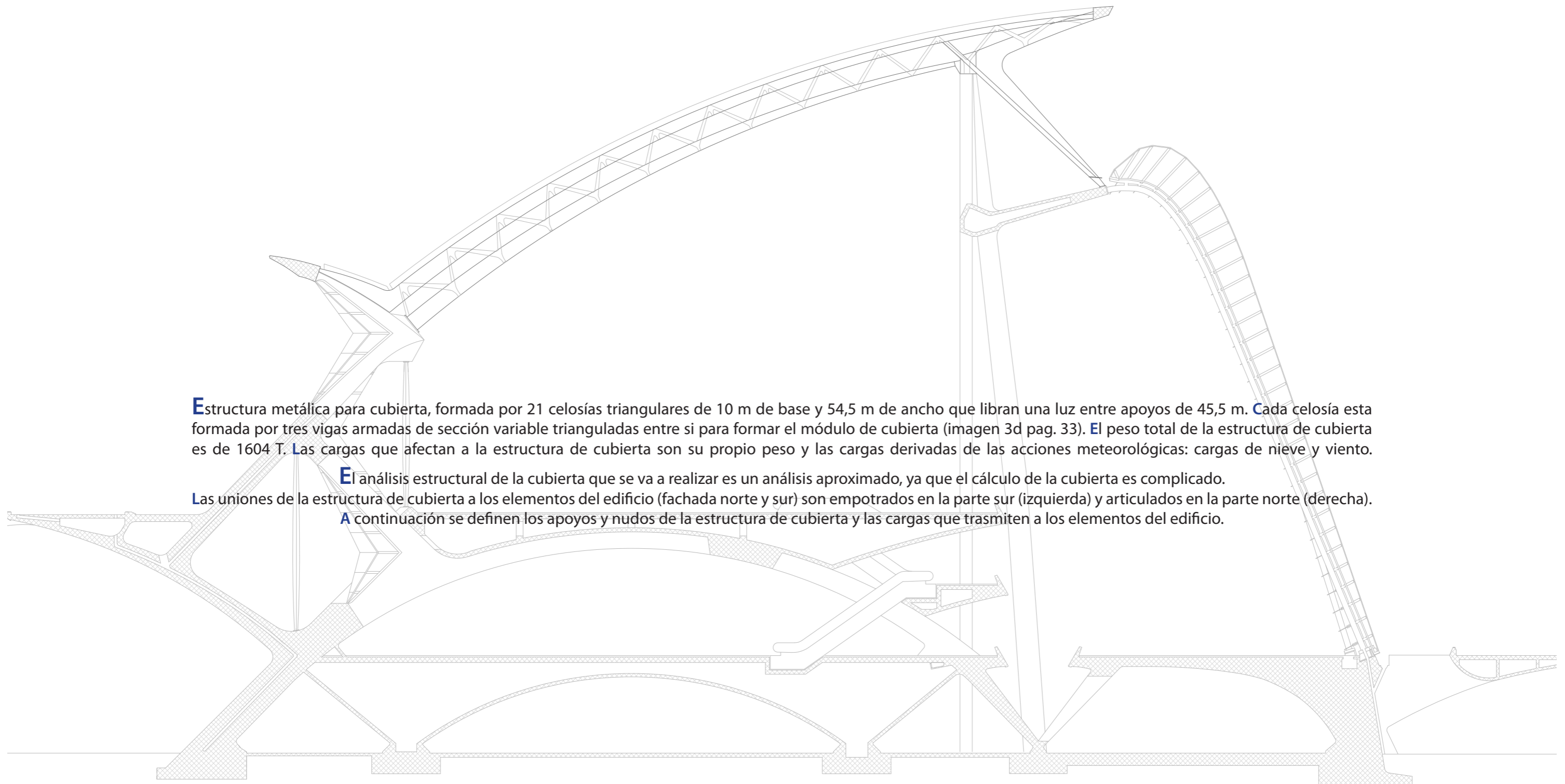


Para obtener las dos circunferencias del cono oblicuo, cortamos el cono de radio 95,27 m a 4,81 m de altura para obtener la circunferencia de radio 94,34 m. Una vez obtenido el tronco de cono oblicuo cortamos con dos planos perpendiculares definidos en planta de 74° y 25° .





5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL



Estructura metálica para cubierta, formada por 21 celosías triangulares de 10 m de base y 54,5 m de ancho que libran una luz entre apoyos de 45,5 m. Cada celosía esta formada por tres vigas armadas de sección variable trianguladas entre si para formar el módulo de cubierta (imagen 3d pag. 33). **E**l peso total de la estructura de cubierta es de 1604 T. Las cargas que afectan a la estructura de cubierta son su propio peso y las cargas derivadas de las acciones meteorológicas: cargas de nieve y viento.

El análisis estructural de la cubierta que se va a realizar es un análisis aproximado, ya que el cálculo de la cubierta es complicado.

Las uniones de la estructura de cubierta a los elementos del edificio (fachada norte y sur) son empotrados en la parte sur (izquierda) y articulados en la parte norte (derecha).

A continuación se definen los apoyos y nudos de la estructura de cubierta y las cargas que transmiten a los elementos del edificio.



1. NUDO RÍGIDO

Unión de dos vigas metálicas armadas a tope, se disponen rigidizadores para transmitir momentos. **Se** transmiten axiles y momentos flectores.



2. APOYO RÍGIDO [EMPOTRAMIENTO]

Unión viga metálica armada a sección de hormigón por medio de placa de anclaje atornillada. **Se** transmiten axiles y momentos flectores.



3. NUDO ARTICULADO

Unión de dos vigas metálicas armadas y tirante formado por perfil metálico a la ramificación del pilar con forma de árbol por medio de articulación. **Solo se** transmiten axiles.



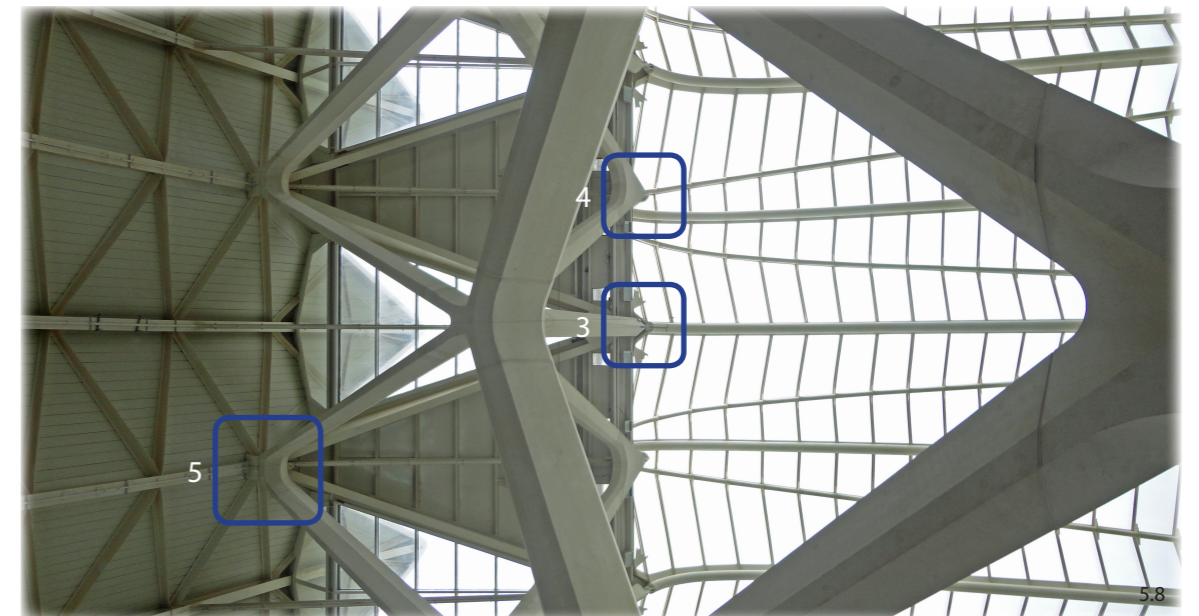
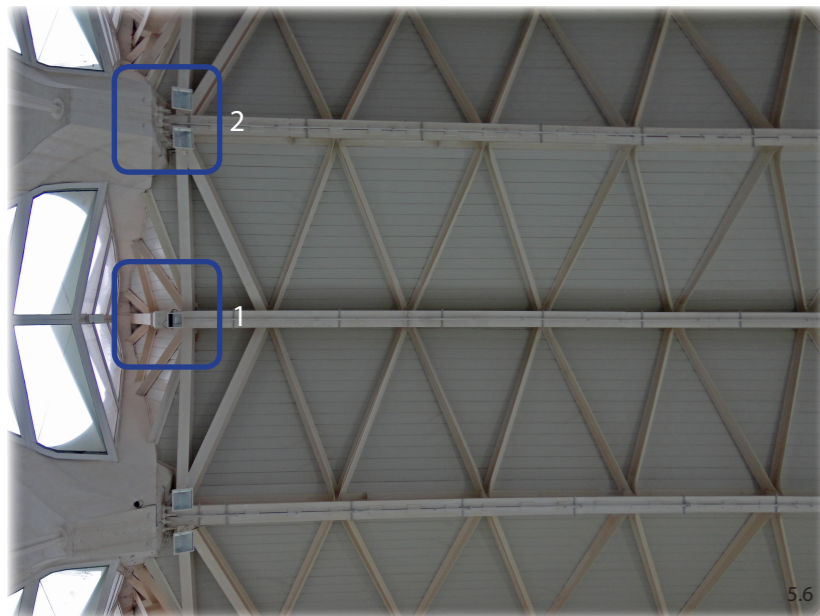
4. NUDO ARTICULADO

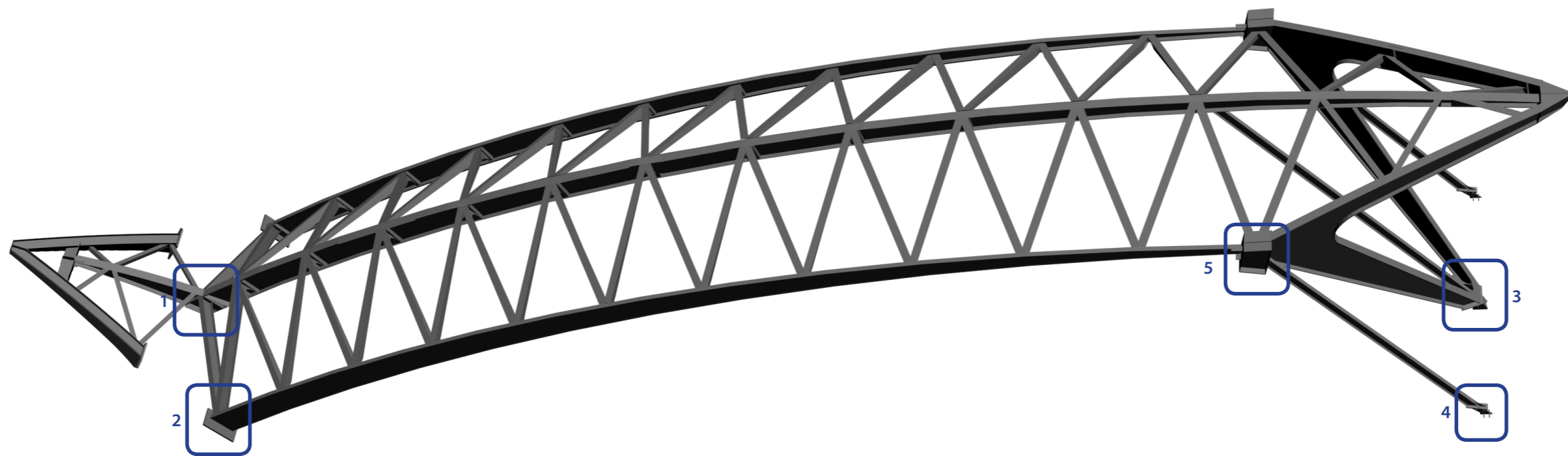
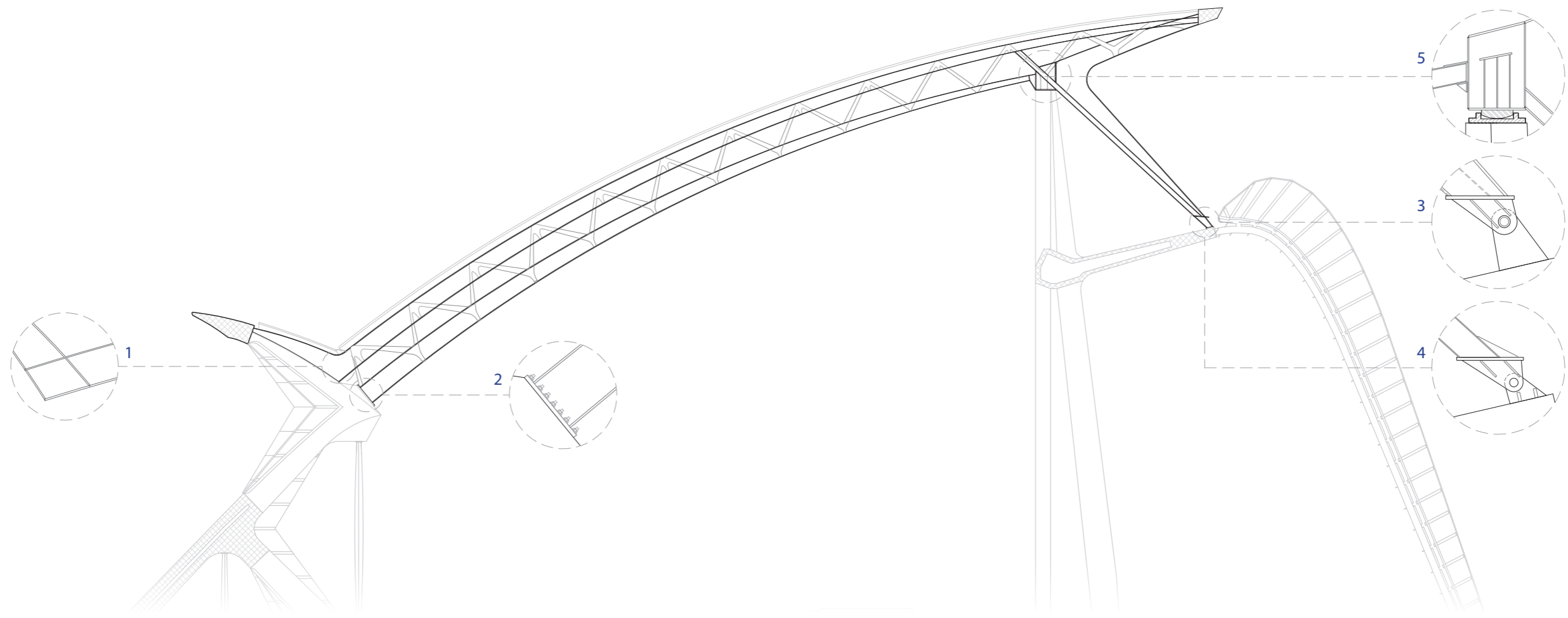
Unión viga metálica a la ramificación del pilar con forma de árbol por medio de articulación. **Solo se** transmiten axiles.

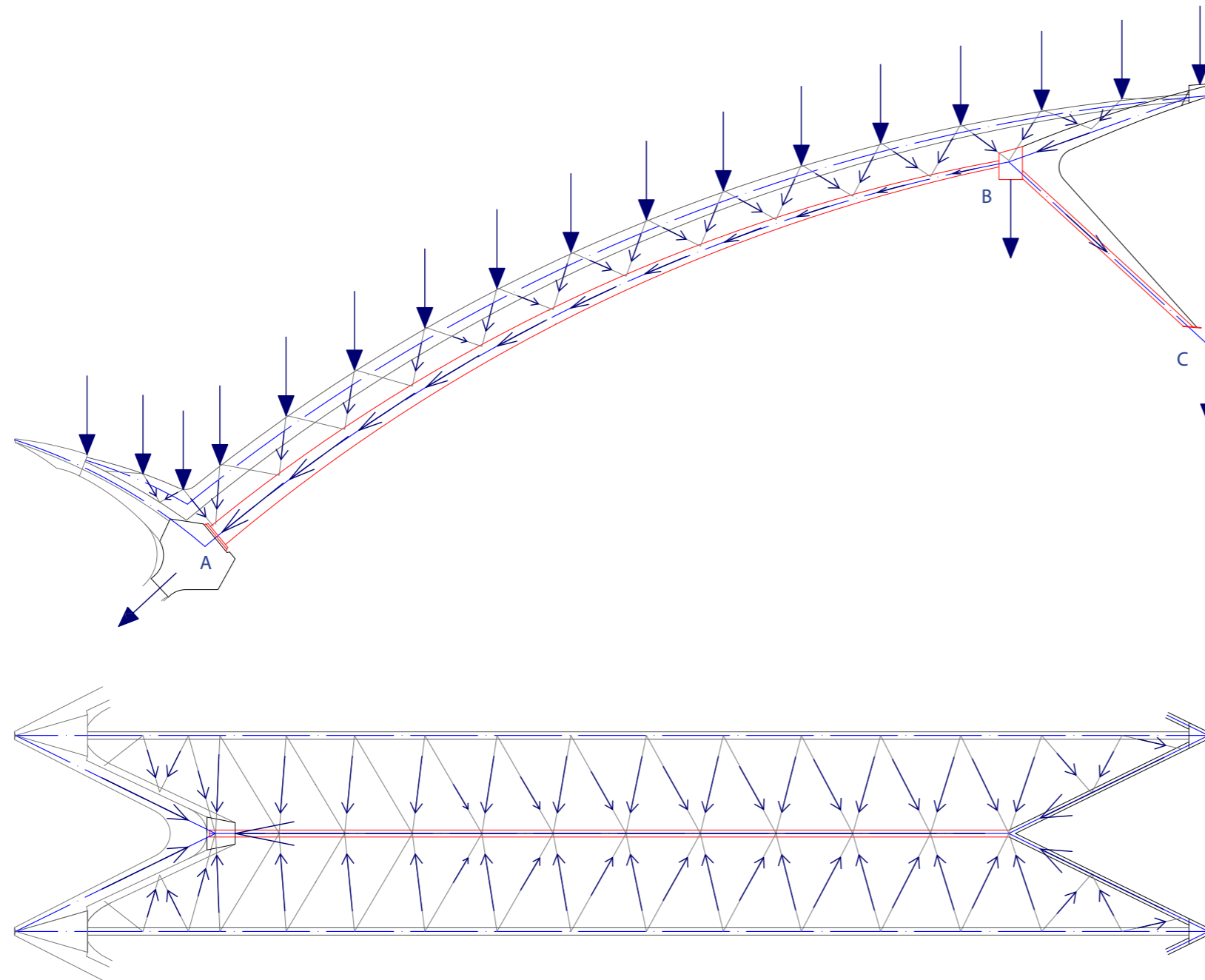


5. APOYO ARTICULADO

Apojo cajón articulado sobre pilar de hormigón, permitiendo el giro en la dirección del pórtico. **La** unión de los elementos al cajón es rígida. **Solo se** transmiten axiles al pilar.







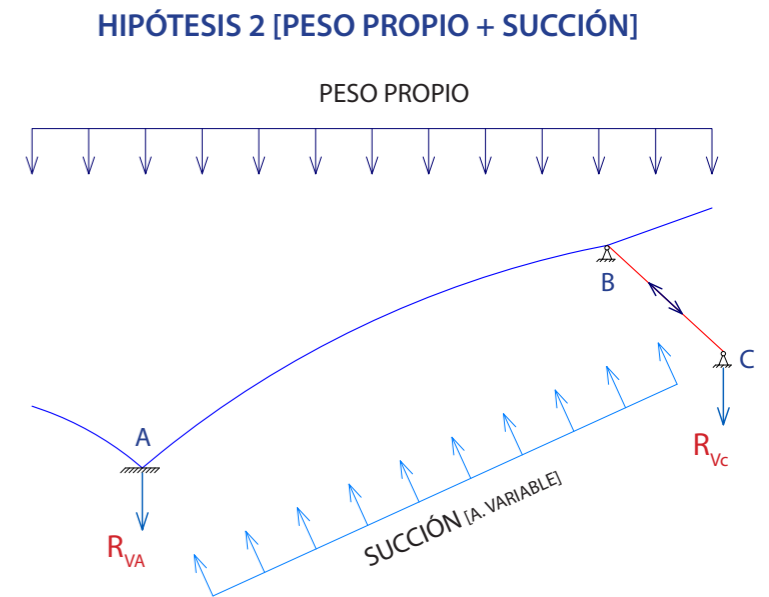
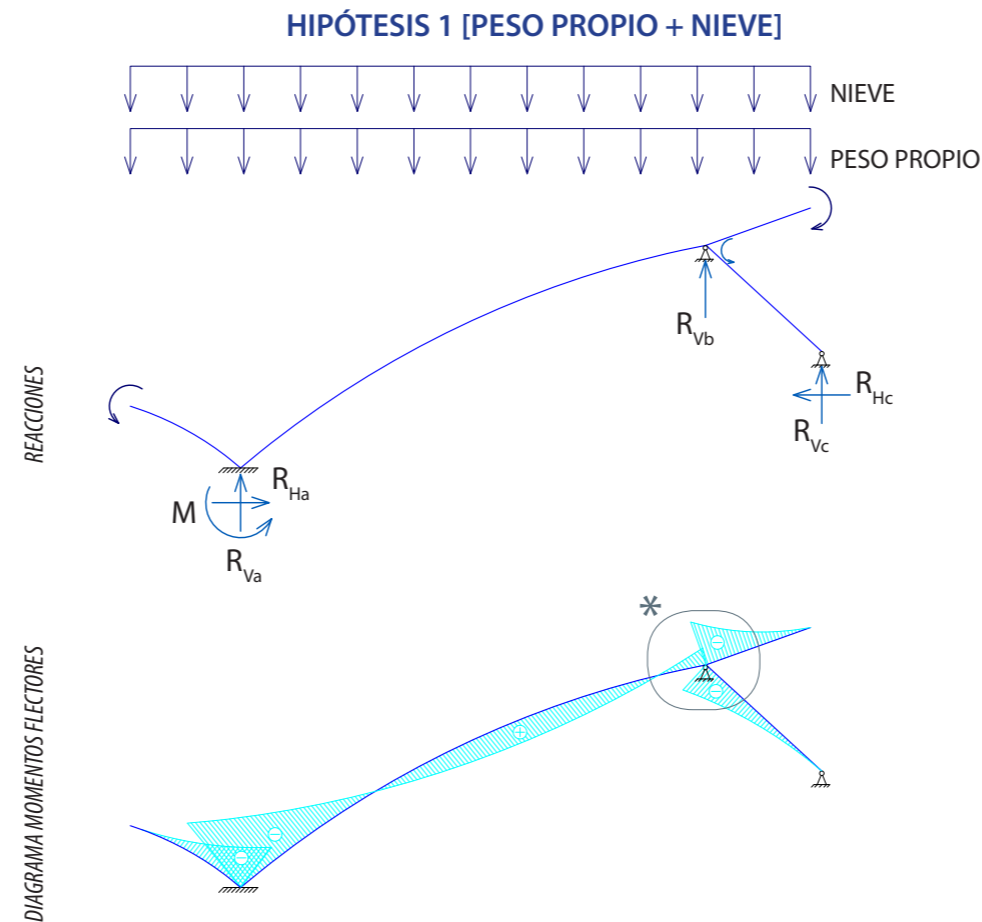
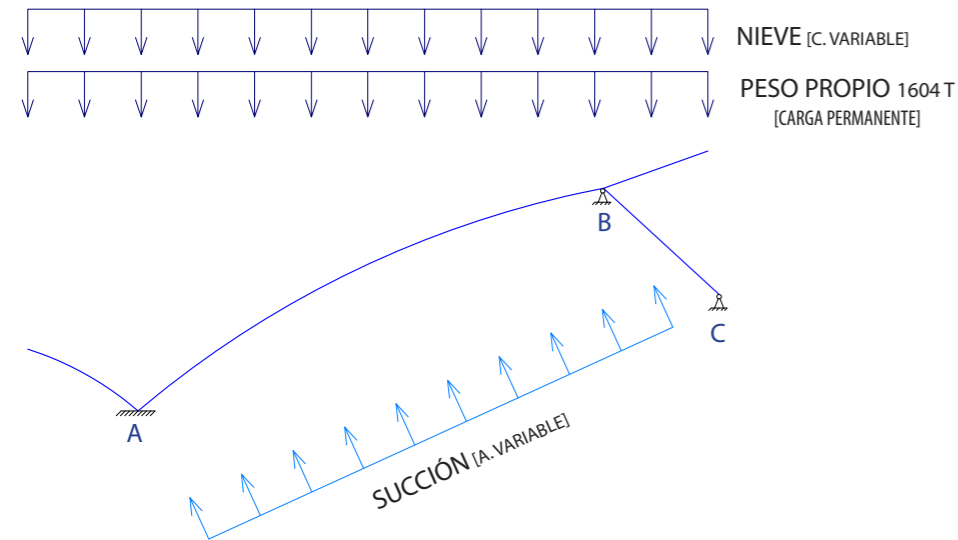
La cubierta del museo es una estructura espacial triangulada de cálculo complicado. Por tanto el análisis estructural que se realiza es aproximado. Si estudiamos la estructura barra a barra observamos que solo tienen esfuerzos axiales, aunque en conjunto transmitan momentos.

Cada módulo de cubierta transmite las cargas de la viga armada superior de cumbrera (limatesa) a la viga armada inferior (limahoya) por medio de las diagonales que las unen. Las cargas se transmiten por medio de la viga armada curva (viga roja) a la sección de hormigón de la fachada sur (izquierda) y van aumentando a medida que nos acercamos al inicio de la viga armada curva que forma la cubierta. De este forma se justifica el empleo de la sección variable de la viga, la viga tiene mayor sección y por tanto mayor inercia a medida que nos acercamos al empotramiento (izquierda). Además, la cubierta está formada por una forma romboidal en la fachada norte (derecha) que también transmite cargas al pilar en forma de árbol, sujetando la cubierta pero permitiendo el movimiento suficiente gracias a sus apoyos articulados. Estos apoyos impiden el desplazamiento de la cubierta pero permiten el giro suficiente en la dirección del pórtico para que no se transmitan momentos flectores al pilar y sus ramificaciones. Añadir que la mayoría de los esfuerzos de la parte superior de la forma romboidal se transmiten al nudo C, aunque esté unida al cajón, solo transmite a través de él una pequeña parte de los esfuerzos, por esto se justifica la pequeña sección de la viga A-B en la unión al cajón.



HIPÓTESIS DE CALCULO

1. PESO PROPIO + NIEVE
2. PESO PROPIO + VIENTO [SUCCIÓN]
3. PESO PROPIO + VIENTO [SUCCIÓN] + NIEVE



Hipótesis 1 [peso propio + nieve]: es cuando la cubierta tiene una mayor carga repartida sobre ella.

Hipótesis 2 [peso propio + succión]: podría ser que la fuerza de succión superara el peso propio de la cubierta y por tanto intentara levantar la cubierta.

Hipótesis 3 [peso propio + succión + viento]: es la menos desfavorable porque se equilibran las cargas. Las cargas sobre la cubierta se reducen porque existe la succión y la fuerza de succión se reduce porque además está el peso de la nieve.

Por tanto el cálculo de la cubierta se realizaría considerando la hipótesis 1 [peso propio + nieve] y la hipótesis 2 [peso propio + succión].

La cubierta metálica soporta su propio peso y además está calculada para soportar una carga de nieve. Estas dos cargas son cargas uniformemente repartidas y se transmiten al edificio por medio de sus apoyos **A**, **B** y **C**.

Se transmiten momentos flectores y axiles a la sección de hormigón de la fachada sur (**A**) a través de la viga armada. La fuerza que se transmite al empotramiento **A** es una fuerza tangente a la curva de la viga armada que se descompone en una componente horizontal y otra vertical, induciendo las reacciones R_H y R_{V1} en el apoyo **A**. Además soporta el giro (M) que le provocan las cargas uniformemente repartidas a la viga armada.

Los apoyos **B** y **C** solo transmiten axiles, porque son articulados. El apoyo **B** transmitirá un axil vertical, induciendo en el pilar la reacción R_{Vb} . El apoyo **C** transmitirá un axil inclinado induciendo las reacciones R_{Vc} y R_{Hc} a la ramificación del pilar.

* El voladizo de la parte norte transmite la mayor parte de sus esfuerzos a través de la viga armada romboidal (hacia el apoyo **C**). Transmitiendo solo una pequeña parte hacia el apoyo **A**. Por esto se justifica el diagrama de momentos flectores en el apoyo **B**. Observar módulo cubierta 3d en la página 33.

CASO 1 [SUCCIÓN > PESO PROPIO]

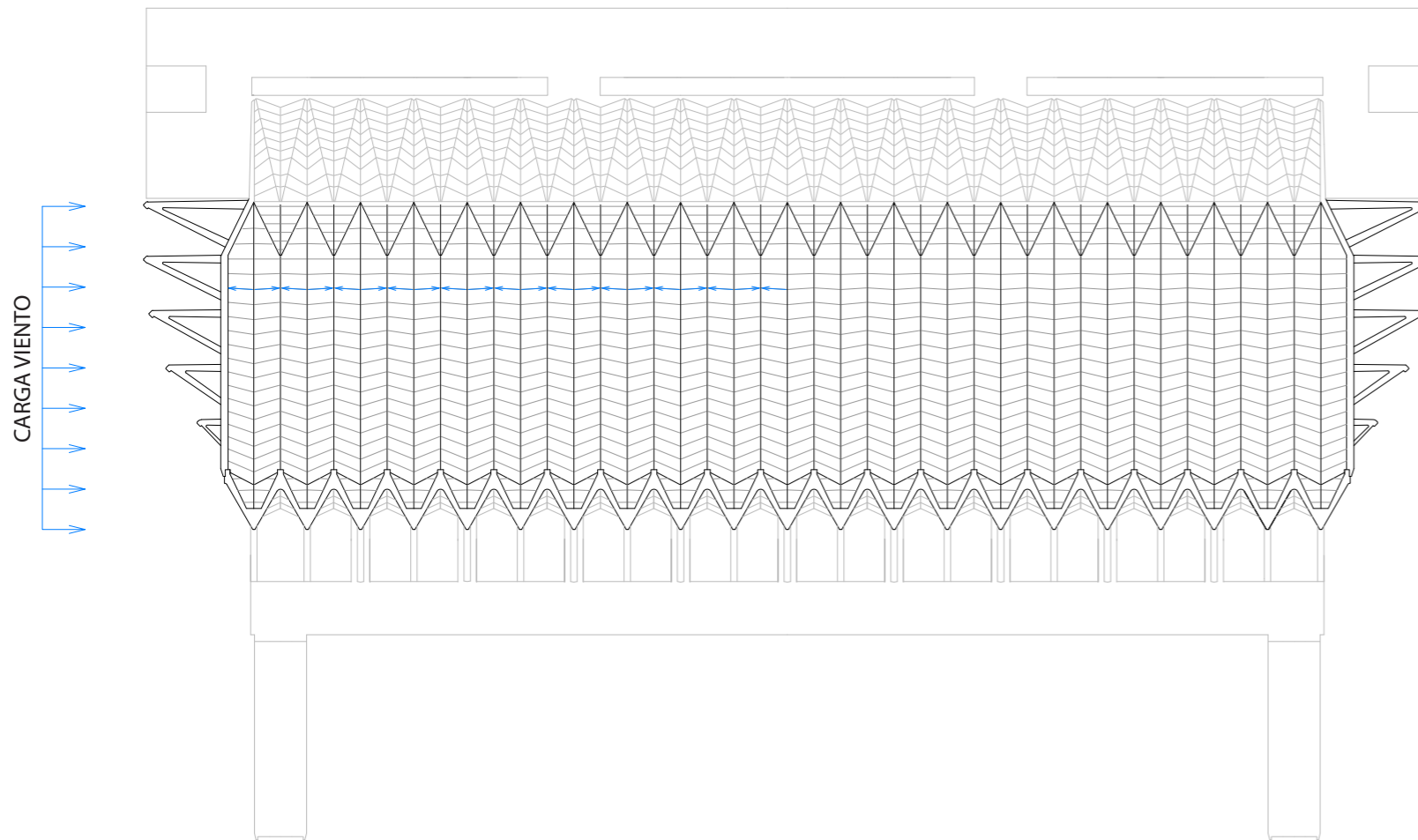
En el caso de que la fuerza de succión fuera mayor que el peso propio, las reacciones en los apoyos de la cubierta se invertirían, induciendo fuerzas de tracción en los apoyos **A** y **C**. En el apoyo **B** no hay reacción porque esta apoyado, por tanto el tirante entre **B** y **C** y la forma romboidal de la fachada norte trabajarán a tracción para impedir que la cubierta se levante.

CASO 2 [SUCCIÓN < PESO PROPIO]

Por otro lado si esta fuerza de succión no superara el peso propio la cubierta, se reduciría el peso propio de la cubierta gracias a la fuerza de succión, pero seguiría trabajando del mismo modo que en la hipótesis 1.

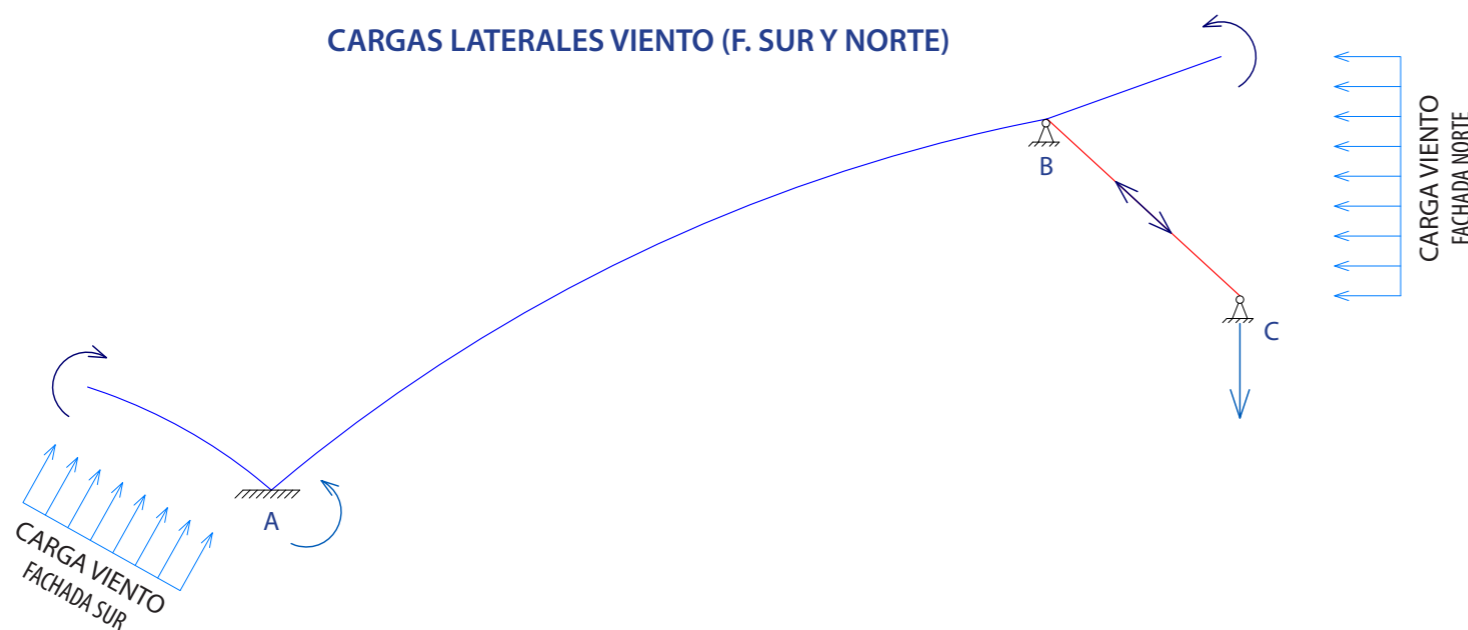


CARGAS LATERALES VIENTO (F. ESTE Y OESTE)



Las cargas de viento laterales que afectan al edificio se soportan gracias a la gran longitud de la cubierta (210 m), que equilibra las cargas entre las 21 celosías trianguladas, de manera que la fuerza del viento disminuye a medida que las fuerzas avanzan en el sentido longitudinal de la cubierta. Además el edificio dispone de unos contrafuertes laterales que sujetan las fachadas laterales.

CARGAS LATERALES VIENTO (F. SUR Y NORTE)



La carga de viento lateral en dirección a la fachada norte empuja la parte superior la cubierta hacia arriba. Como el apoyo B solo esta apoyado (no esta anclado), se disponen unos tirantes (línea roja), que trabajarán a tracción, para impedir que la cubierta se levante. Además la forma romboidal de la fachada norte también trabajará a tracción cuando esto suceda.

La carga de viento lateral en dirección a la fachada sur empuja el pico de pato hacia arriba. El momento que se crea por la fuerza del viento se transmite del pico de pato realizado en estructura metálica a la sección de hormigón que lo soporta por medio de unas placas de anclaje. Por otro lado, la viga armada de cumbrera (limatesa) también colabora por medio de un empotramiento a la viga cumbrera del pico de pato para contrarrestar el momento flector creado por la fuerza del viento.

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO



La estructura de cubierta se apoya sobre la celosía modular de hormigón armado de la fachada sur y sobre los "árboles". Se trata de un sistema modular formado por vigas que conforman las limatesas y limahoyas de la cubierta. Entre estas, se disponen correas trianguladas en sentido transversal que soportarán los paneles de cerramiento de la cubierta.

El análisis constructivo de la cubierta se divide en dos partes, la estructura y el cerramiento de la cubierta

01. ESTRUCTURA METÁLICA CUBIERTA

Fabricación y montaje: METALURGIA DEL GUADALQUIVIR, S.L. - MEGUSA

DETALLES ESTRUCTURA METÁLICA

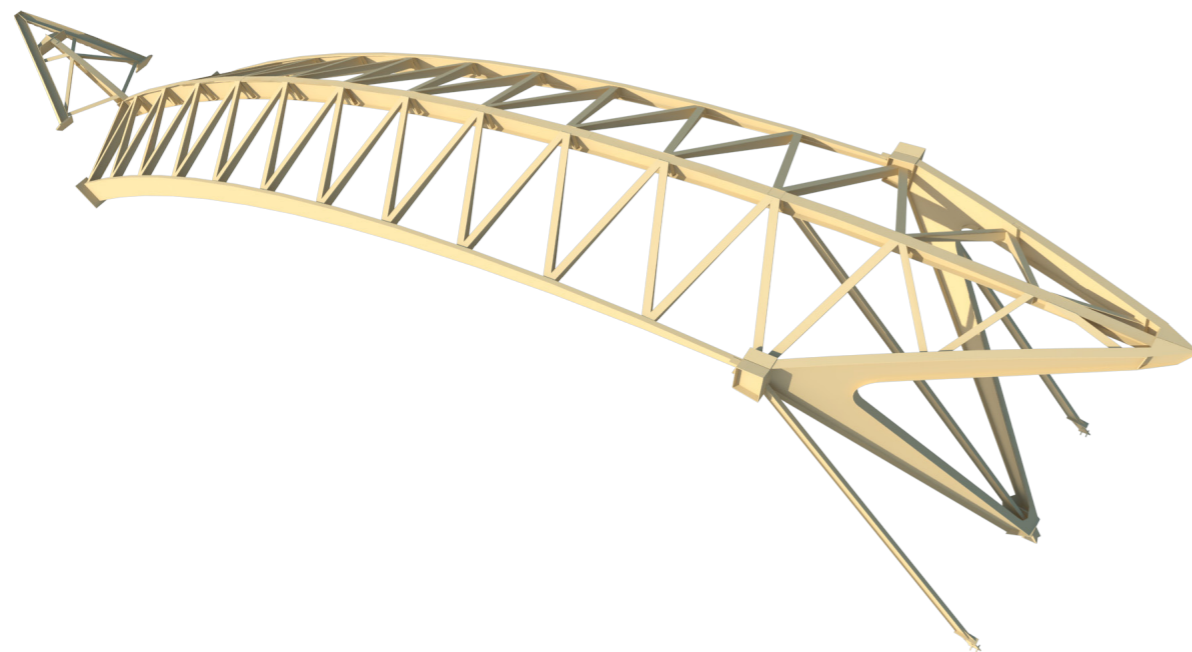
Peso: 1604 Tn

Longitud: 210 m

Acero: S355J2G3 (ST-52.3)

Altura: 50 m

Ancho: 54,5 m



02. CUBIERTA KALZIP

Instalación: IBER-AIS, S.L.

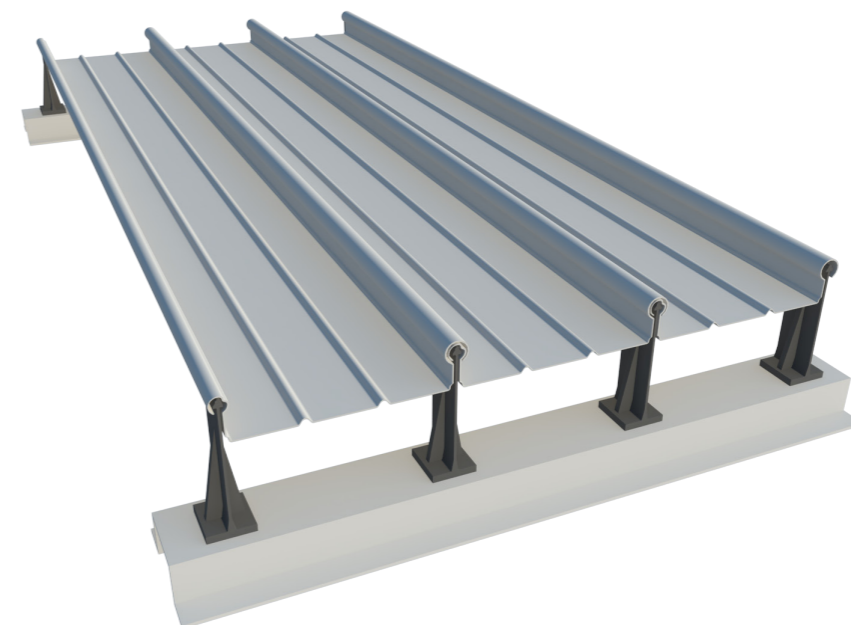
DETALLES CUBIERTA

Tipo de perfil: Kalzip 65/333

Tipo de superficie: Estucado

Color: Aluminio

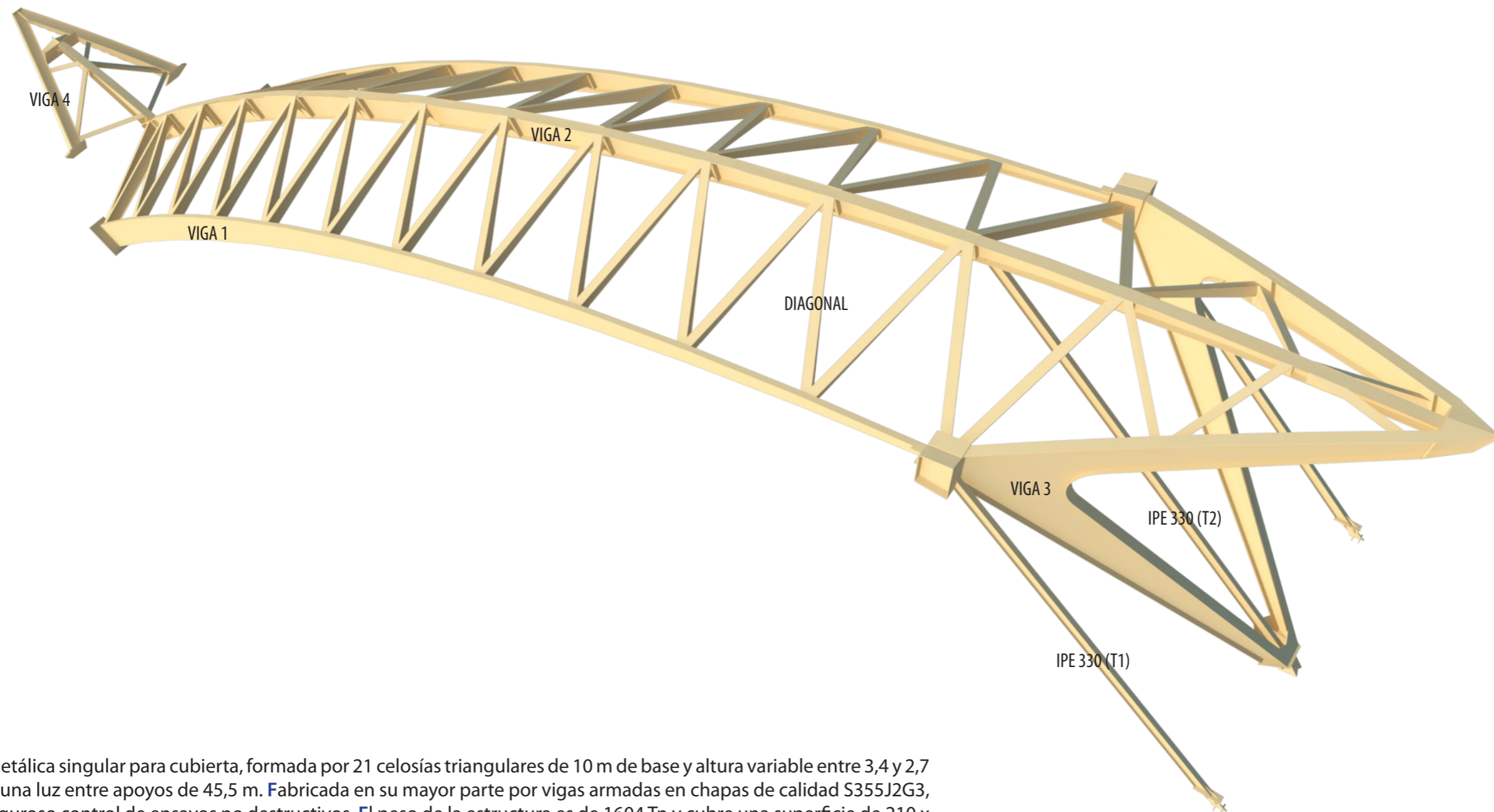
Superficie cubierta: 11500 m²





MÓDULO CUBIERTA

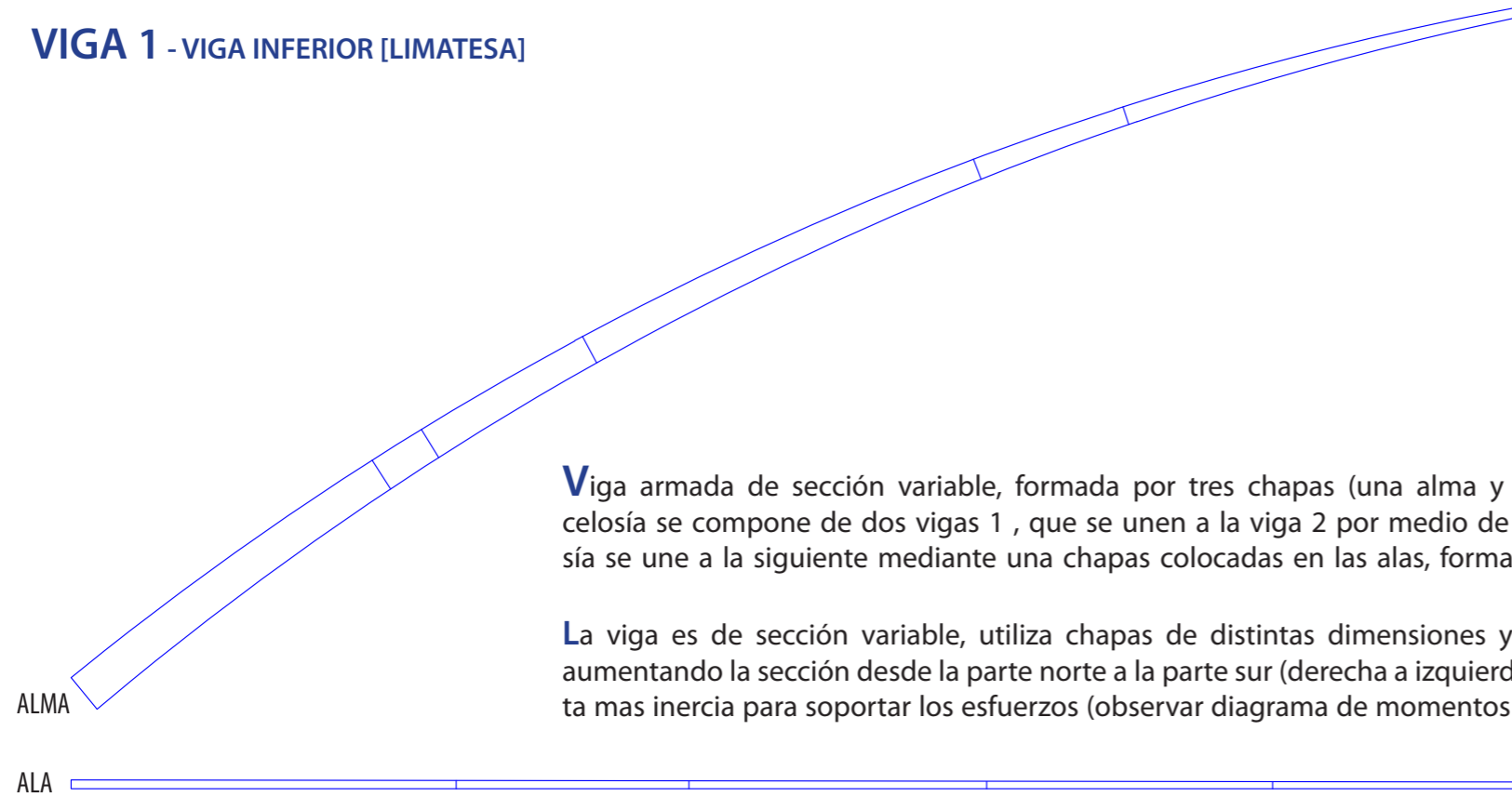
LA CUBIERTA ESTÁ FORMADA POR 21 MÓDULOS



Es estructura metálica singular para cubierta, formada por 21 celosías triangulares de 10 m de base y altura variable entre 3,4 y 2,7 m que libran una luz entre apoyos de 45,5 m. Fabricada en su mayor parte por vigas armadas en chapas de calidad S355J2G3, requirió un riguroso control de ensayos no destructivos. El peso de la estructura es de 1604 Tn y cubre una superficie de $210 \times 54,5 = 11.445\text{m}^2$. El tratamiento superficial aplicado fue intumescente (sistema Protherm) para un grado de protección EF-30.

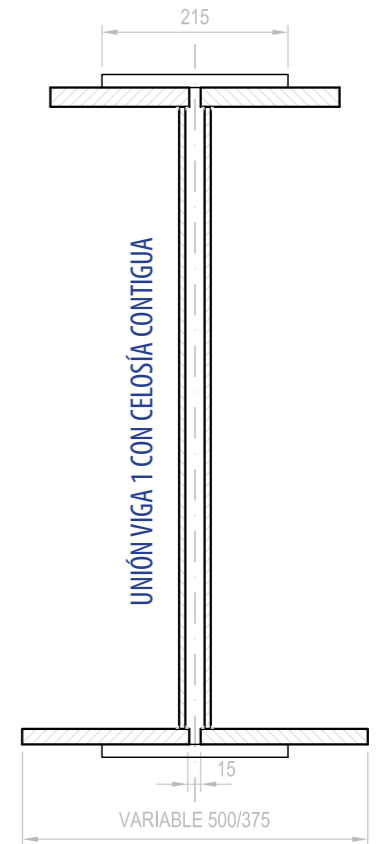


VIGA 1 - VIGA INFERIOR [LIMATESA]

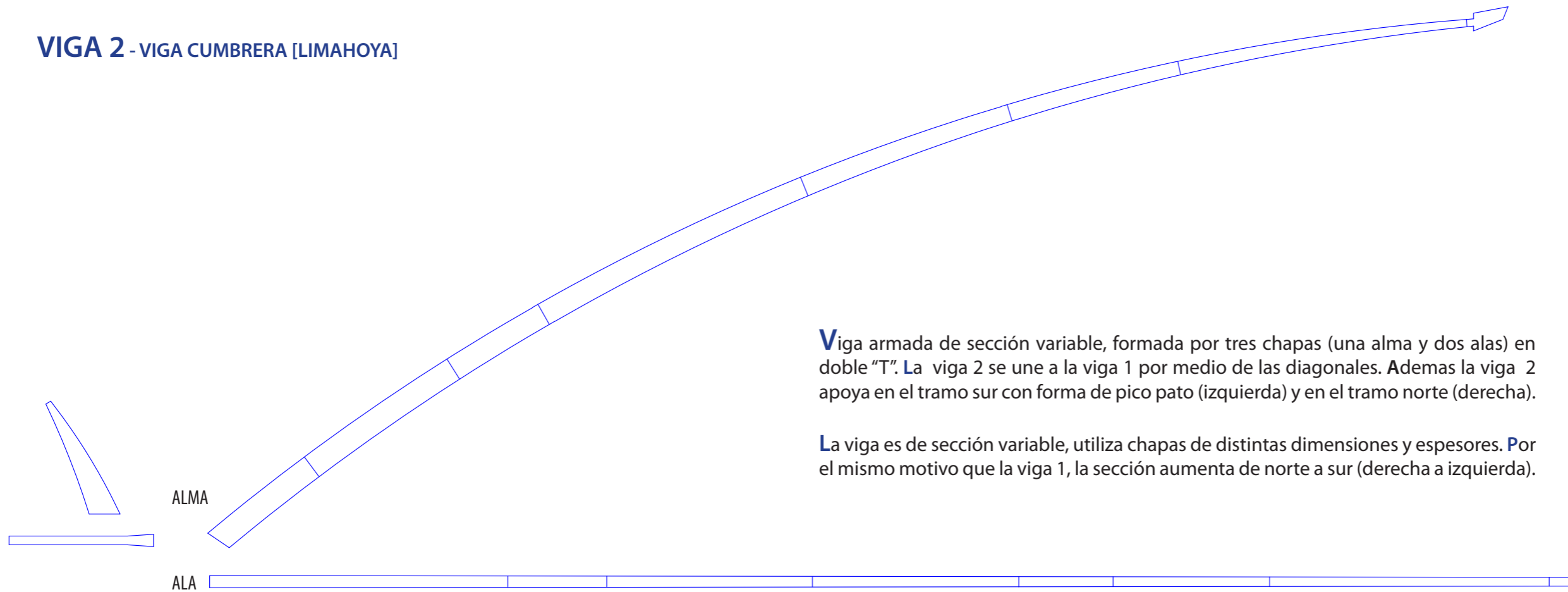


Viga armada de sección variable, formada por tres chapas (una alma y dos alas) en "U". Cada celosía se compone de dos vigas 1, que se unen a la viga 2 por medio de diagonales. Cada celosía se une a la siguiente mediante una chapas colocadas en las alas, formando dos "U" simétricas.

La viga es de sección variable, utiliza chapas de distintas dimensiones y espesores. La viga va aumentando la sección desde la parte norte a la parte sur (derecha a izquierda) debido a que necesita más inercia para soportar los esfuerzos (observar diagrama de momentos en análisis estructural).

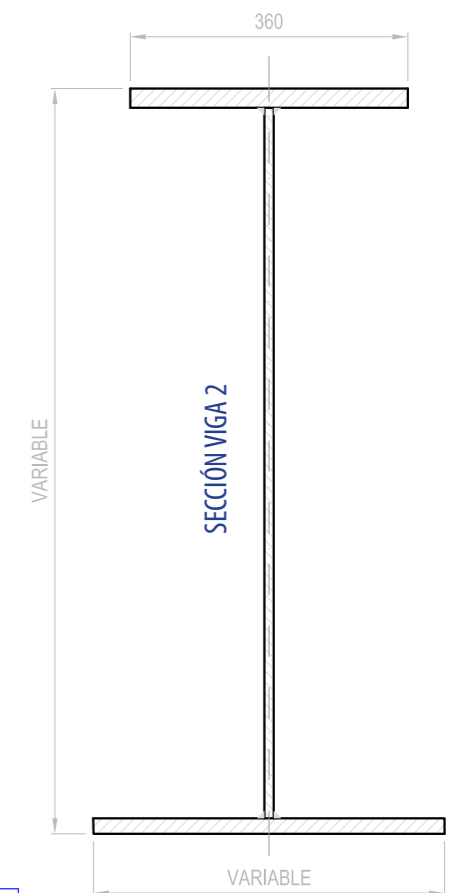


VIGA 2 - VIGA CUMBRERA [LIMAHOYA]

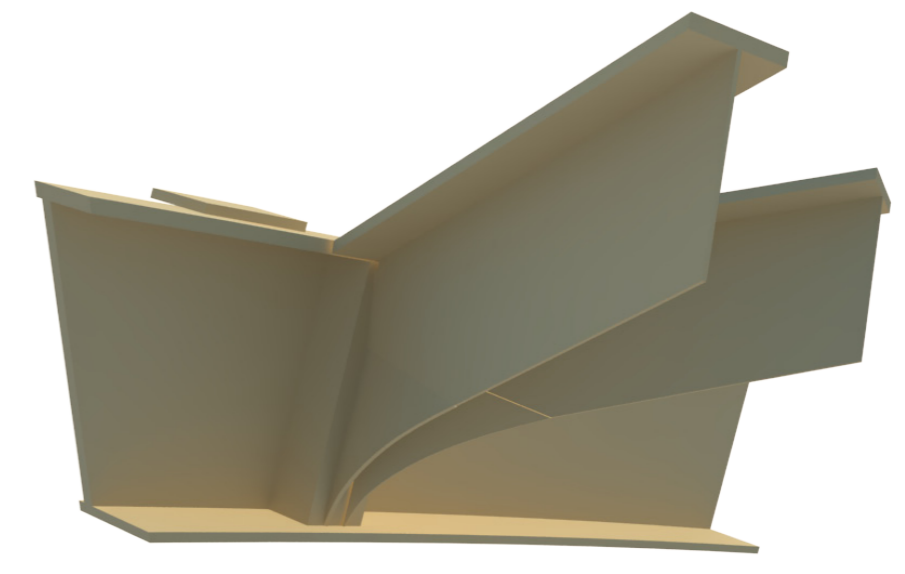
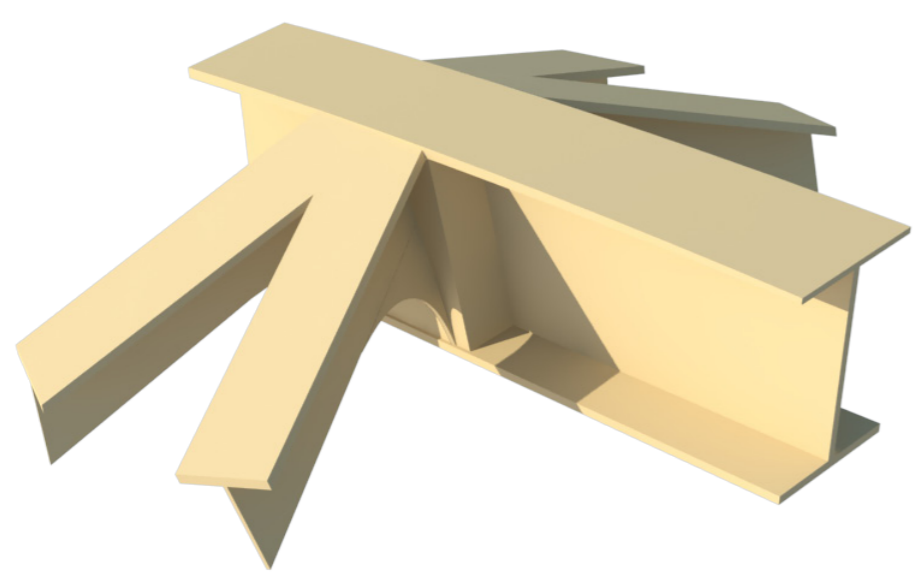
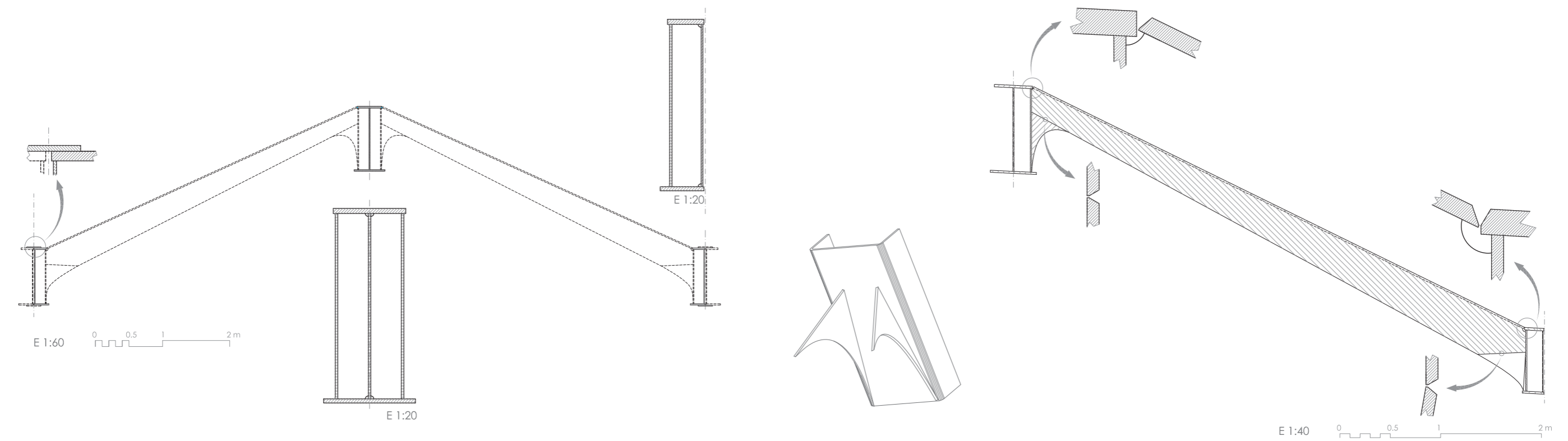


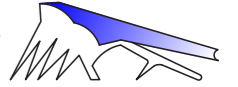
Viga armada de sección variable, formada por tres chapas (una alma y dos alas) en doble "T". La viga 2 se une a la viga 1 por medio de las diagonales. Además la viga 2 apoya en el tramo sur con forma de pico pato (izquierda) y en el tramo norte (derecha).

La viga es de sección variable, utiliza chapas de distintas dimensiones y espesores. Por el mismo motivo que la viga 1, la sección aumenta de norte a sur (derecha a izquierda).

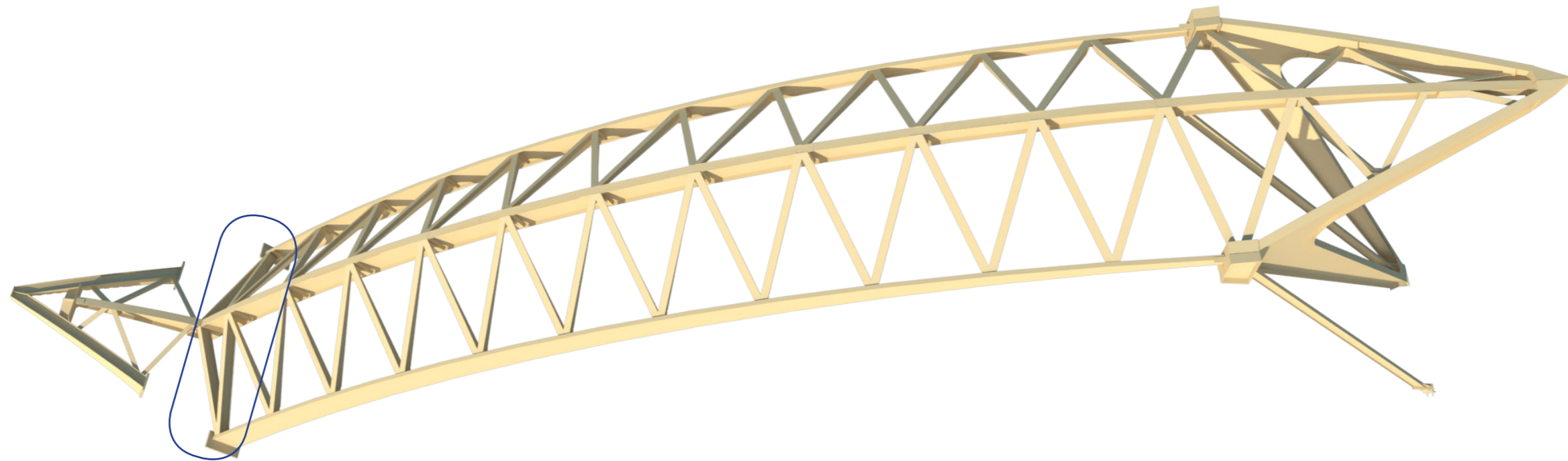


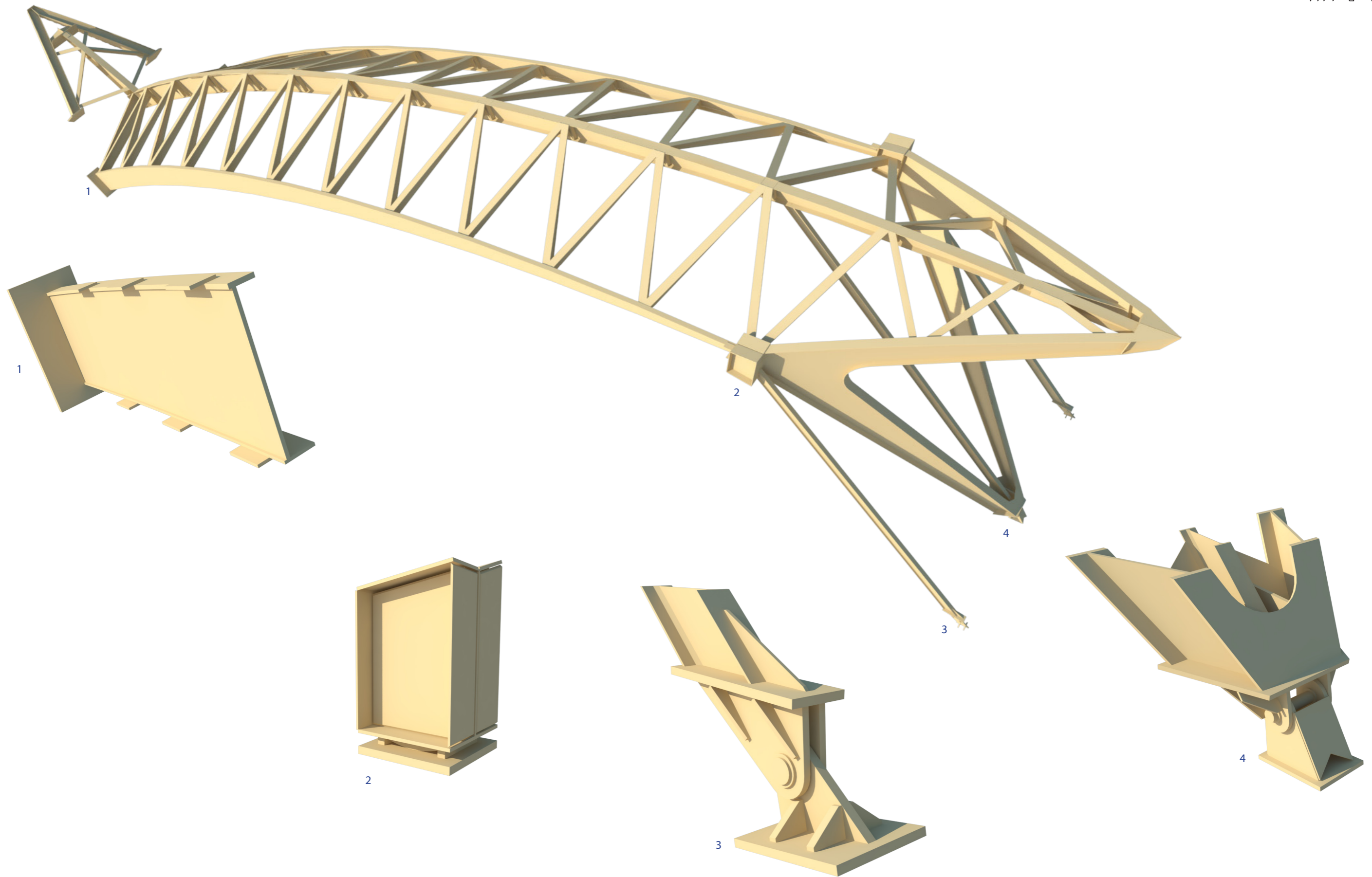
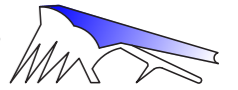
Las diagonales que unen la viga 1 con la viga 2, están formadas por perfiles en "T" de sección variable, la sección aumenta desde la parte superior (viga 2) a la parte inferior (viga 1). La unión a la vigas se realiza mediante unos cajones, formados por chapas plegadas, y unas ménsulas. El alma de cada diagonal se suelda al cajón y la ménsula, que también se suelda al cajón. El ala de cada diagonal se suelda al ala superior de las vigas. El cajón se suelda al alma de las vigas y a la parte interior de las alas. La razón de utilizar los cajones y las ménsulas es para que los esfuerzos se trasmitan a toda la sección de las vigas principales.

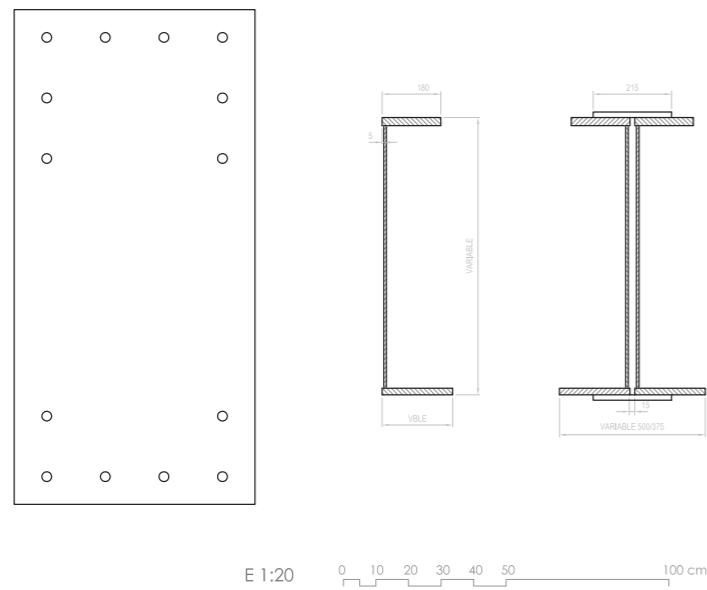
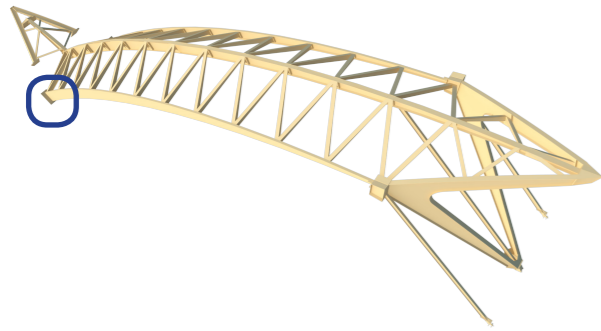




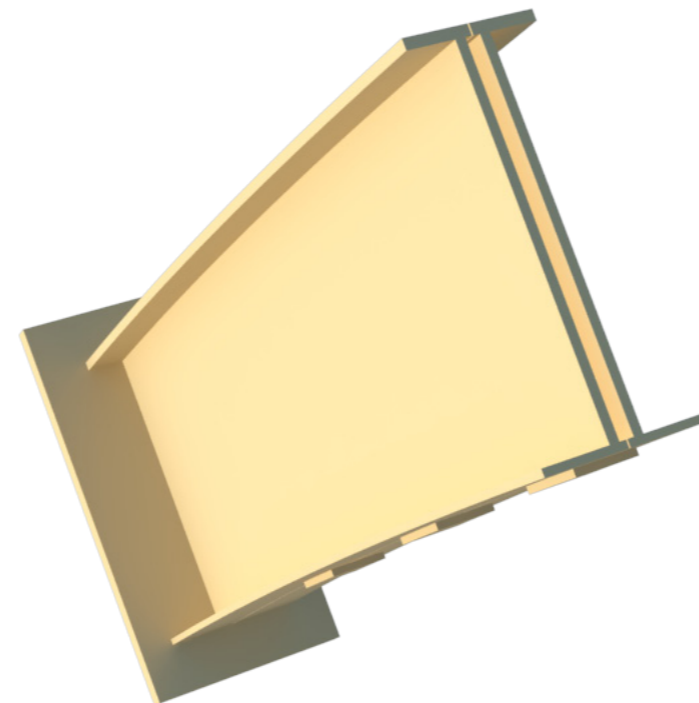
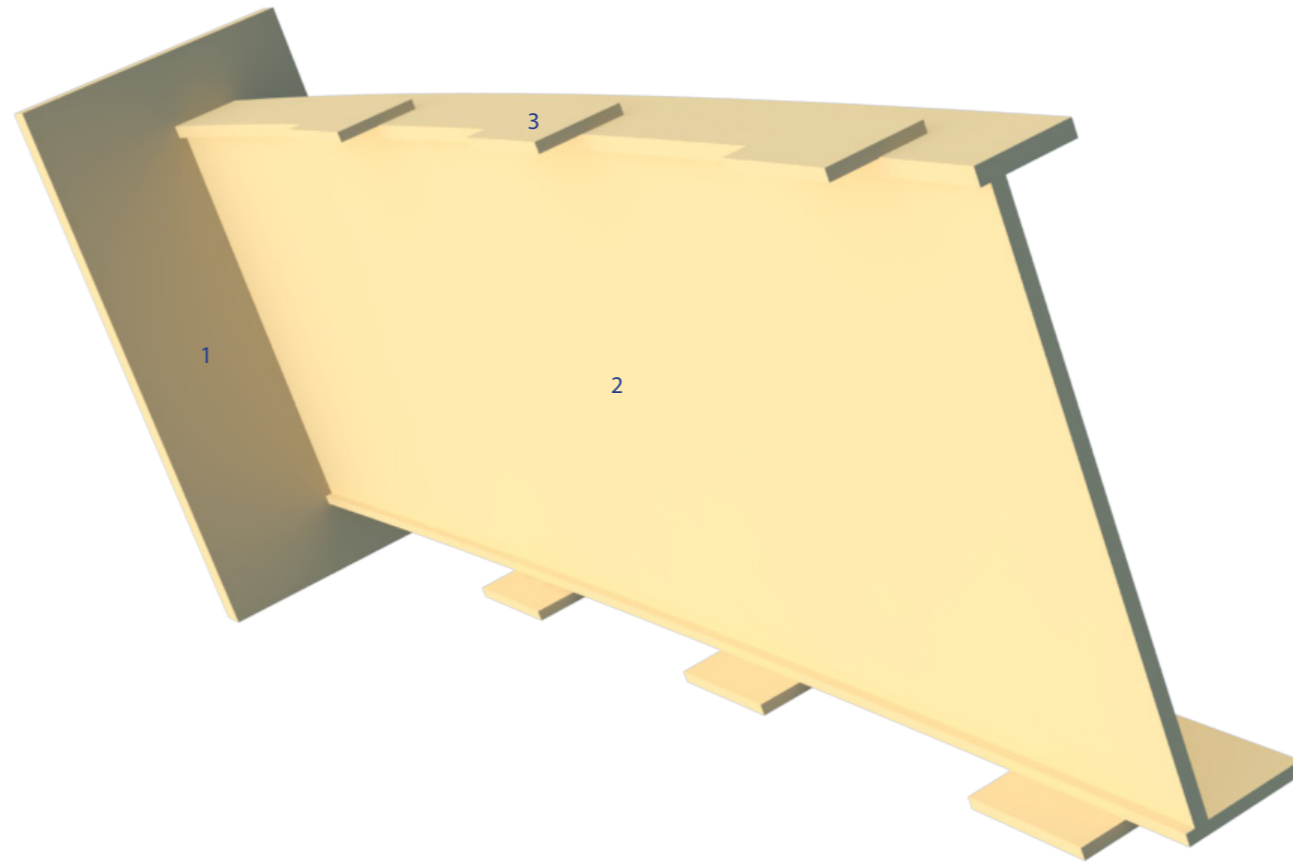
Las diagonales están formadas por perfiles en "T" de sección variable, unidas a las ménsulas y los cajones. En toda la celosía no son todas iguales, existen distintas dimensiones de diagonales, ménsulas y cajones para unir las vigas principales, viga 1 y 2, aunque todas tienen una forma bastante similar. Sin embargo hay que destacar que existen unas diagonales que no están formadas por perfiles en "T", sino por perfiles doble "T", son las dos primeras diagonales después del empotramiento de la parte sur. La razón de utilizar estos perfiles doble T debe ser porque es en esa zona donde se concentran los mayores esfuerzos. Estas diagonales se unen a las vigas principales por medio de los cajones, pero no se disponen ménsulas.





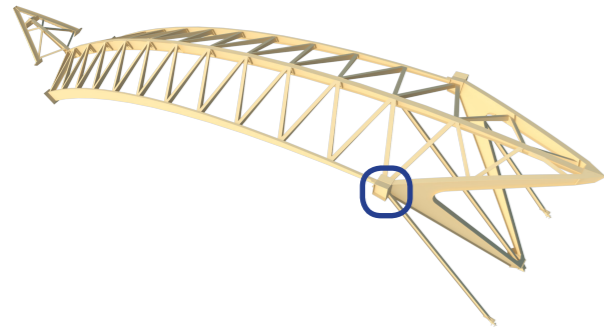


1. Placa de anclaje (74 x 152 x 9 cm)
2. Viga armada, compuesta por 3 chapas en "U"
3. Chapas en las alas para la unión con la celosía contigua



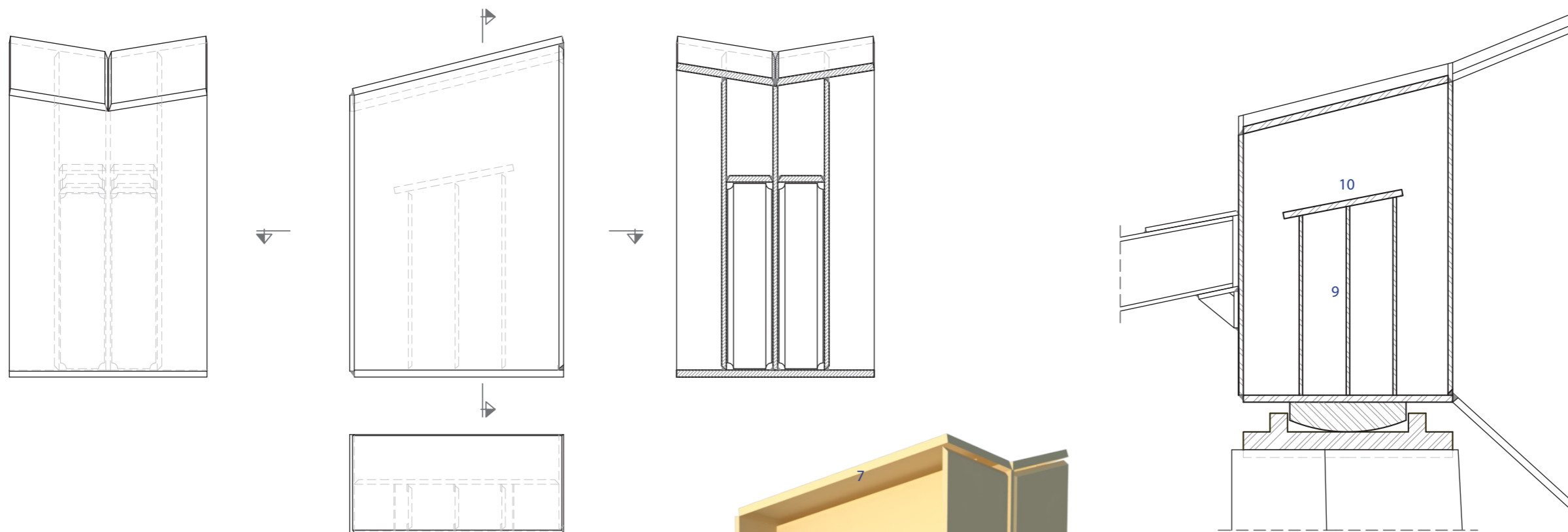
APOYO EMPOTRADO MEDIANTE PLACA DE ANCLAJE Y PERNOS A SECCIÓN DE HORMIGÓN

La placa de anclaje junto con una parte de la viga 1 se colocan en su posición y se fija la placa con tuercas a la sección de hormigón mediante pernos de anclaje. La viga 1 contigua se recibe sin placa de anclaje, se apoya en las chapas de las almas de la viga colocada y se suelda a la placa, también se sueldan las vigas mediante las chapas en las alas.

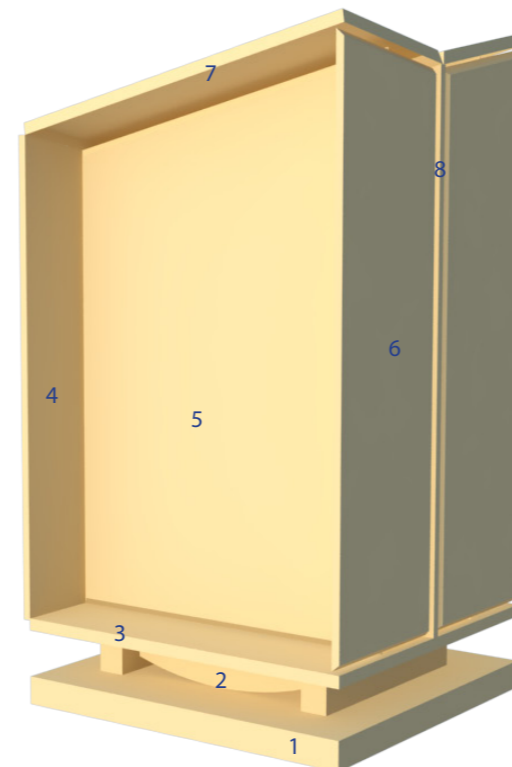


APOYO ARTICULADO FORMADO POR UN CAJÓN SOBRE PILAR HORMIGÓN

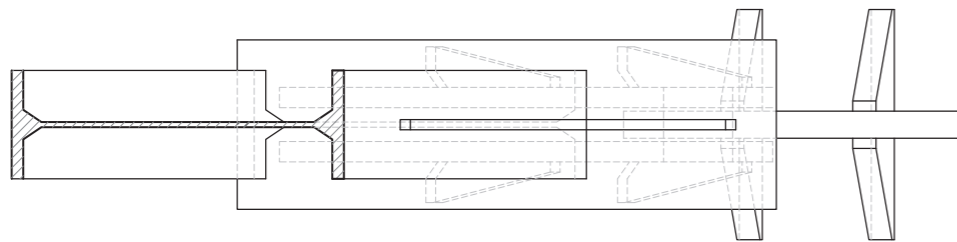
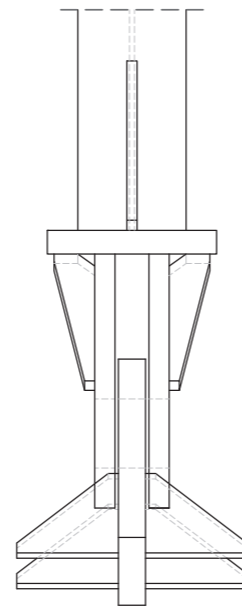
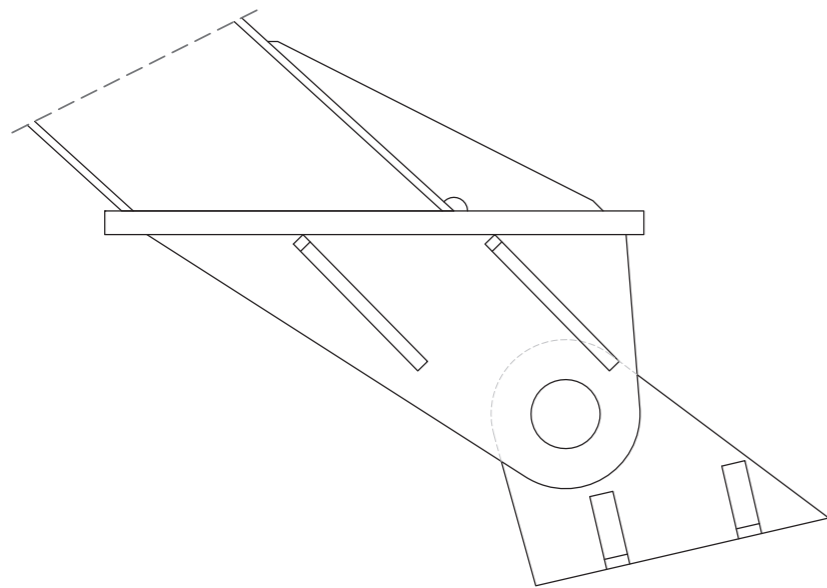
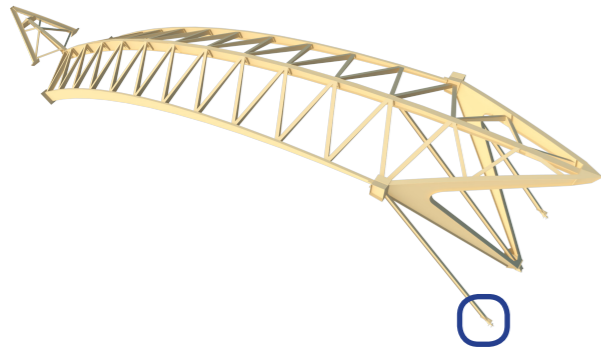
Apoyo cajón articulado sobre pilar de hormigón, permitiendo el giro en la dirección del pórtico gracias a la base cilíndrica que se dispone debajo del cajón. Cada cajón recibe las cargas de las celosías contiguas. El cajón esta formado por chapas, una la viga 3 y 1, y recibe dos diagonales de cada celosía y un perfil IPE 330 (T1). Las chapas que se disponen en su interior sirven para dar continuidad a las diagonales y rigidizar el conjunto. El cajón se monta junto con el tramo norte y se disponen unas chapas en el cajón para recibir la viga 1 de cada celosía.



- 1. Placa apoyo, e = 9 cm
- 2. Base cajón cilíndrica
- 3. Chapa inferior, e = 3 cm
- 4. Chapa lateral, e = 2 cm
- 5. Chapa interior, e = 2 cm
- 6. Chapa lateral, e = 2 cm
- 7. Chapa superior, e = 3 cm
- 8. Chapa intermedia, e = 2 cm
- 9. Chapas verticales interiores, e = 1,5 cm
- 10. Chapa superior interior, e = 2,5 cm

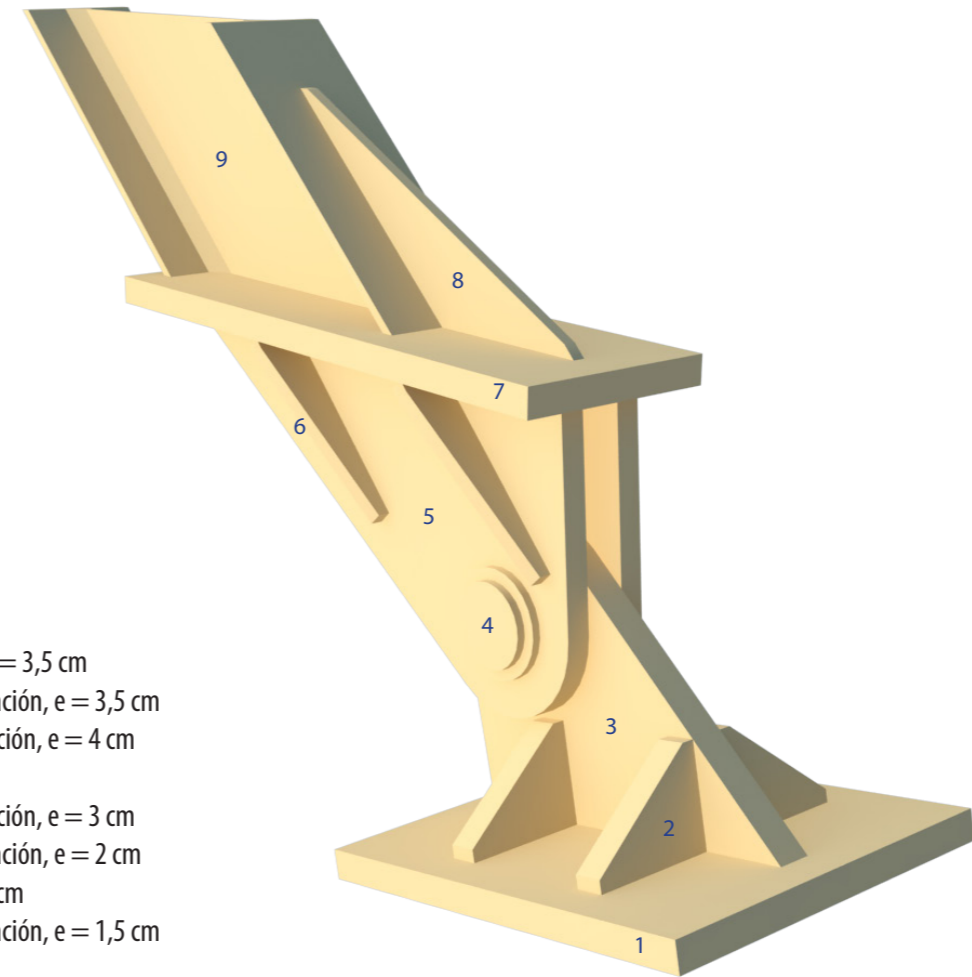


E 1:20 0 10 20 30 40 50 100 cm



E 1:10 0 5 10 20 30 40 50 cm

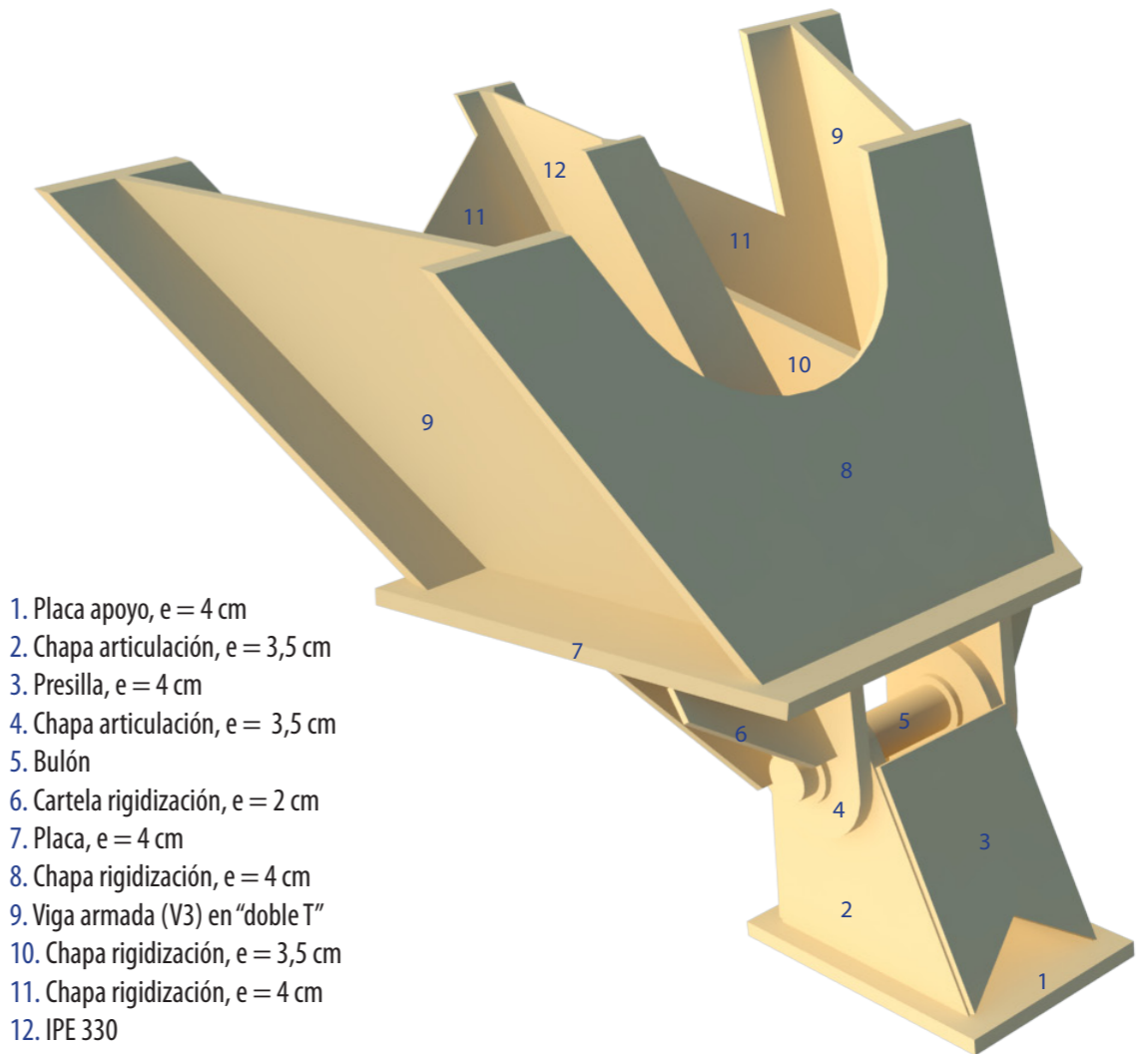
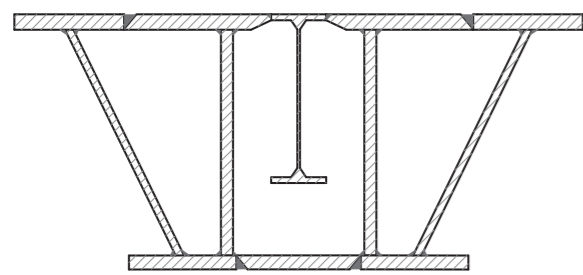
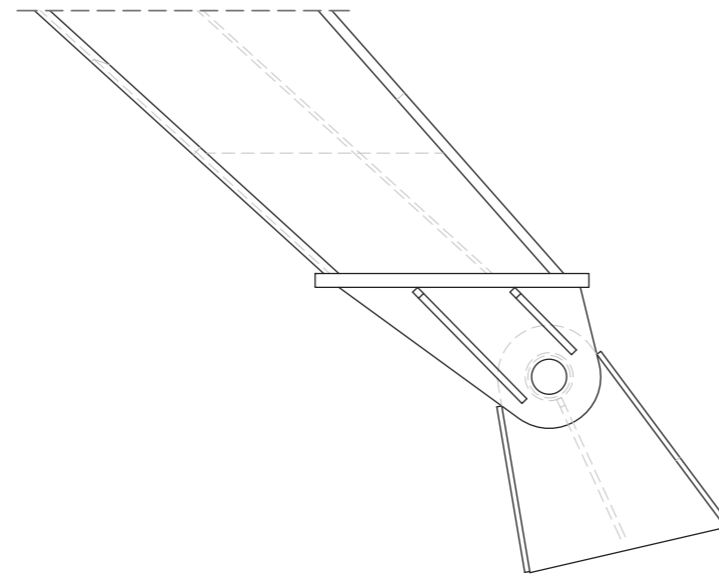
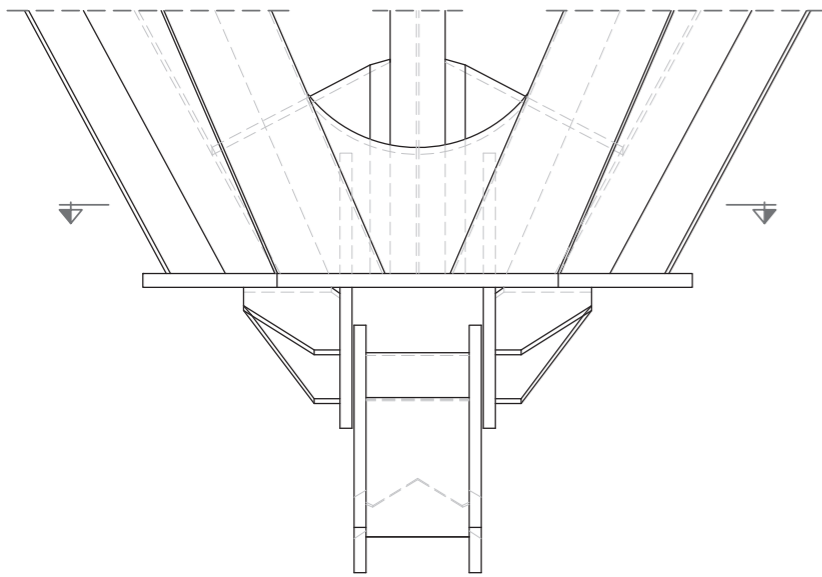
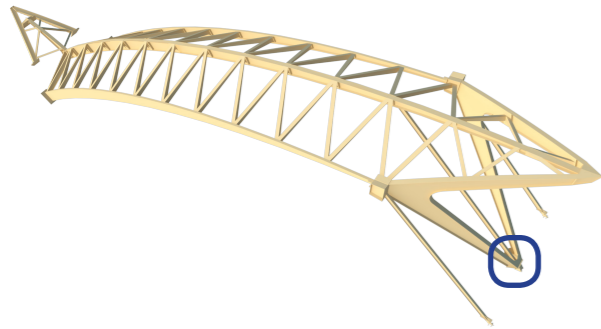
1. Placa apoyo, e = 3,5 cm
2. Cartela rigidización, e = 3,5 cm
3. Chapa articulación, e = 4 cm
4. Bulón
5. Chapa articulación, e = 3 cm
6. Cartela rigidización, e = 2 cm
7. Placa, e = 3,5 cm
8. Cartela rigidización, e = 1,5 cm
9. IPE 330



UNIÓN ARTICULADA VIGA METÁLICA A RAMIFICACIÓN PILAR HORMIGÓN

Unión viga metálica IPE 330 (T1) a ramificación del pilar con forma de árbol por medio de articulación (rotula). Articulación formada por chapas con cartelas para rigidizar unidas por un bulón fijado en sus extremos para impedir que se desplace, permitiendo el giro en la dirección del pórtico.





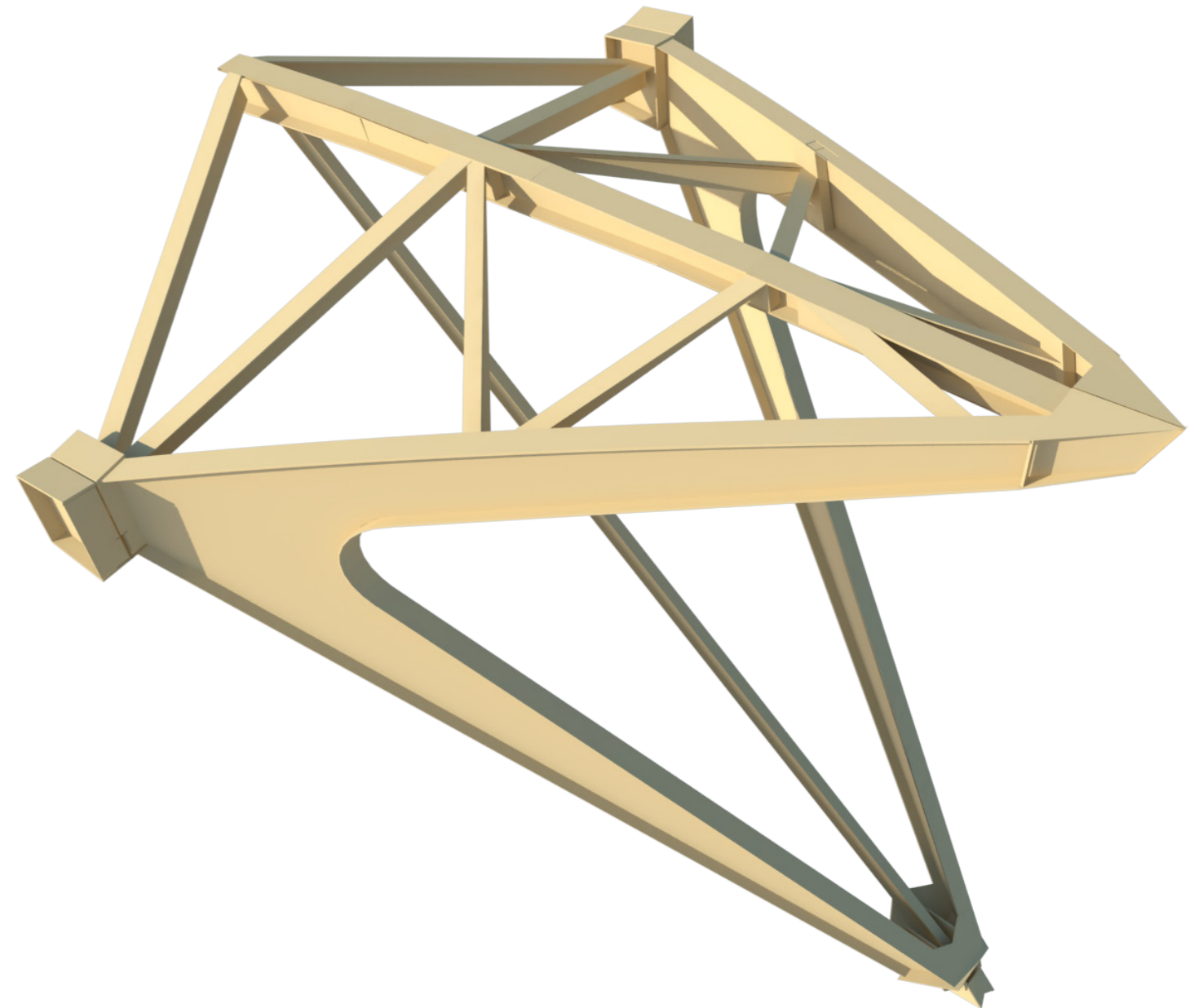
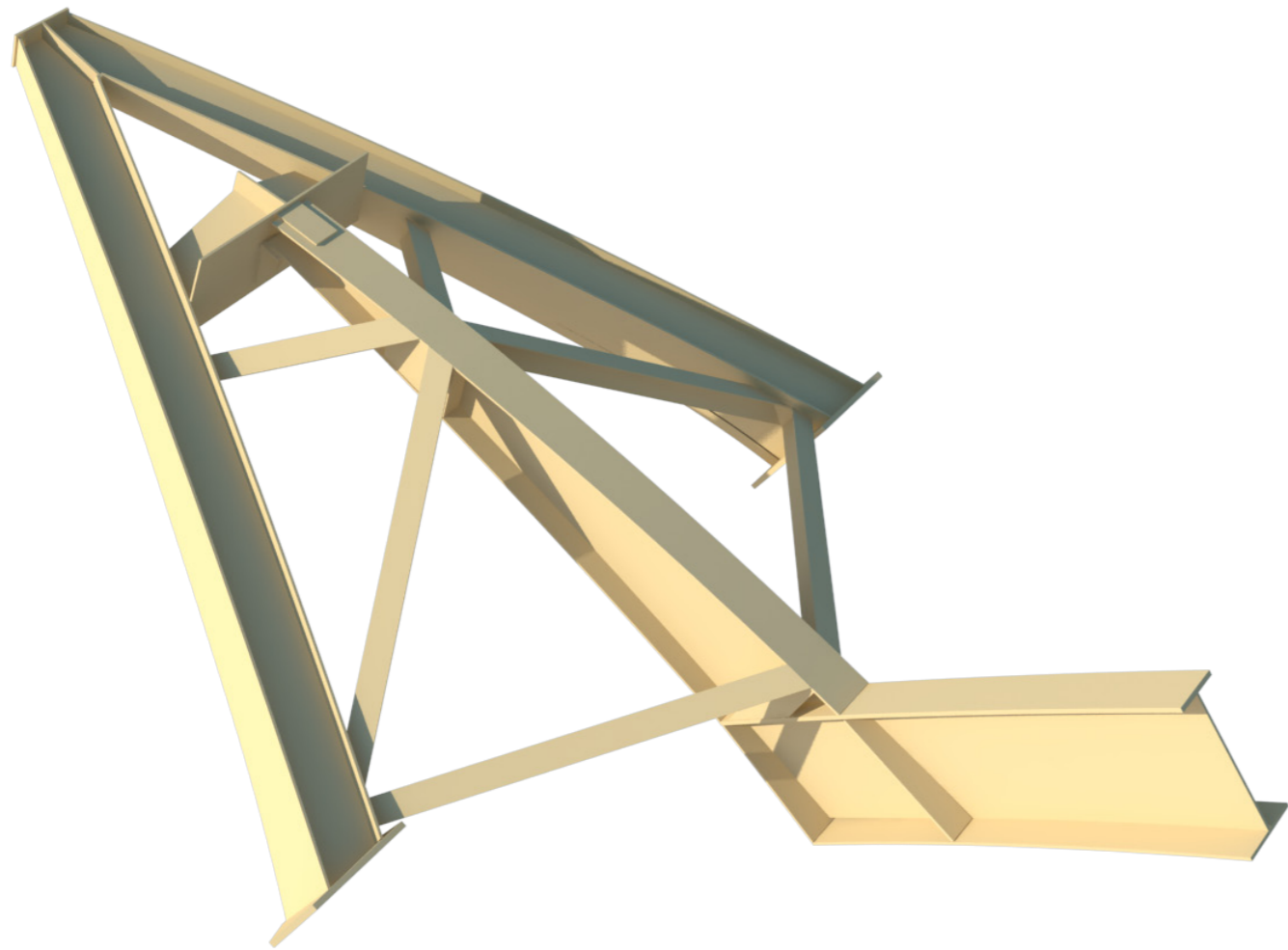
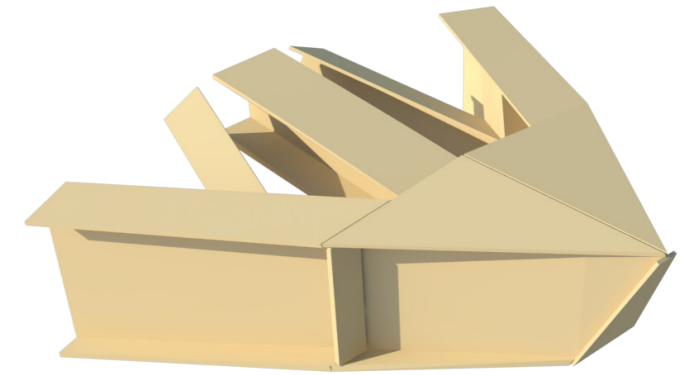
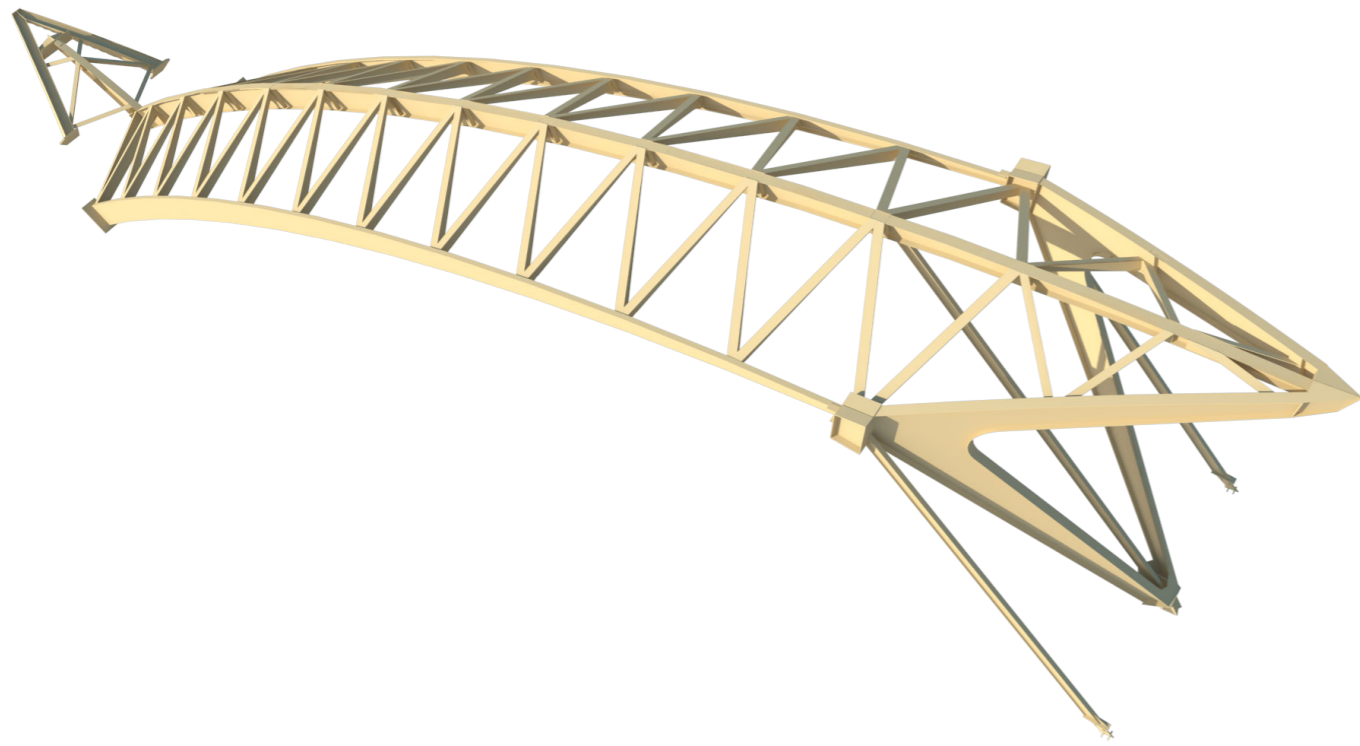
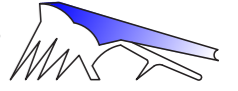
1. Placa apoyo, e = 4 cm
2. Chapa articulación, e = 3,5 cm
3. Presilla, e = 4 cm
4. Chapa articulación, e = 3,5 cm
5. Bulón
6. Cartela rigidización, e = 2 cm
7. Placa, e = 4 cm
8. Chapa rigidización, e = 4 cm
9. Viga armada (V3) en "doble T"
10. Chapa rigidización, e = 3,5 cm
11. Chapa rigidización, e = 4 cm
12. IPE 330

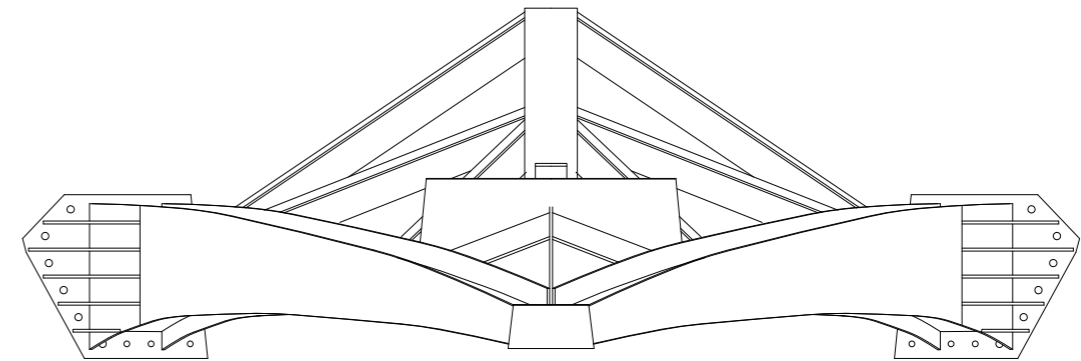
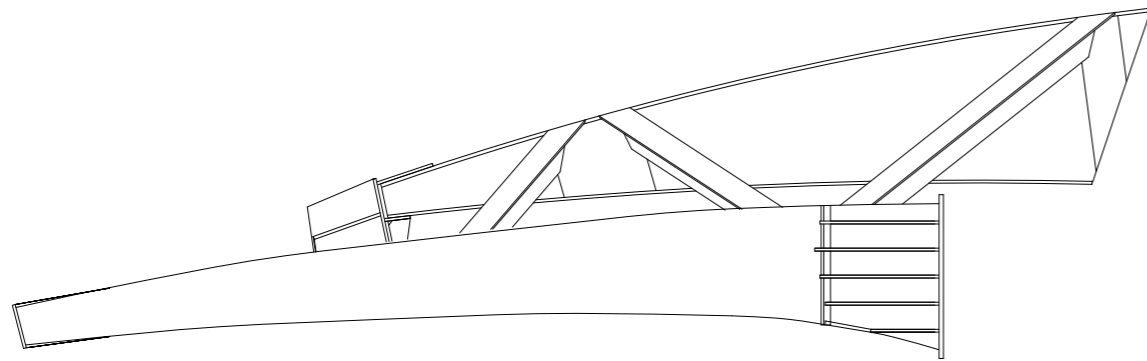
E 1:20 0 10 20 30 40 50 100 cm



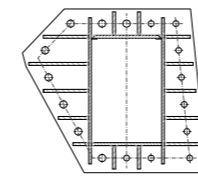
UNIÓN ARTICULADA VIGA 3 Y T2 A RAMIFICACIÓN PILAR HORMIGÓN

Unión de los dos extremos inferiores de la viga armada 3 y la viga metálica IPE 330 (T2) a la ramificación del pilar con forma de árbol por medio de articulación (rotula). La viga 3 y T2 se sueldan a una chapa y se disponen rigidizadores entre ellas. La articulación esta formada por chapas con cartelas y presillas para rigidizar unidas por un bulón fijado en sus extremos para impedir que se desplace, permitiendo el giro en la dirección del pórtico.

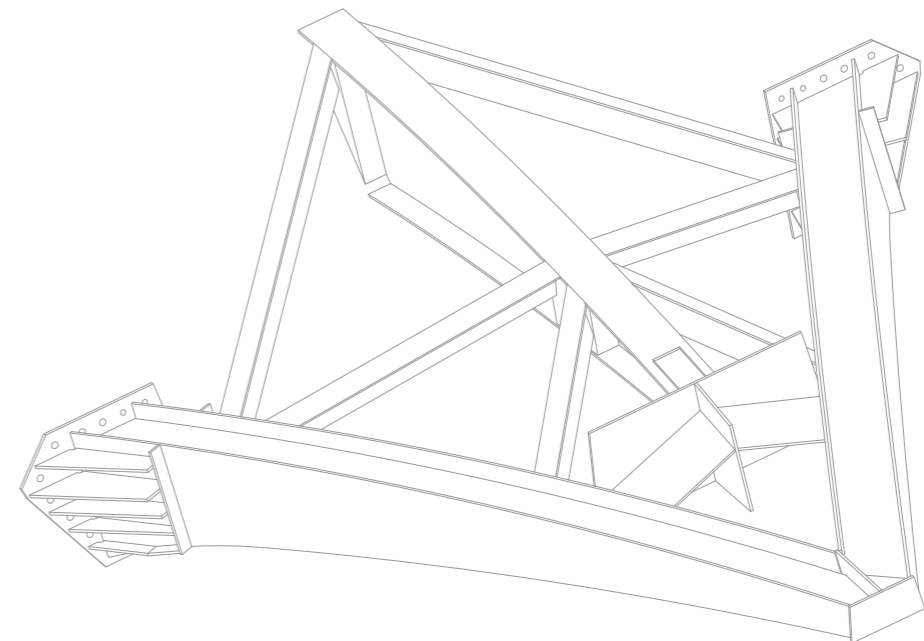
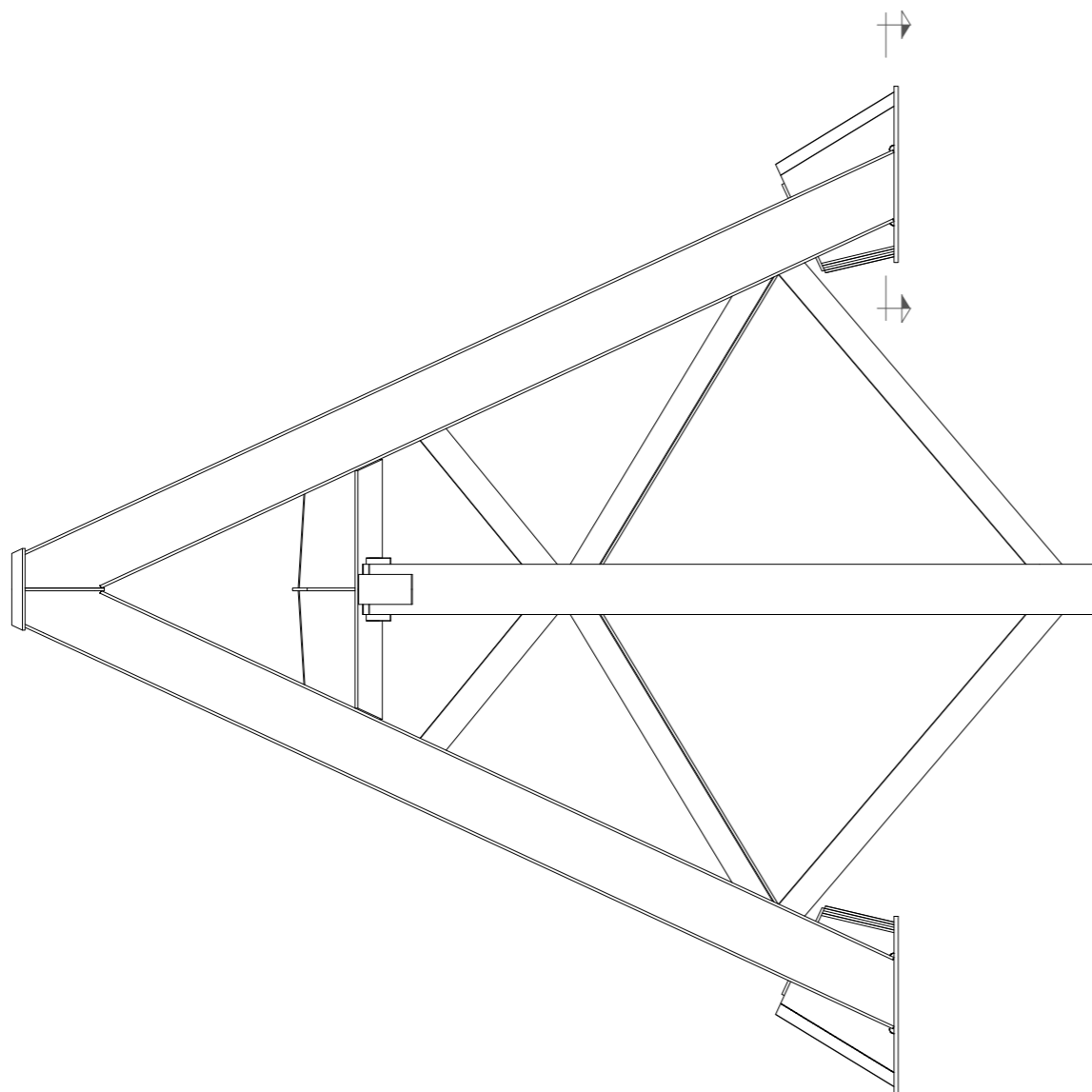




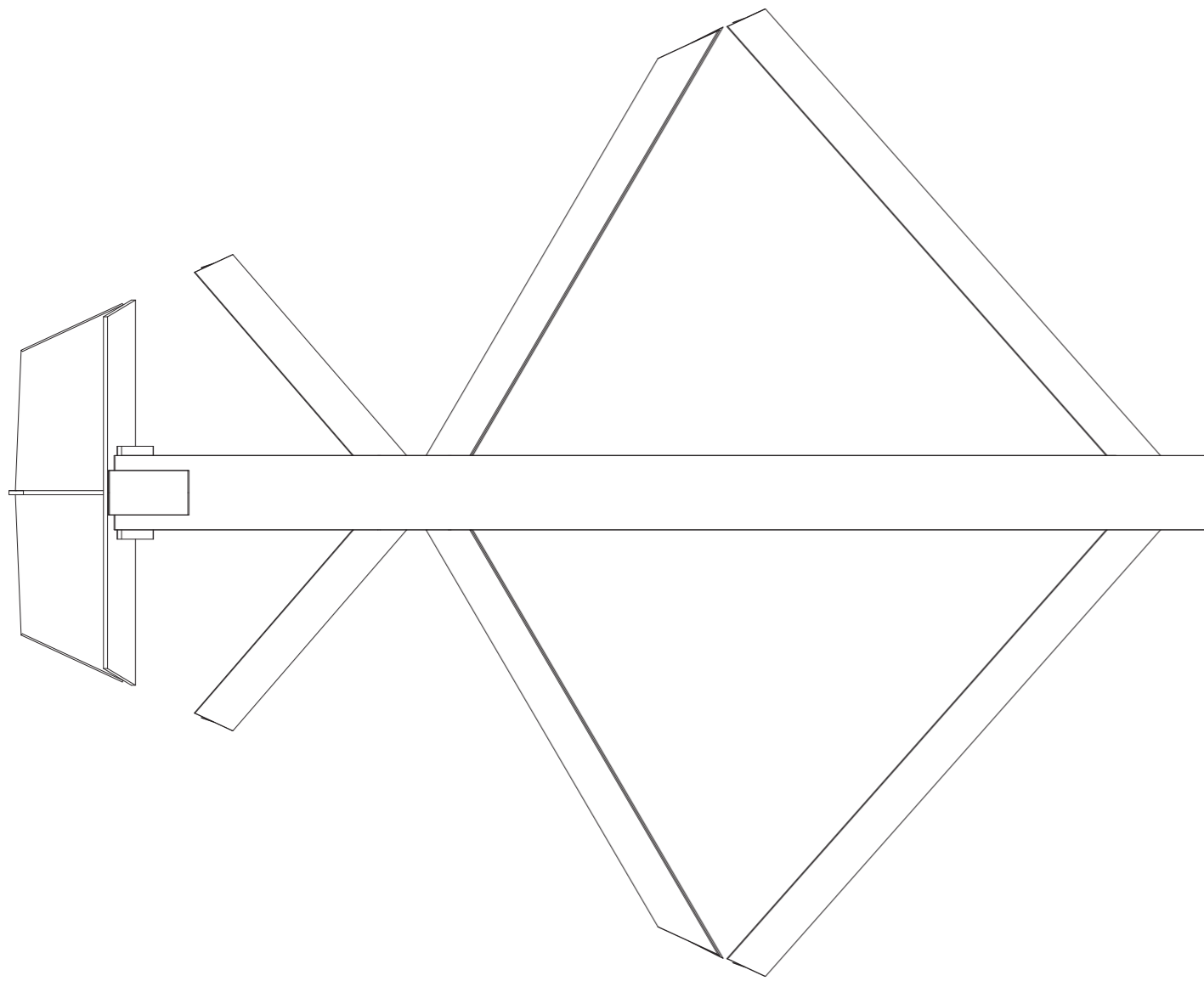
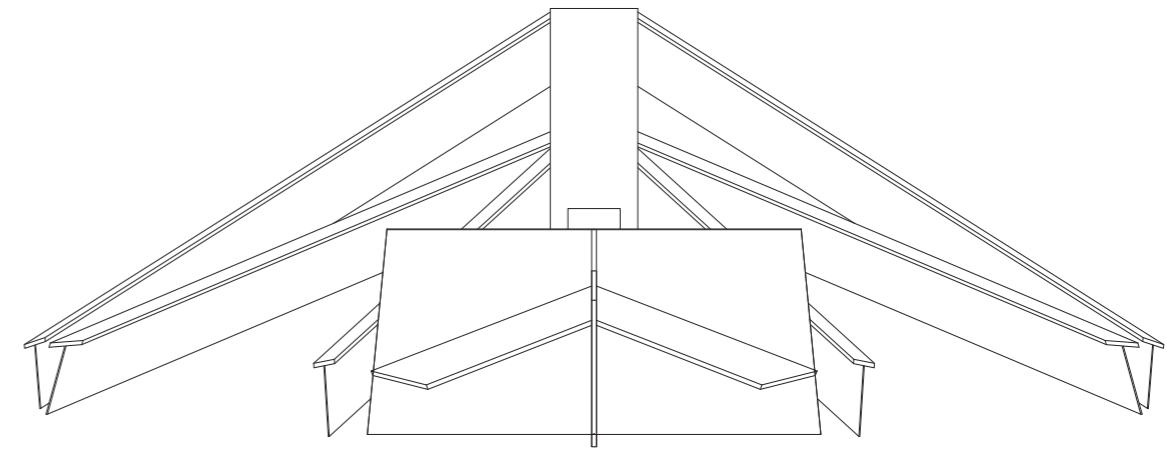
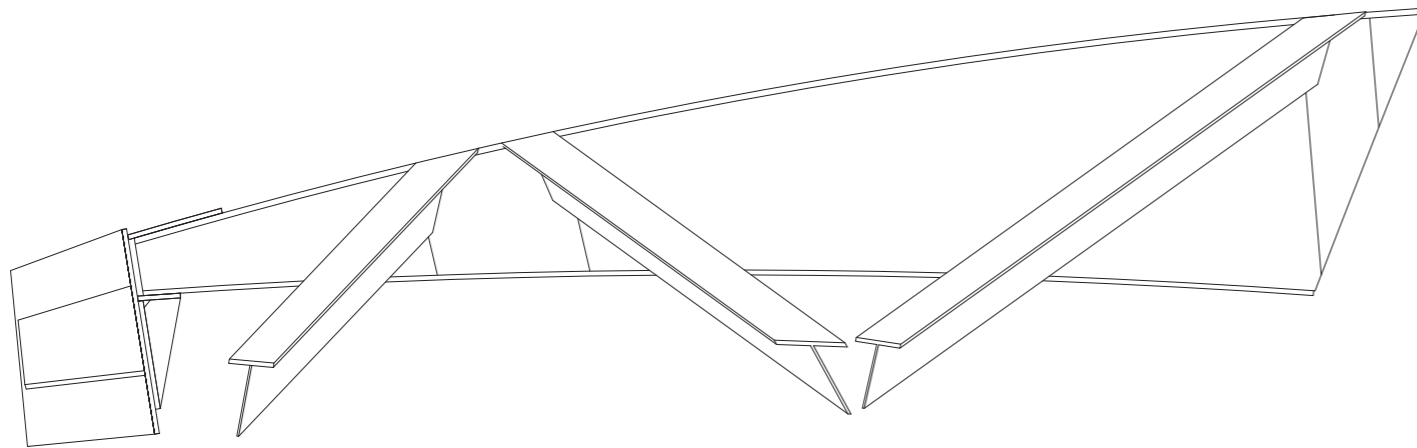
PICO DE PATO



Conjunto parte sur cubierta metálica, formado por el primer tramo de la viga 2 y las vigas 4, compuestas por chapas soldadas de sección variable formando un cajón (pag. 42), unidas por medio de diagonales. El conjunto del pico pato se une a la cubierta por medio de la viga 2 y además se ancla a la sección de hormigón por medio de unas placas anclaje atornilladas. Las vigas cajón del pico pato (viga 4) se embeberán en una sección de hormigón después de su colocación dando continuidad a la fachada sur de hormigón blanco y terminándola en este pico.



E 1:50 0 0.5 1 2 3m



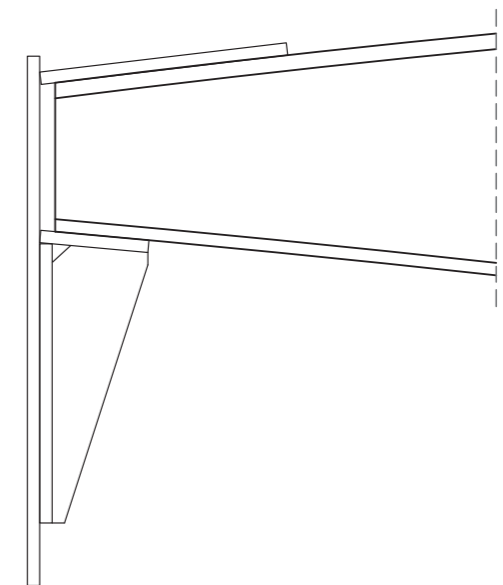
E 1:30 0 0.5 1 2 3m



PARTE CENTRAL PICO PATO MAS DIAGONALES

Conjunto de viga 2, diagonales y chapas para apoyo viga 2. Las diagonales se unen a las vigas por medio de los cajones como se ha explicado antes, pero en esta zona no se disponen ménsulas.

DETALLE APOYO VIGA 2

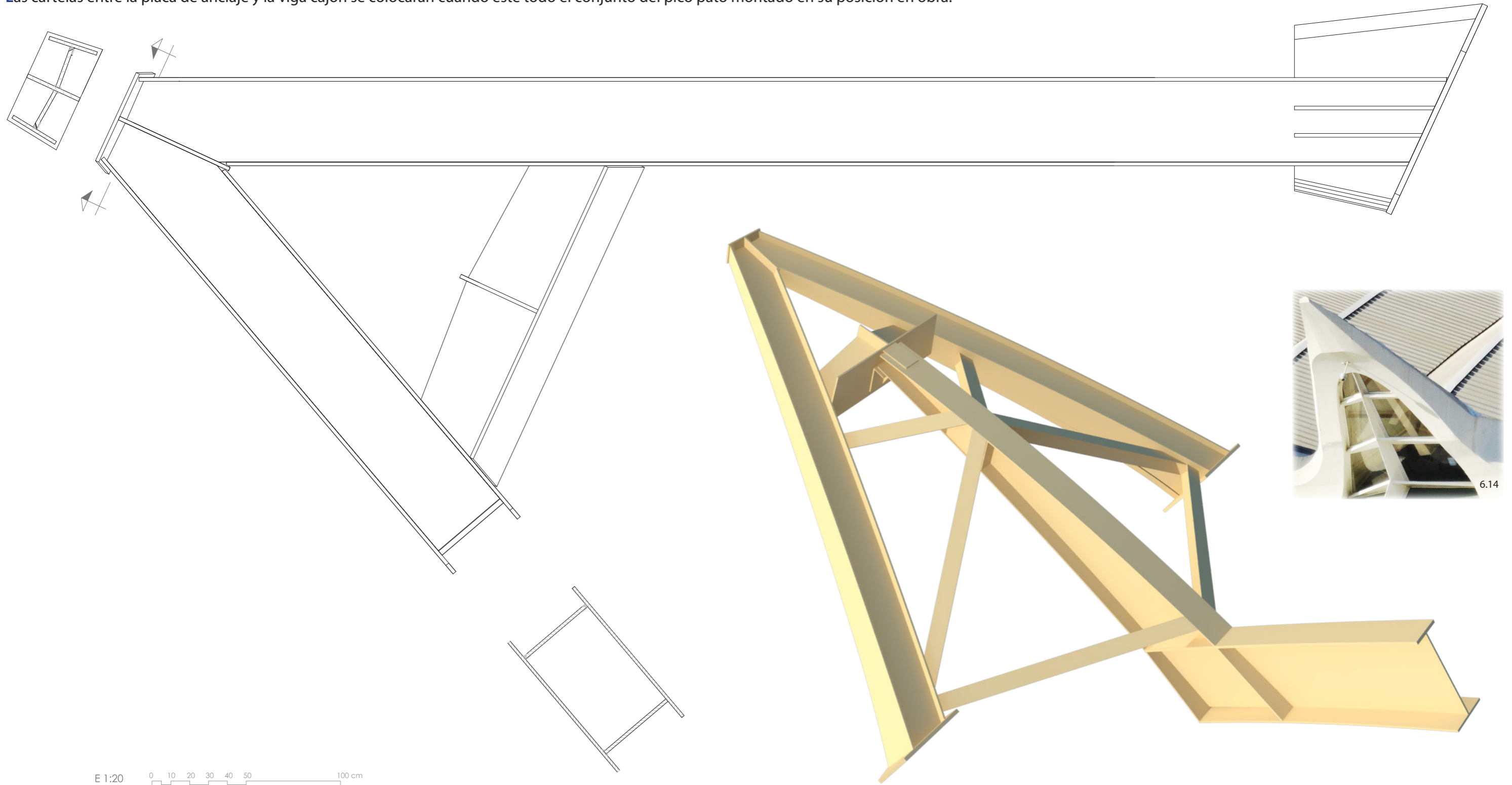


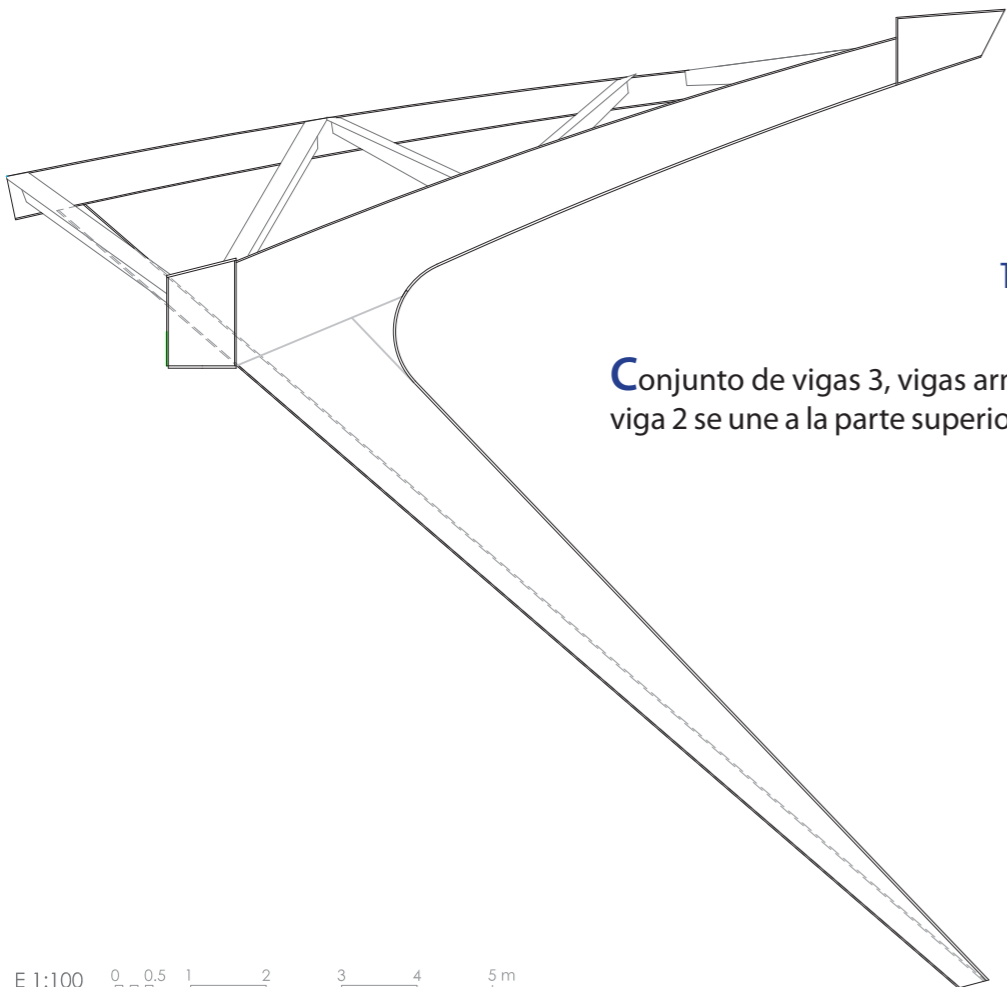
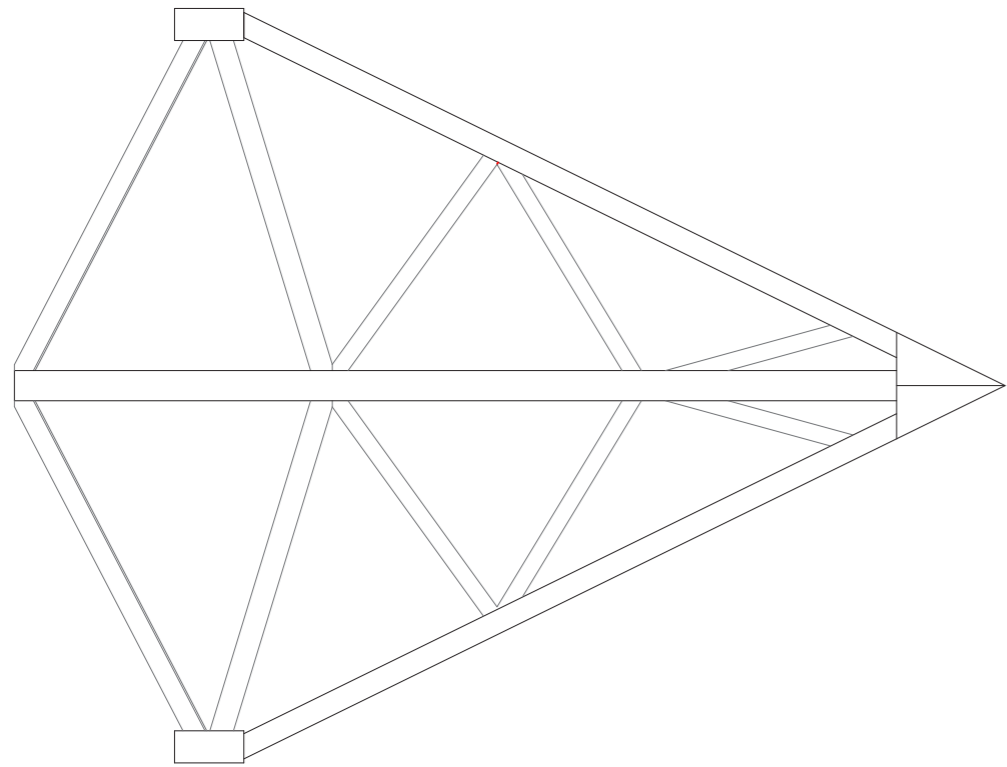
E 1:20 0 10 20 30 40 50 100 cm



PARTE EXTERIOR PICO PATO

Conjunto de vigas 4, vigas cajón y chapas para recibir a la viga 2. Cuando se una con la parte central se hormigonará esta parte (parte exterior - vigas cajón 4). Las cartelas entre la placa de anclaje y la viga cajón se colocarán cuando esté todo el conjunto del pico pato montado en su posición en obra.

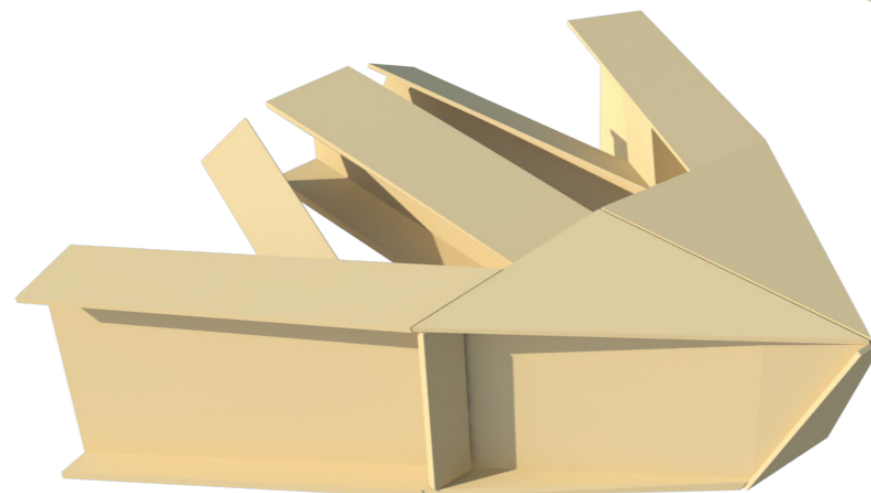
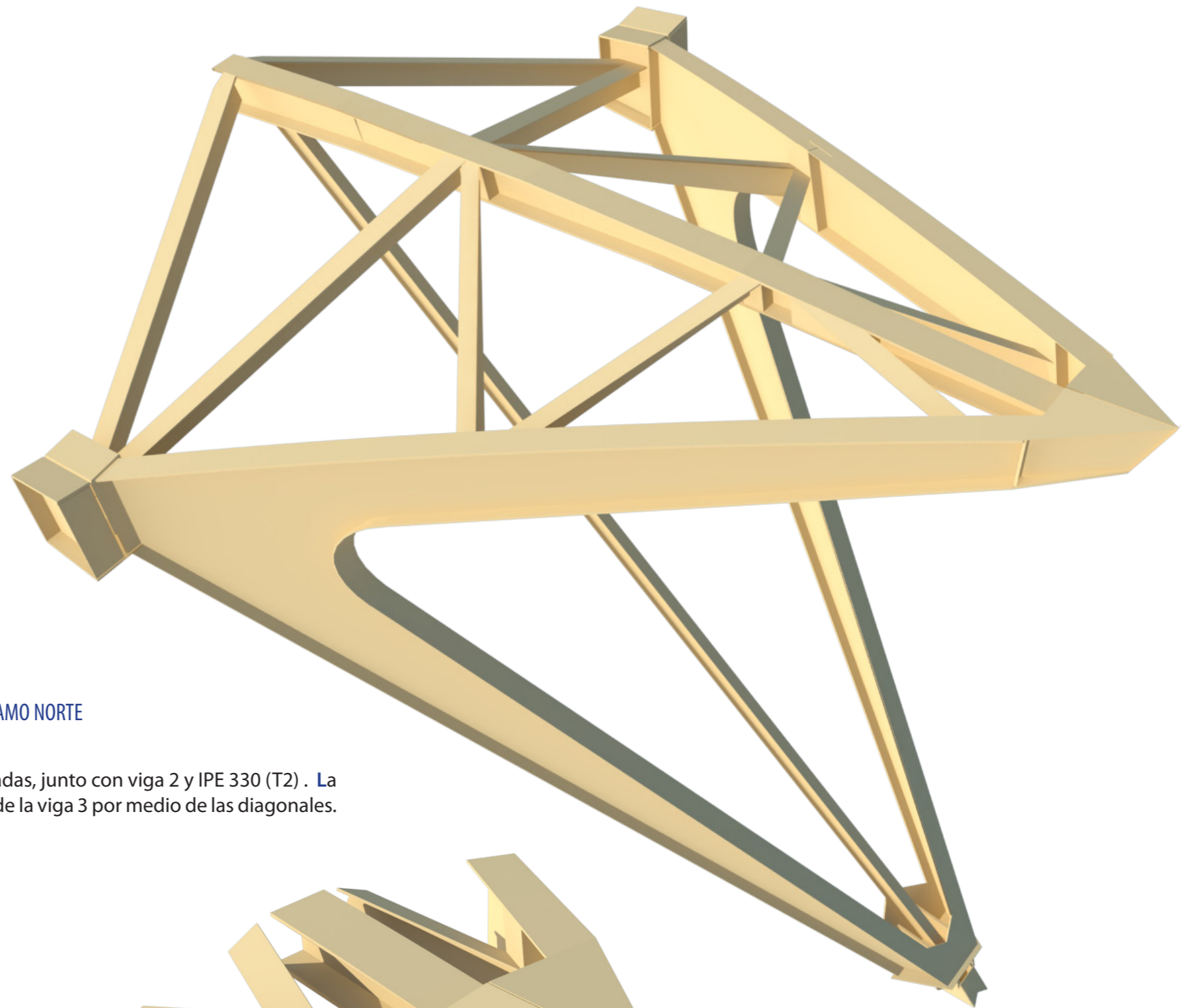




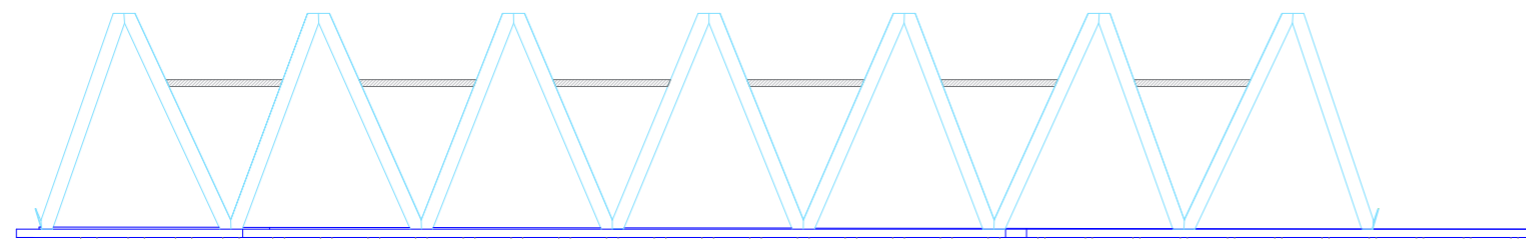
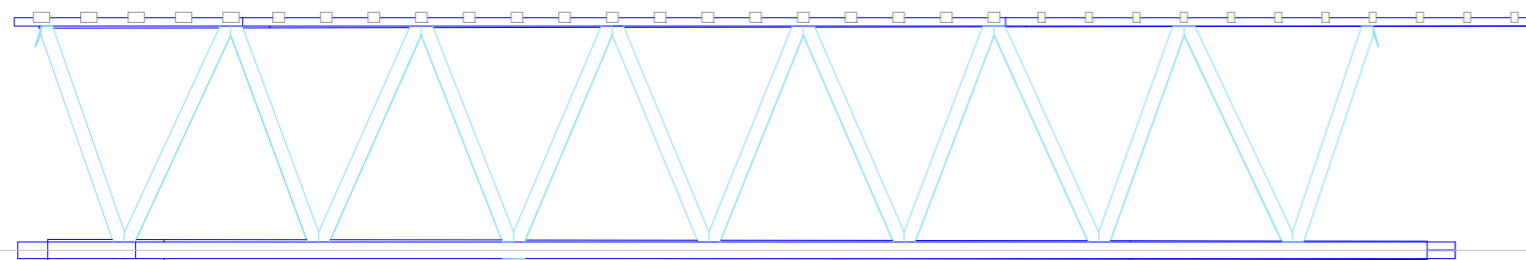
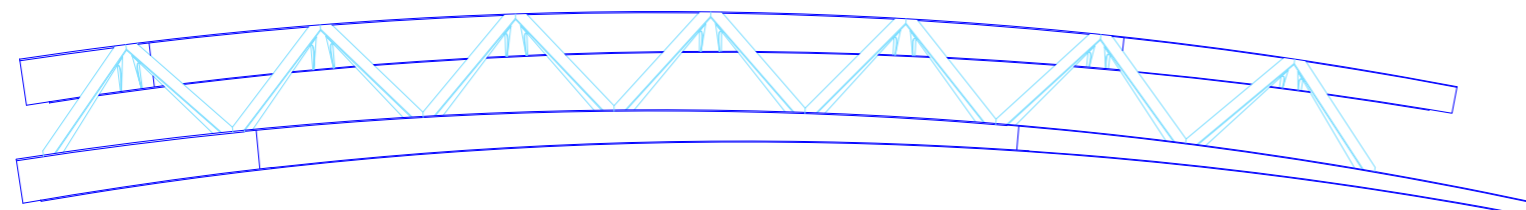
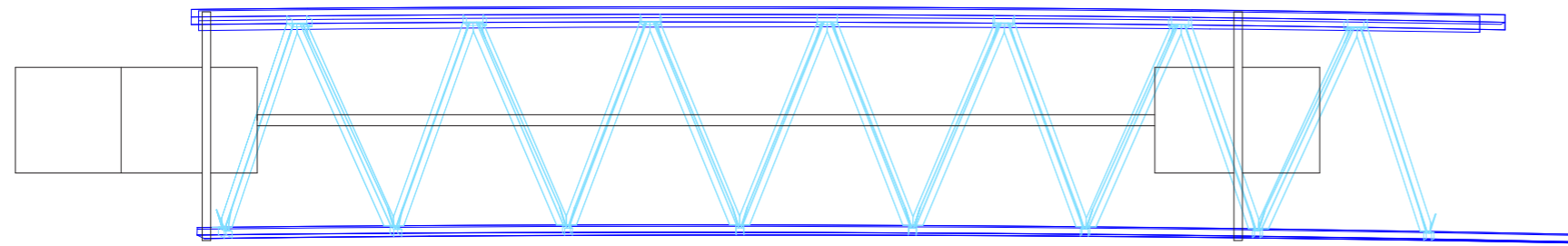
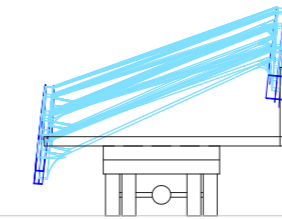
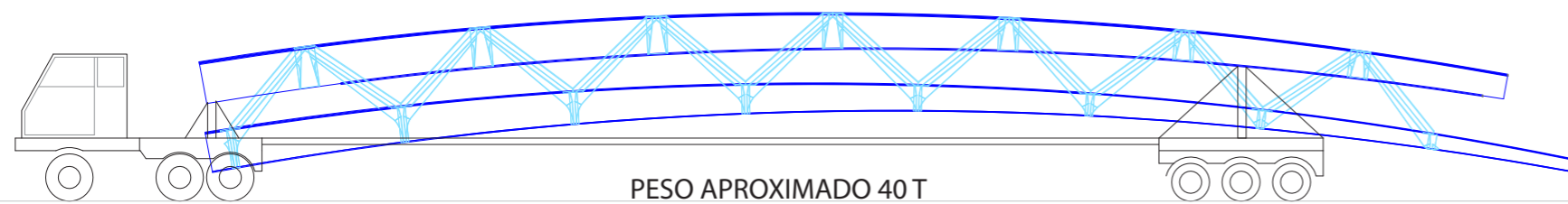
TRAMO NORTE

Conjunto de vigas 3, vigas armadas, junto con viga 2 y IPE 330 (T2) . La viga 2 se une a la parte superior de la viga 3 por medio de las diagonales.

E 1:100 0 0,5 1 2 3 4 5 m



El tramo norte finaliza en la parte superior uniendo la vigas 3 y la viga 2 por medio de unas chapas que ayudan a rigidizar la unión.



El módulo de cubierta se subdividió en 3 tramos distintos para facilitar tanto el transporte como la puesta en obra. Estos tramos se denominan: tramo sur-pico pato, tramo central y tramo norte. A la vez estos tramos se transportaron descompuestos para su posterior montaje en obra, mediante camas especiales. Los distintos tramos se transportaron a obra desde Sevilla con largos de 35/40 m y ancho de 6,3 m, requirió de unos caballetes especiales basculantes que permitieran adaptarse a los altos y anchos autorizados.

TRAMO CENTRAL [1ª OPCIÓN]

FABRICACIÓN

- 21 CONJUNTOS PAÑOS COMPLETOS
- 21 CONJUNTOS PAÑOS SIN VIGA 2 (arriostrados para transporte)

MONTAJE OBRA

Soldadura diagonales y ménsulas a cajones plegados de viga 2 en obra. Se eliminan las vigas que arriostraban las diagonales.

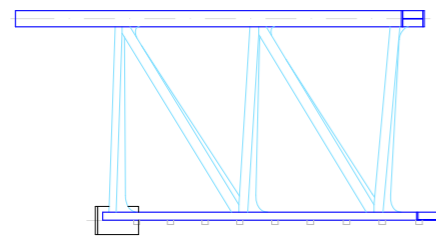


FASES MONTAJE

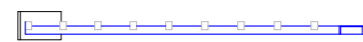
FASE 1 - MONTAJE EN CAMA

FASE 2 - IZADO Y COLOCACIÓN

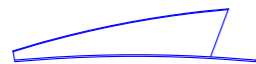
SUBCONJUNTOS PARA TRANSPORTE



MEDIA CELOSÍA + VIGA 2



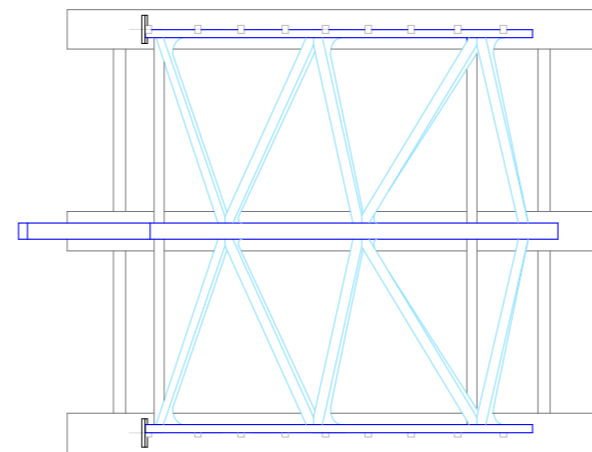
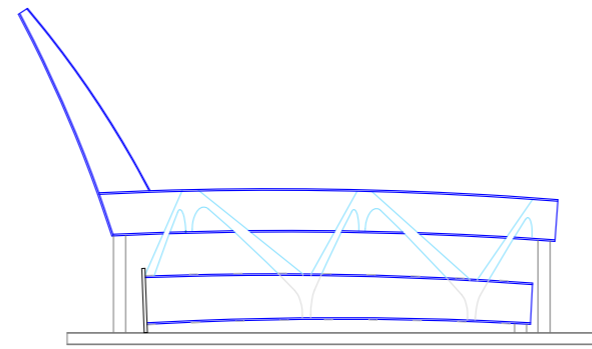
VIGA 1



VIGA CENTRAL PICO PATO



DIAGONALES



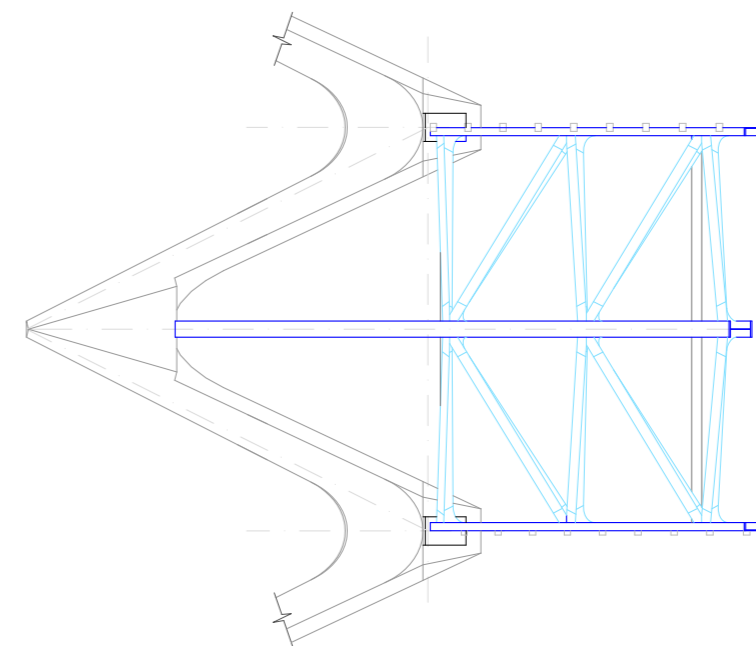
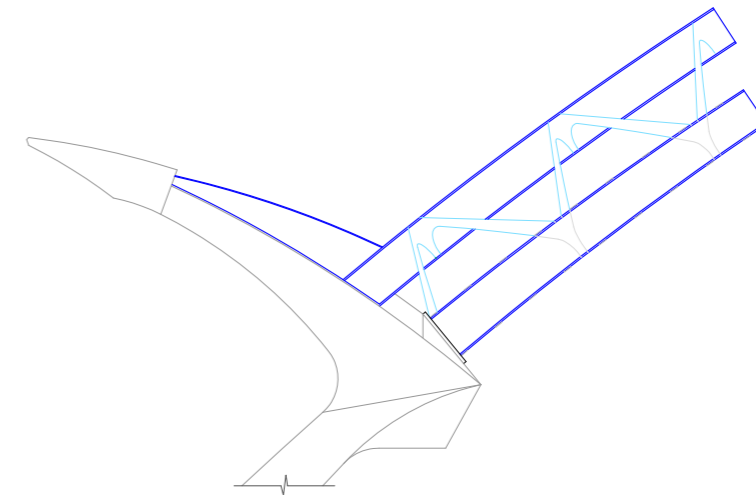
TRAMO SUR - PICO PATO

FABRICACIÓN

- 21 PAÑOS COMPLETOS
- 21 VIGA 1
- 21 VIGA CENTRAL PICO PATO
- DIAGONALES

MONTAJE OBRA

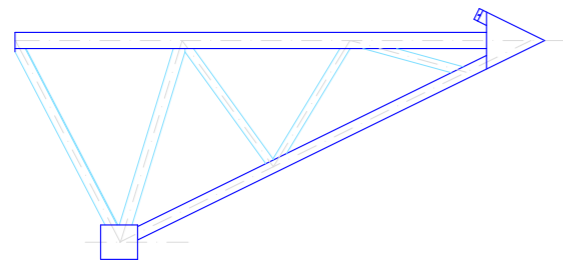
Montaje en cama especial. Unión de media celosía y viga 1, por medio de las diagonales con sus ménsulas y cajones diseñados para cada unión.



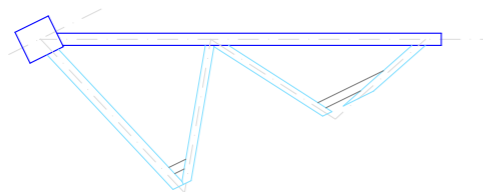
E 1:150 0 1 2 3 4 5 m



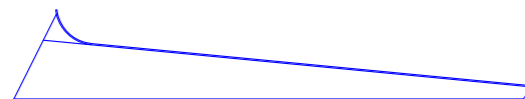
SUBCONJUNTOS PARA TRANSPORTE



MEDIA CELOSÍA + VIGA 2



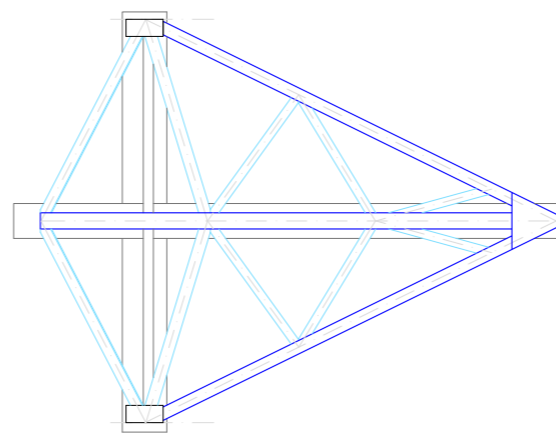
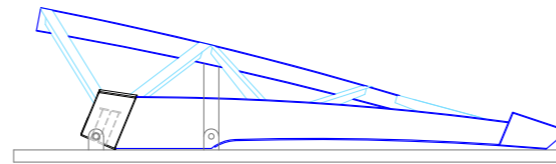
MEDIA CELOSÍA - VIGA 2
(diagonales arriostradas)



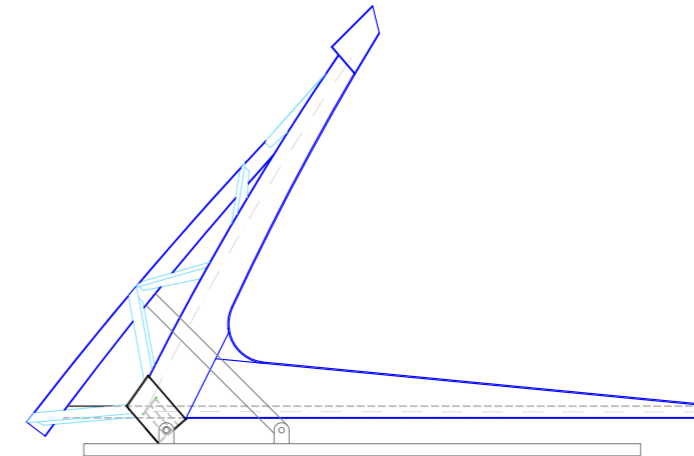
VIGA INFERIOR
(2 unidades)

FASES MONTAJE

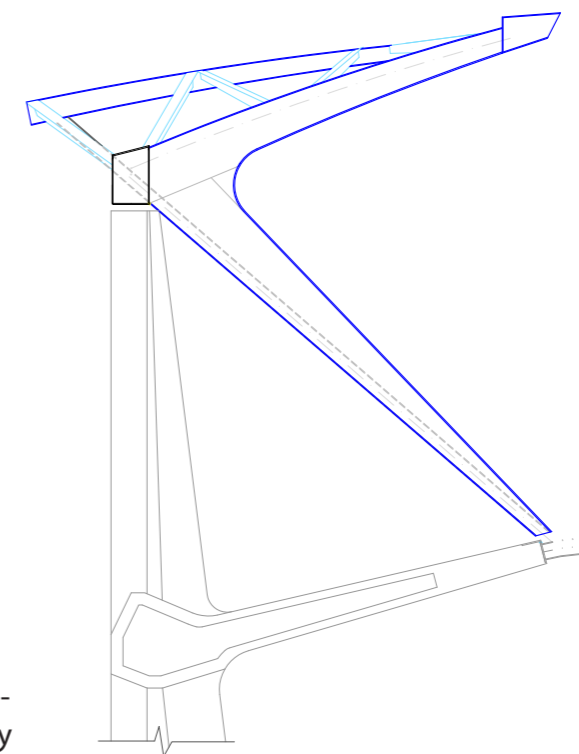
FASE 1 - MONTAJE EN CAMA



FASE 2 - MONTAJE EN CAMA



FASE 3 - IZADO Y COLOCACIÓN



E 1:150 0 1 2 3 4 5 m

TRAMO NORTE

FABRICACIÓN

- 21 PAÑOS COMPLETOS
- 21 PAÑOS SIN VIGA 2 (arriostrados para transporte)
- 42 VIGAS INFERIORES

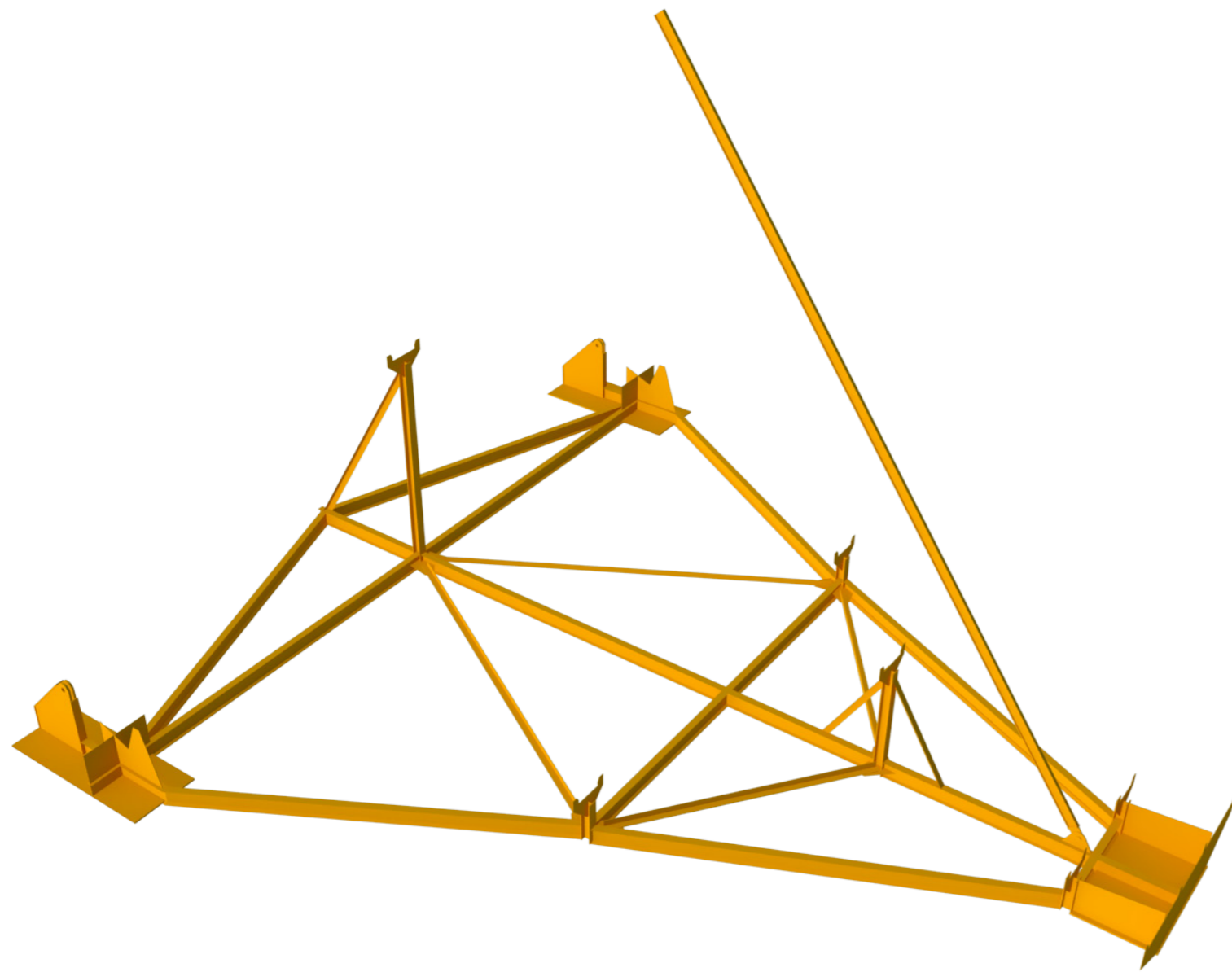
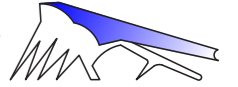
MONTAJE OBRA

FASE 1

Montaje en cama especial. Unión de las dos medias celosías, soldando diagonales a ménsulas y cajones en viga 2.

FASE 2

Giro de parte superior mediante cama especial, que se sustenta mediante una viga de longitud adecuada para poder recibir las vigas inferiores y proceder a su unión mediante soldadura

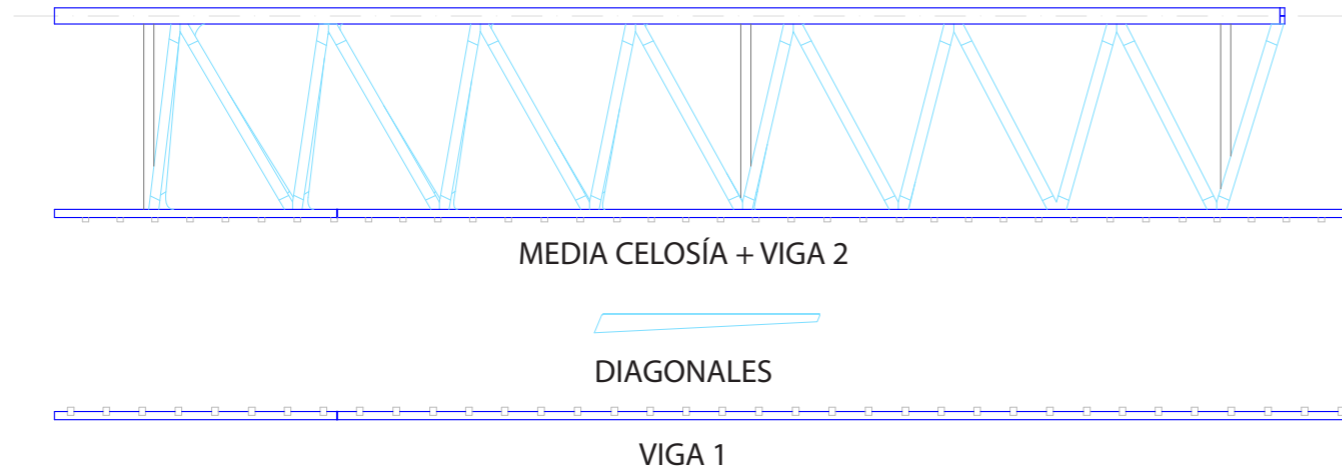


Esta cama de apoyo para el montaje del tramo norte parece que no se utilizó para todo el montaje de la obra. En un principio la empresa encargada de la realización de la estructura estableció que el tramo norte se montaba en esta cama, uniendo la parte superior e inferior, para luego elevar el conjunto a su posición. Sin embargo parece que finalmente, según las fotos de las que dispongo, se optó por montar la parte inferior con los cajones y un tirante en la cama, para luego elevarlo a su posición, y después de estar montado junto con el tramo central en la cubierta, se elevaría la parte superior del tramo norte.

Explicación fases de montaje cubierta (paginas 59 a 63).



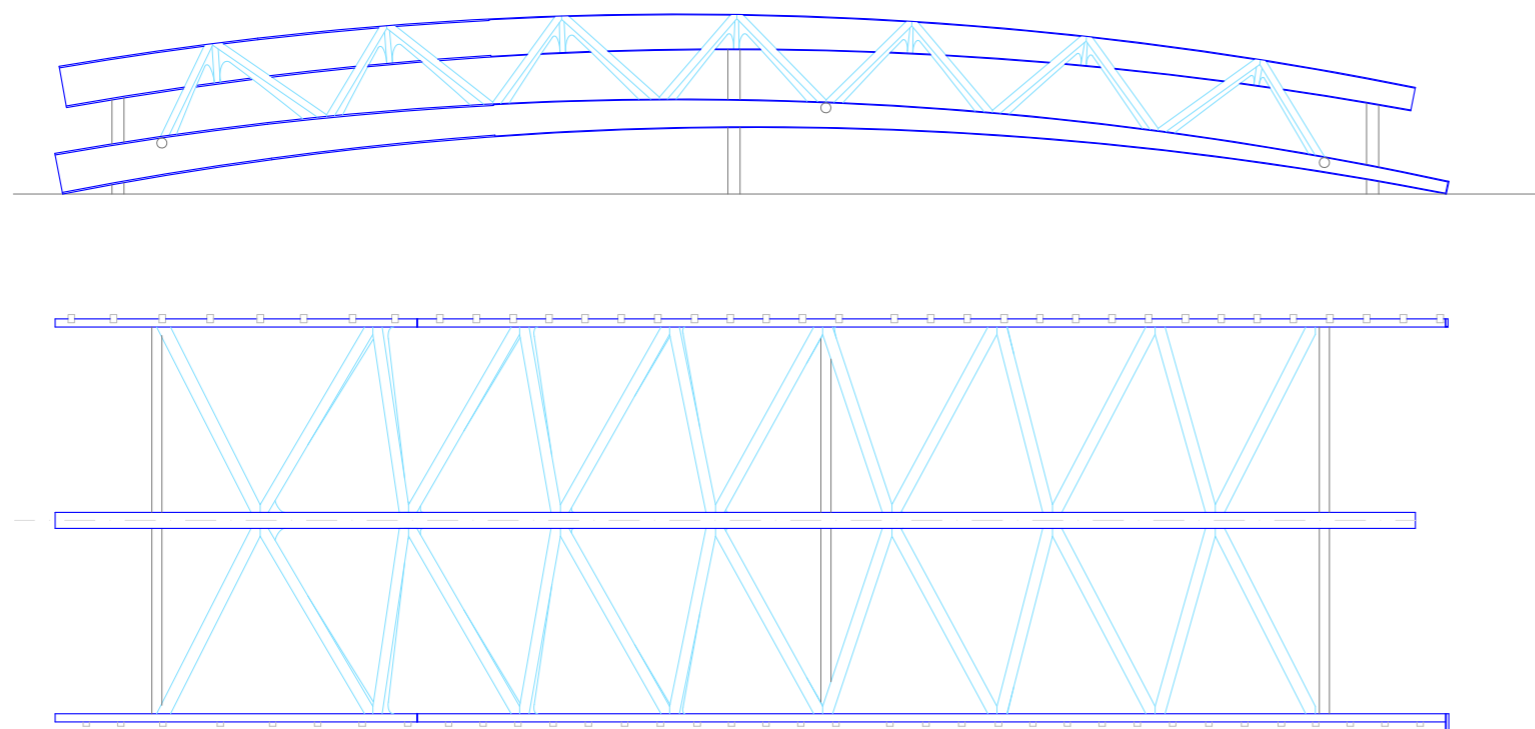
SUBCONJUNTOS PARA TRANSPORTE



TRAMO CENTRAL [2ª OPCIÓN]

- FABRICACIÓN**
- 21 PAÑOS COMPLETOS
 - 21 VIGA 1
 - DIAGONALES

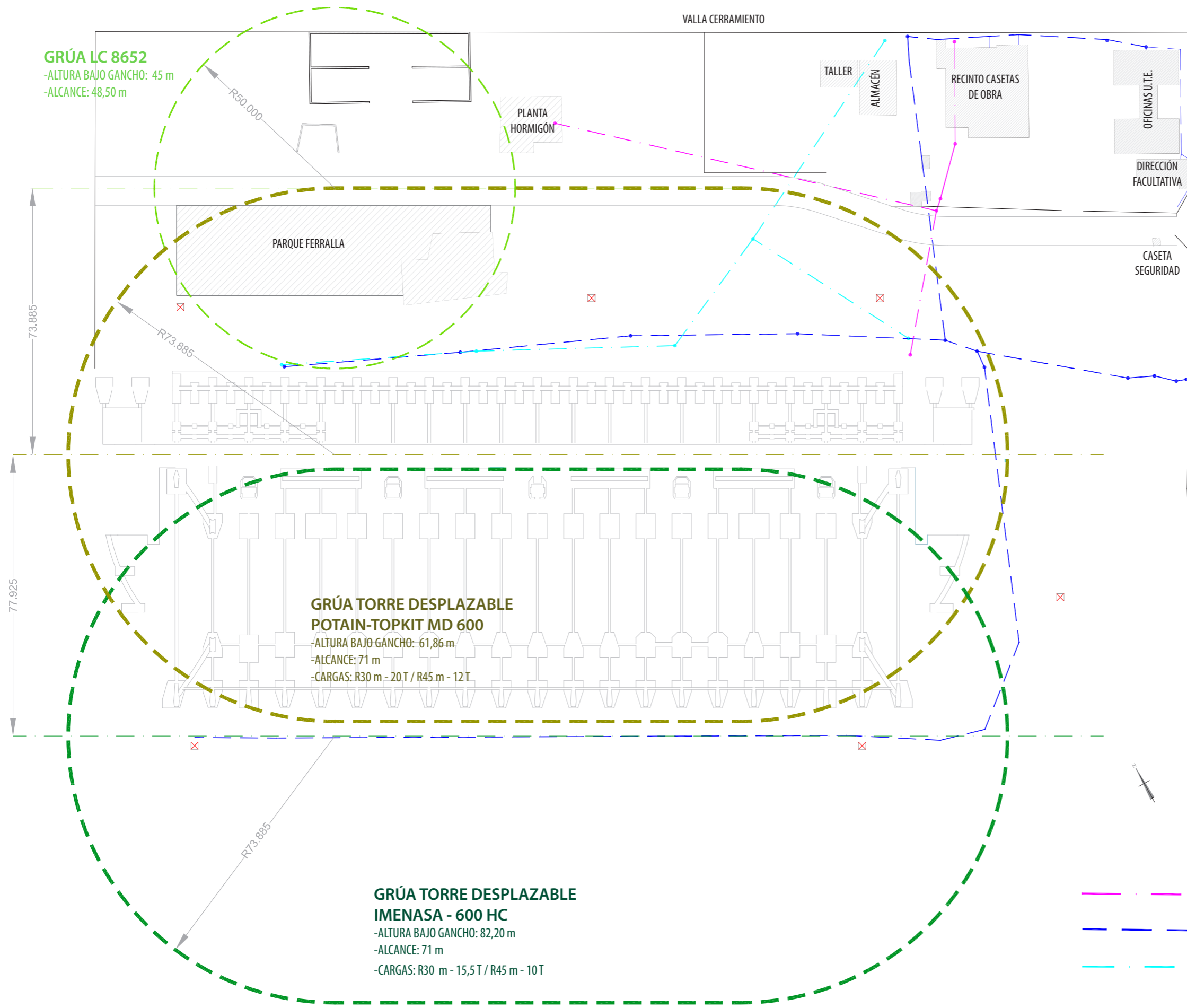
MONTAJE EN CAMA



MONTAJE OBRA

Montaje en cama especial. Unión de la media celosía a la viga 1 por medio de las diagonales con sus respectivos cajones y ménsulas.

E 1:150 0 1 2 3 4 5 m

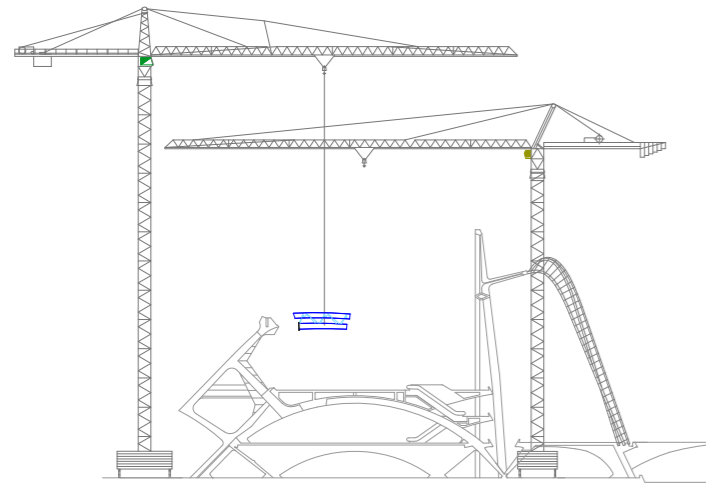


- ELECTRICIDAD
- AGUA POTABLE
- SANEAMIENTO
- ⊗ COLUMNA ILUMINACIÓN

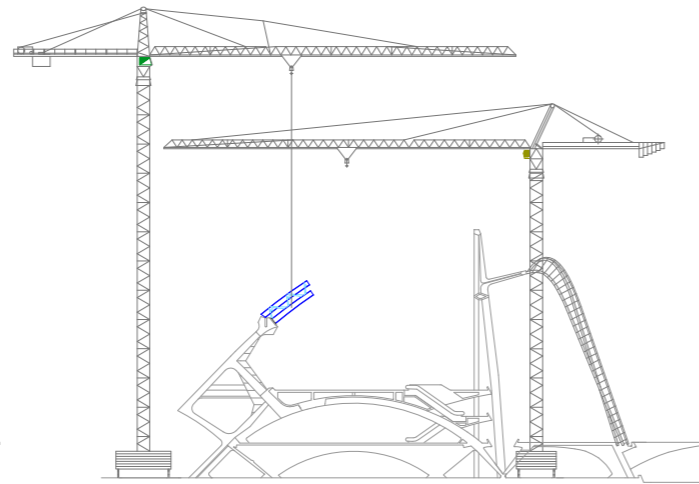


ORDEN DE MONTAJE DE LA CUBIERTA PREVISTO

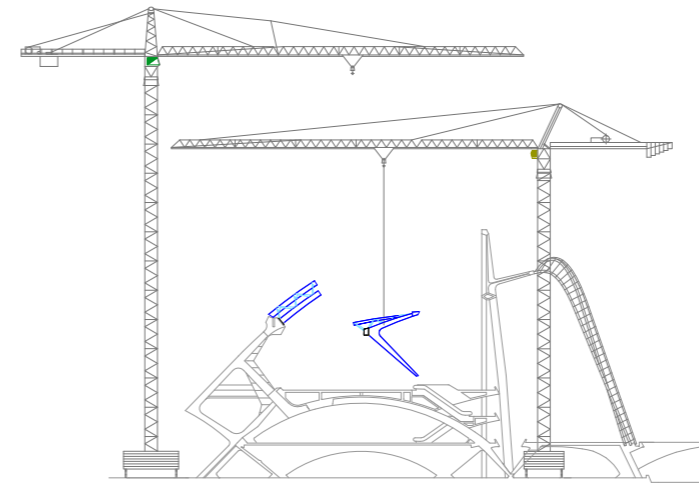
Según los planos facilitados por la empresa encargada de la realización de la estructura metálica



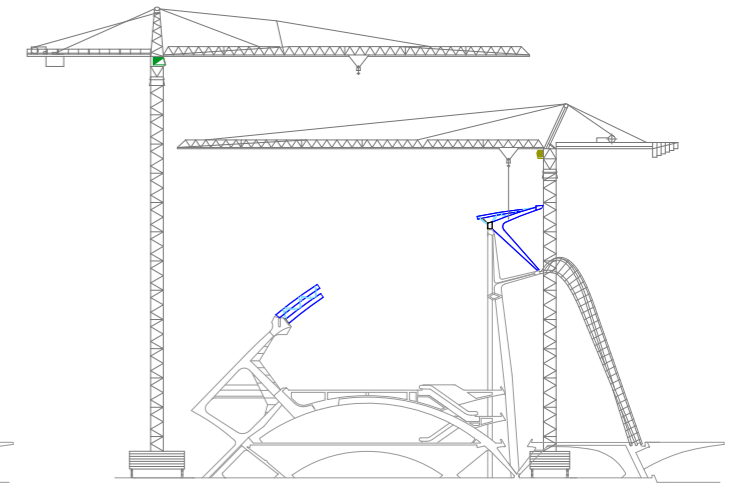
FASE 1
IZADO PARTE SUR TRAMO CENTRAL



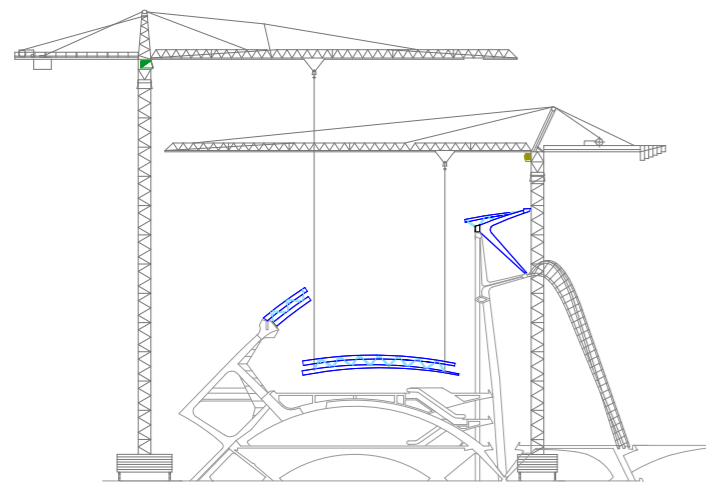
FASE 2
COLOCACIÓN PARTE SUR TRAMO CENTRAL



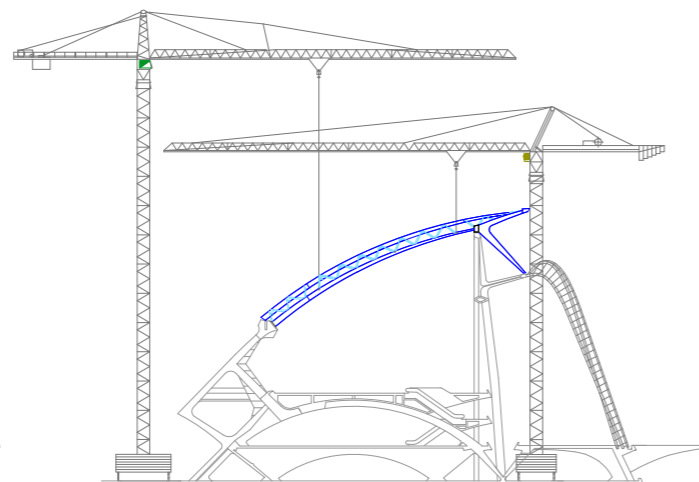
FASE 3
IZADO TRAMO NORTE



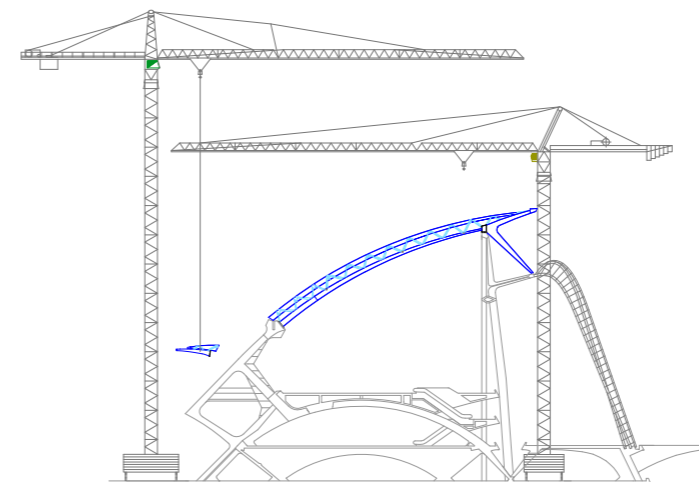
FASE 4
COLOCACIÓN TRAMO NORTE



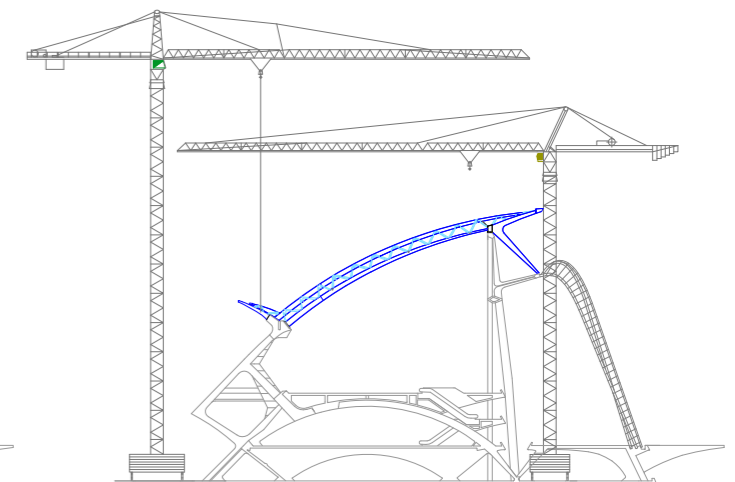
FASE 5
IZADO TRAMO CENTRAL



FASE 6
COLOCACIÓN TRAMO CENTRAL



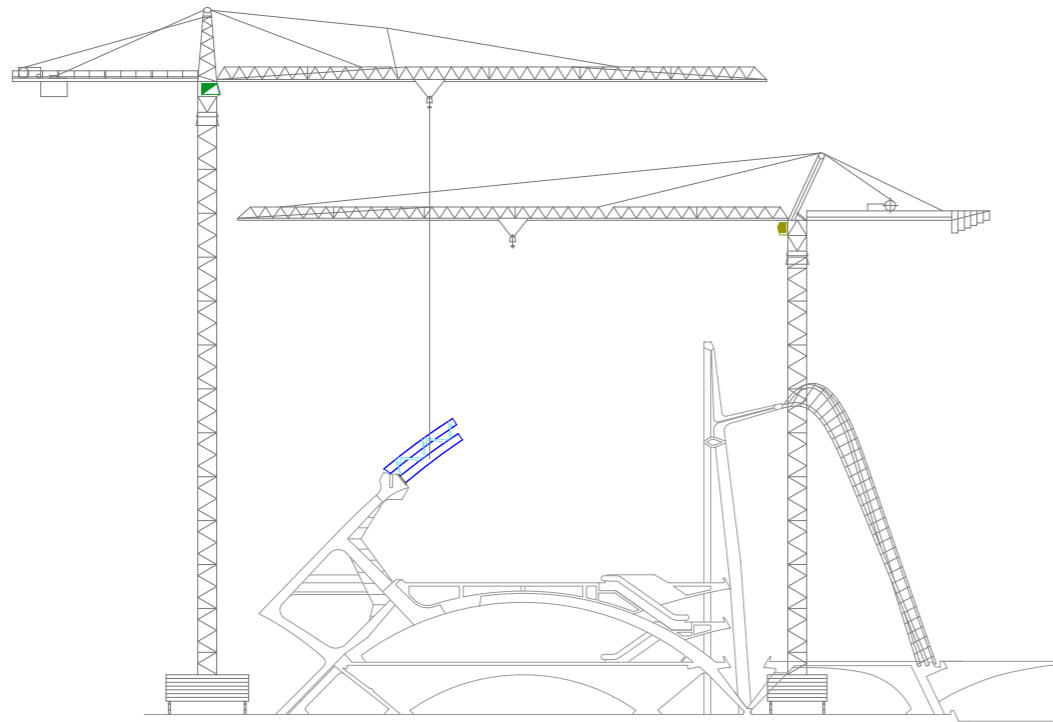
FASE 7
IZADO TRAMO SUR - PICO PATO



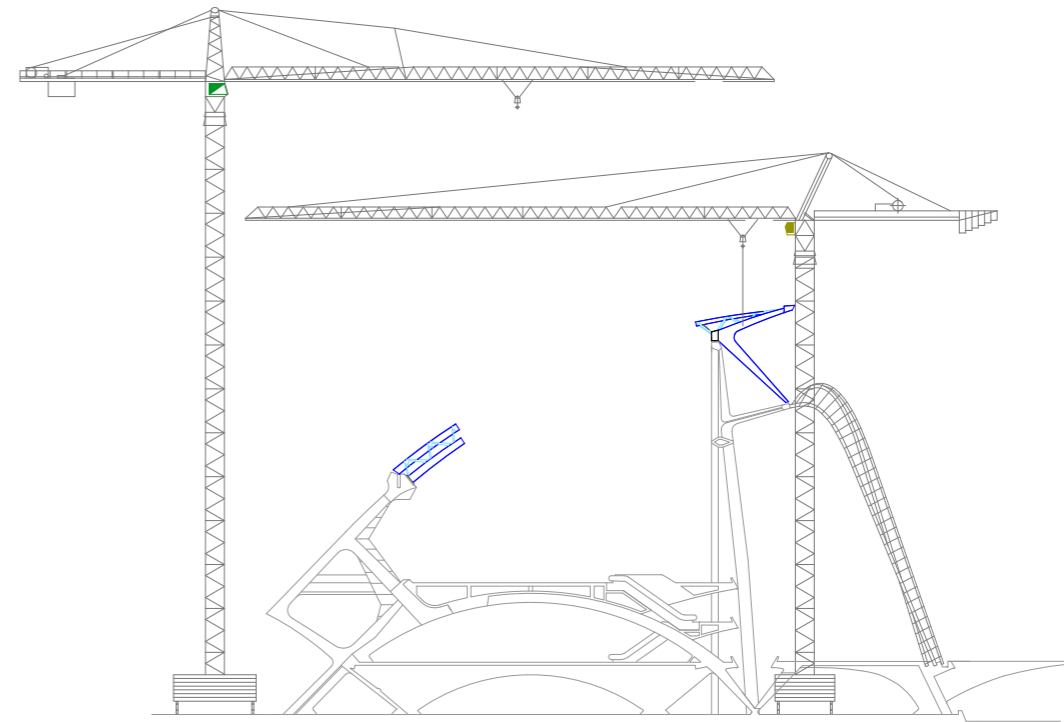
FASE 8
COLOCACIÓN TRAMO SUR - PICO PATO

1. Colocación placas de apoyo tramo sur sobre pernos ya embebidos en la sección de hormigón para recibir el tramo sur. Izado tramo sur mediante grúa torre sur.
2. Colocación tramo sur sobre placa de apoyo y se suelda a la placa. Finalizada la soldadura, se suelta la grúa.
3. Se colocan unos tirantes en las ramas prefabricadas de los árboles para recibir el mirador norte. Izado tramo norte mediante la grúa norte, el primer tramo se izará con los dos cajones de apoyo, mientras que los siguientes tramos se izarán solo con un cajón.
4. Se coloca en su posición y se une a la ramificación del árbol mediante un nudo articulado

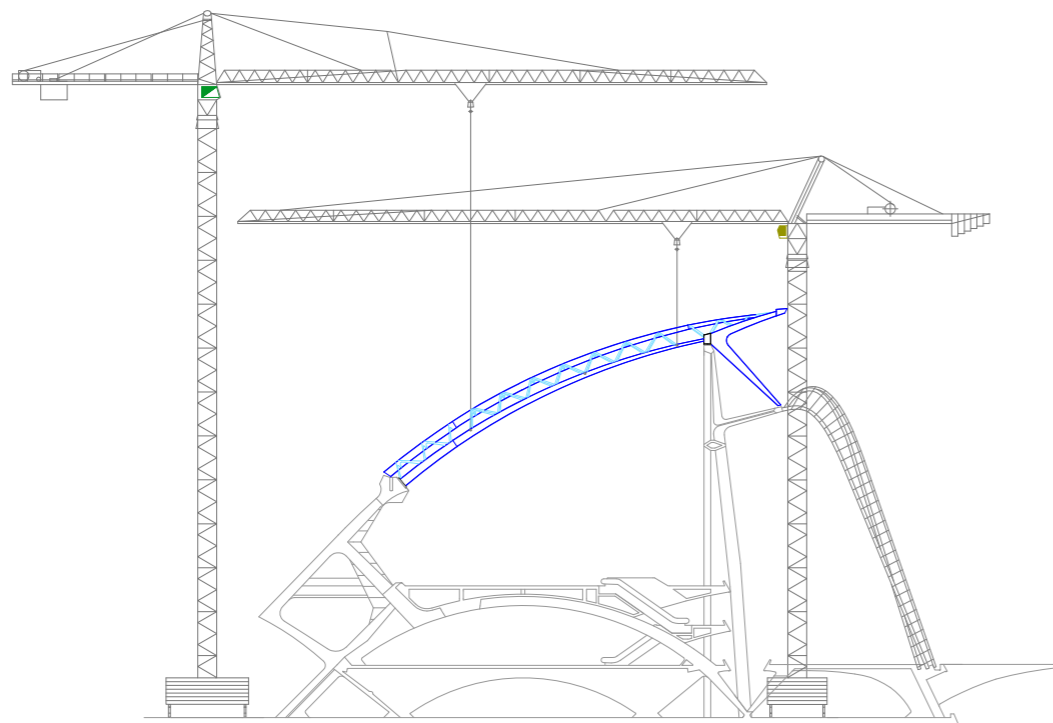
5. Con las dos grúas torres (sur y norte) se iza el tramo central
6. Se coloca el tramo central en su posición apoyando en el tramo sur y en unas chapas preparadas para su apoyo en el cajón (tramo norte).
7. Izado del pico pato.
8. Se coloca el pico pato en su posición, se suelda a la viga 2 del tramo sur y se ancla a la sección de hormigón mediante una placa de anclaje y pernos. Cuando esté colocado se soldarán cartelas para rigidizar la unión de la viga cajón y la placa de anclaje.



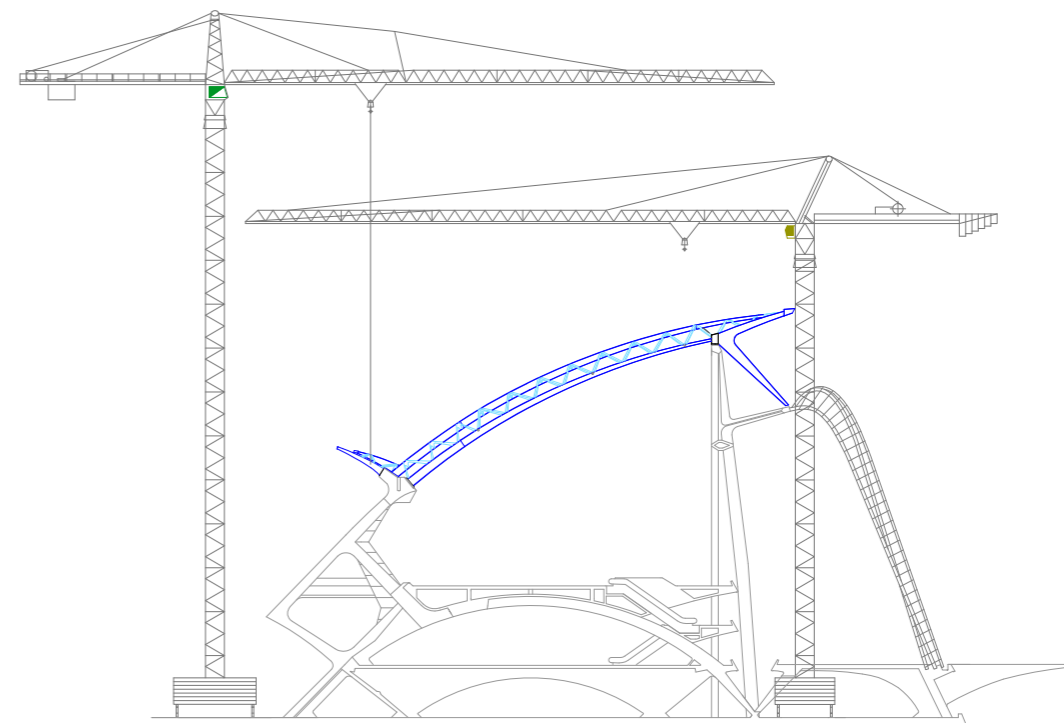
1. COLOCACIÓN PARTE SUR TRAMO CENTRAL



2. COLOCACIÓN TRAMO NORTE



3. COLOCACIÓN TRAMO CENTRAL

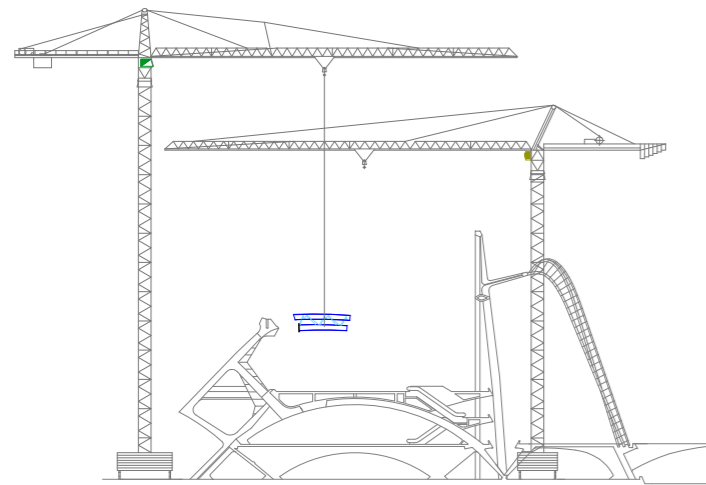


4. COLOCACIÓN TRAMO SUR - PICO PATO

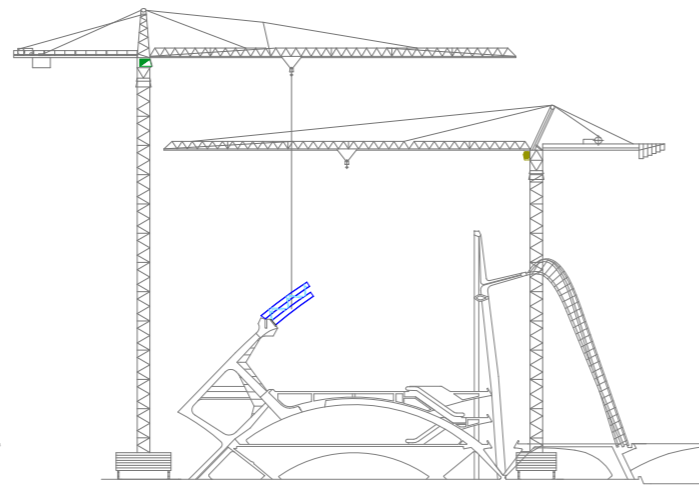


ORDEN DE MONTAJE DE LA CUBIERTA REALIZADO

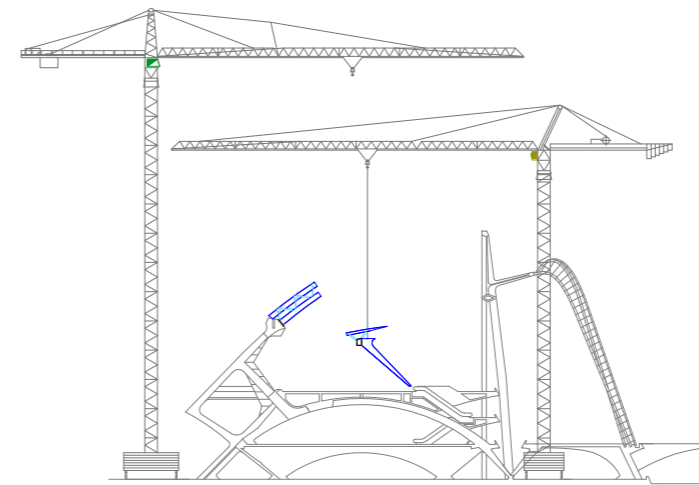
Según las fotos realizadas durante el proceso de montaje de la cubierta que dispongo



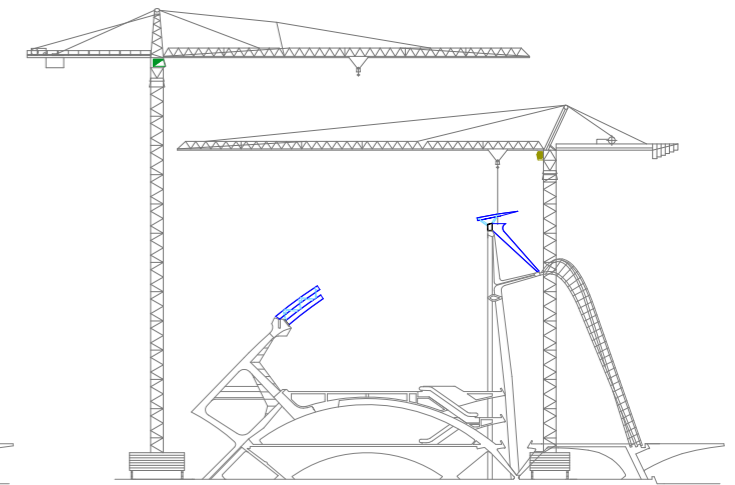
FASE 1
IZADO PARTE SUR TRAMO CENTRAL



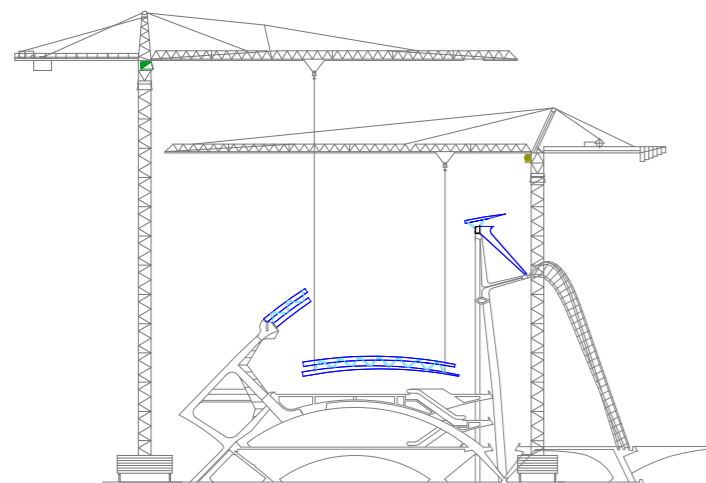
FASE 2
COLOCACIÓN PARTE SUR TRAMO CENTRAL



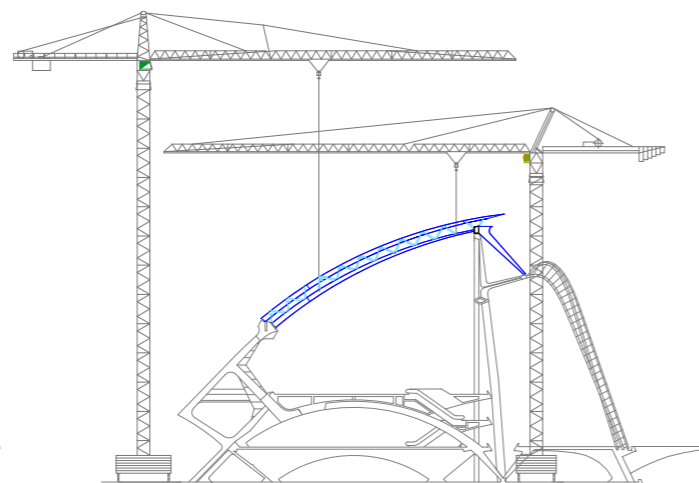
FASE 3
IZADO PARTE INFERIOR TRAMO NORTE



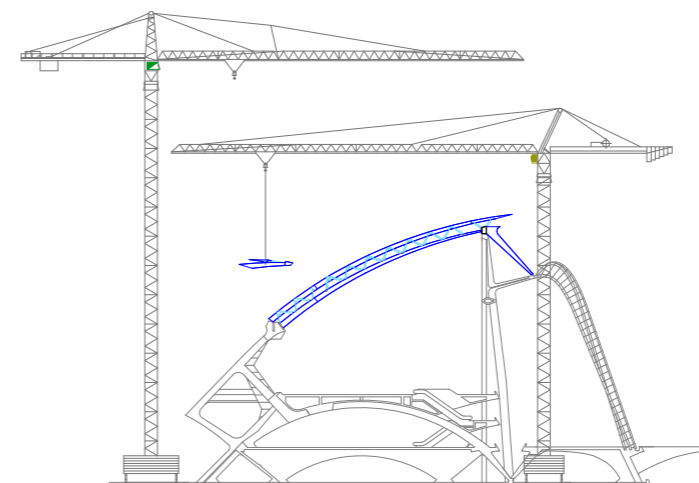
FASE 4
COLOCACIÓN PARTE INFERIOR TRAMO NORTE



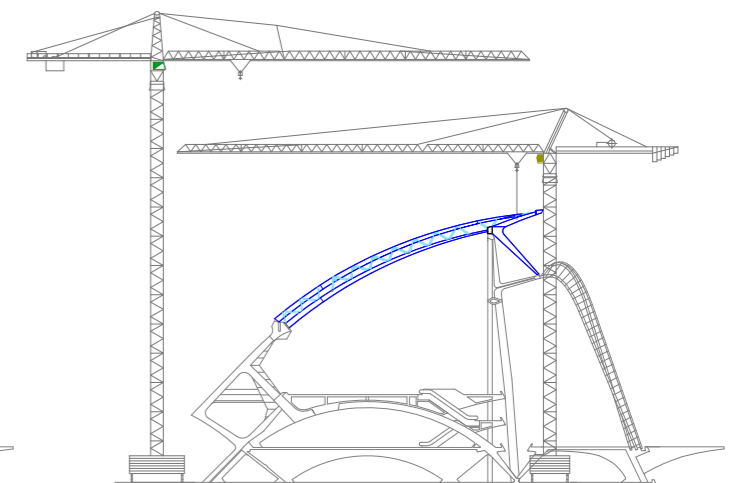
FASE 5
IZADO TRAMO CENTRAL



FASE 6
COLOCACIÓN TRAMO CENTRAL



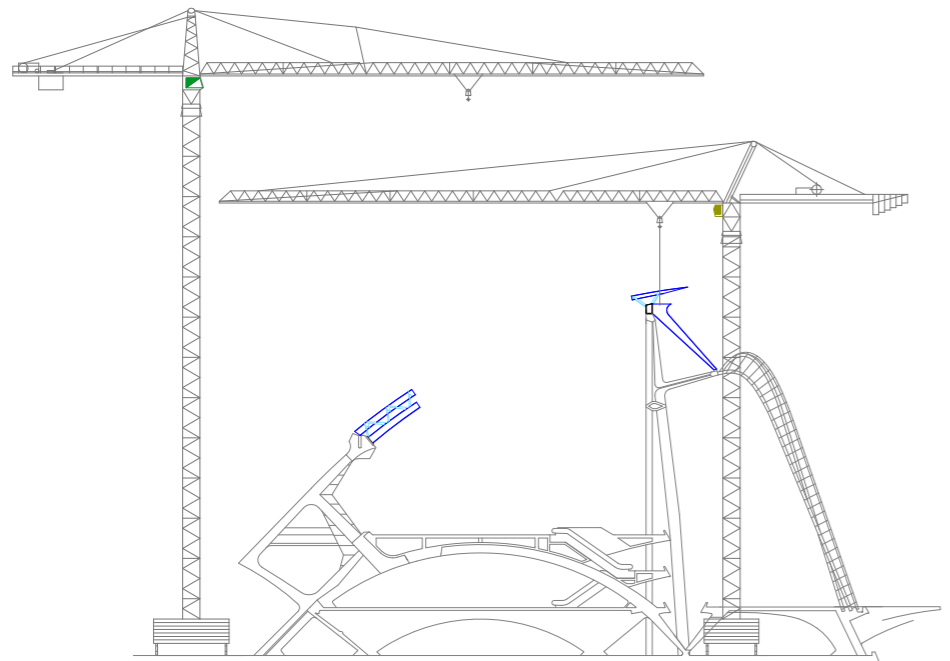
FASE 7
IZADO PARTE SUPERIOR TRAMO NORTE



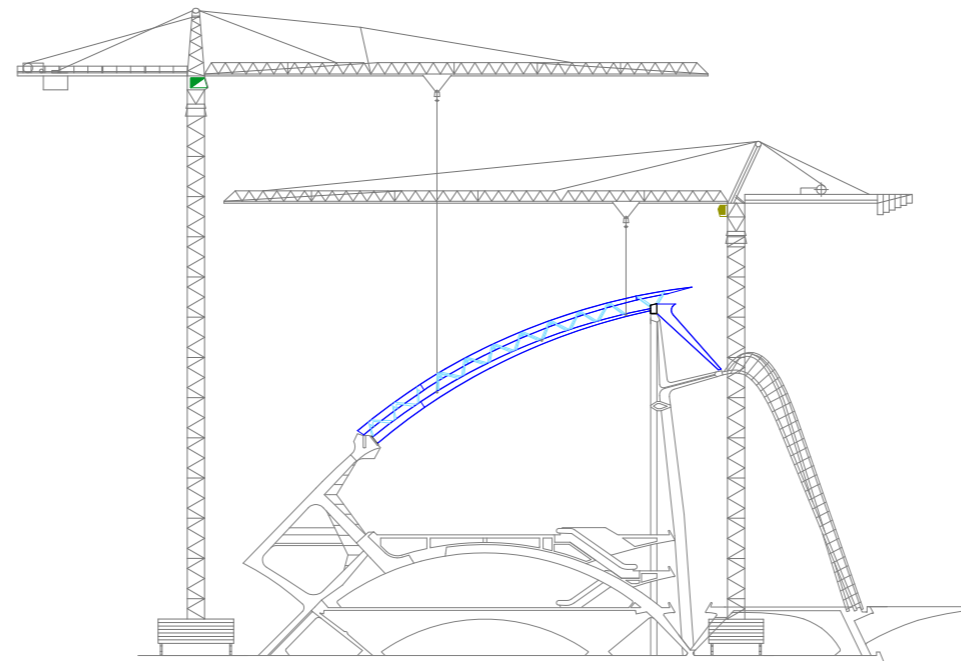
FASE 8
COLOCACIÓN PARTE SUPERIOR TRAMO NORTE

1. Colocación placas de apoyo tramo sur sobre pernos ya embebidos en la sección de hormigón para recibir el tramo sur. Izado tramo sur mediante grúa torre sur.
2. Colocación tramo sur sobre placa de apoyo y se suelda a la placa. Finalizada la soldadura, se suelta la grúa.
3. Se colocan unos tirantes en las ramas prefabricadas de los árboles para recibir el mirador norte. Izado tramo norte inferior mediante la grúa norte, el primer tramo se izará con los dos cajones de apoyo, mientras que los siguientes tramos se izarán solo con un cajón.
4. Se coloca en su posición y se une a la ramificación del árbol mediante un nudo articulado.

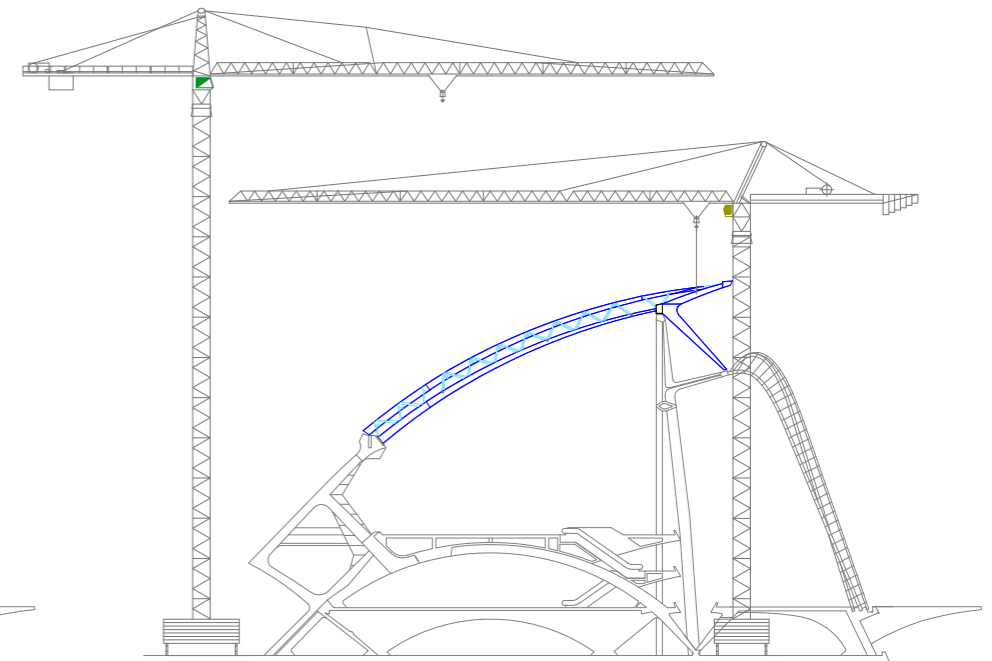
5. Con las dos grúas torres (sur y norte) se iza el tramo central
6. Se coloca el tramo central en su posición apoyando en el tramo sur y en unas chapas preparadas para su apoyo en el cajón (tramo norte).
7. Izado tramo norte superior.
8. Se coloca el tramo norte superior recibiendo a su mitad inferior y al tramo central.
9. Izado y colocación de pico pato, se une al tramo central por medio de la viga 2 y a la sección de hormigón con placa de anclaje.



2. COLOCACIÓN PARTE INFERIOR TRAMO NORTE



3. COLOCACIÓN TRAMO CENTRAL



4. COLOCACIÓN PARTE SUPERIOR TRAMO NORTE



ORDEN MONTAJE CUBIERTA [2ª OPCIÓN]

- 1.** Colocación placas de apoyo tramo sur sobre pernos ya embebidos en la sección de hormigón para recibir el tramo sur. Izado tramo sur mediante grúa torre sur.
- 2.** Colocación tramo sur sobre placa de apoyo y se suelda a la placa. Finalizada la soldadura, se suelta la grúa.
- 3.** Se colocan unos tirantes en las ramas prefabricadas de los árboles para recibir el mirador norte. Izado tramo norte inferior mediante la grúa norte, el primer tramo se izará con los dos cajones de apoyo, mientras que los siguientes tramos se izarán solo con un cajón.
- 4.** Se coloca en su posición y se une a la ramificación del árbol mediante un nudo articulado. El cajón se apoya en la parte superior del pilar.
- 5.** Con las dos grúas torres (sur y norte) se iza el tramo central.
- 6.** Se coloca el tramo central en su posición apoyando en el tramo sur y en unas chapas preparadas para su apoyo en el cajón (tramo norte). Se sueldan las diagonales que faltan entre los dos tramos.
- 7.** Izado tramo norte superior.
- 8.** Se coloca el tramo norte superior recibiendo a su mitad inferior y al tramo central. Se sueldan las diagonales que faltan entre los dos tramos.
- 9.** Izado y colocación de pico pato, se une al tramo central por medio de la viga 2 y a la sección de hormigón con placa de anclaje. Se rigidiza la unión con chapas en la viga 2 y se colocan las diagonales que faltan. Finalmente se colocan cartelas entre la placa de anclaje y la viga cajón.
- 10.** Se repite el mismo proceso para los siguientes módulos de cubierta. Los módulos contiguos además apoyarán en las chapas dispuestas en las alas de la viga 1. Cuando estén en su posición se unirán las dos vigas 1 contiguas mediante estas chapas.





MEDIOS AUXILIARES EJECUCIÓN ESTRUCTURA CUBIERTA

**GRÚAS TORRE DESPLAZABLES
POTAIN-TOPKIT MD 600**
-ALTIMA BAJO GANCHO: 61,86 m
-ALCANCE: 71 m
-CARGAS: R30 m - 20T / R45 m - 12T

IMENASA - 600 HC
-ALTIMA BAJO GANCHO: 82,20 m
-ALCANCE: 71 m
-CARGAS: R30 m - 15,5T / R45 m - 10T

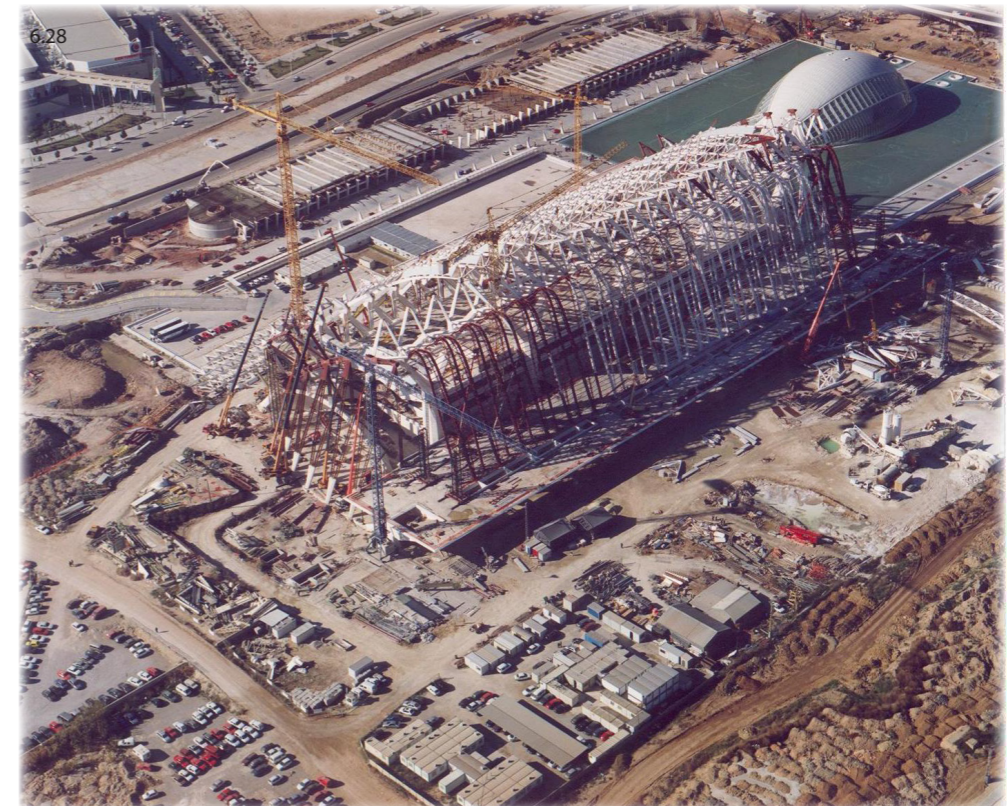
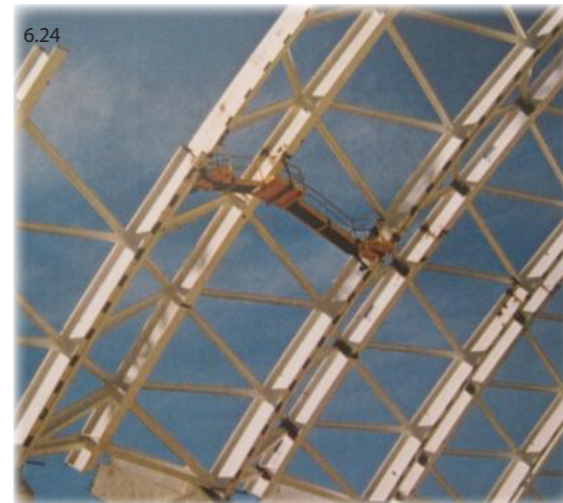
**GRÚA TORRE
GRÚA LC 8652**
-ALTIMA BAJO GANCHO: 45 m
-ALCANCE: 48,50 m

GRUAS AUTODESMONTABLES

GRÚAS MÓVILES AUTO PROPULSADAS

PLATAFORMAS ELEVADORAS MOVILES

ANDAMIO ESPECIAL COLGADO [PASARELA]
Andamio especial colgado del módulo de cubierta (vigas 1 y 2). Fabricado por la empresa encargada de la ejecución de la estructura de cubierta. El andamio se desplaza a lo largo del módulo de cubierta para realizar las soldaduras en obra.



ACERO S355J2G3 (ST 52-3)

Acero al carbono-manganeso, empleados principalmente en el sector de la construcción, construcciones mecánicas y para piezas de maquinaria en general.

EQUIVALENCIA ENTRE DISTINTAS NORMAS

EN10025(93)	DIN17100(87)
S355J2G3	ST 52-3

COMPOSICION QUIMICA %

	C	Mn	P	S	Si
S355J2G3	≤0.21	≤1.60	≤0.040	≤0.035	≤0.55

CARACTERISTICAS MECÁNICAS (N/mm²)

	Límite elástico	Tensión rotura	Alargamiento %
S355J2G3	≥275	410-560	≥19

APLICACIONES

Piezas que precisen de una resistencia de 52 a 70 kg /mm² y que al mismo tiempo deban ser fácilmente soldables y mecanizables. En calderería en general, estructuras, remolques, carrocerías, grúas, ventiladores, depósitos, cisternas, turbinas, puentes,... Buenas condiciones para el conformado en frío, es aconsejable proceder al plegado perpendicular al sentido de la laminación.

LOS CUELLOS DE SOLDADURA QUE SE REALIZARON FUERON:



0,5 x Espesor mínimo

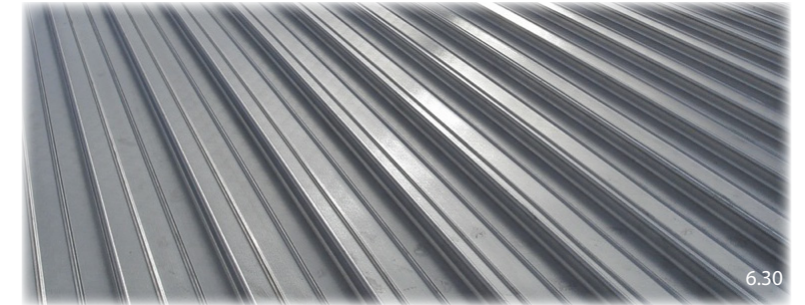
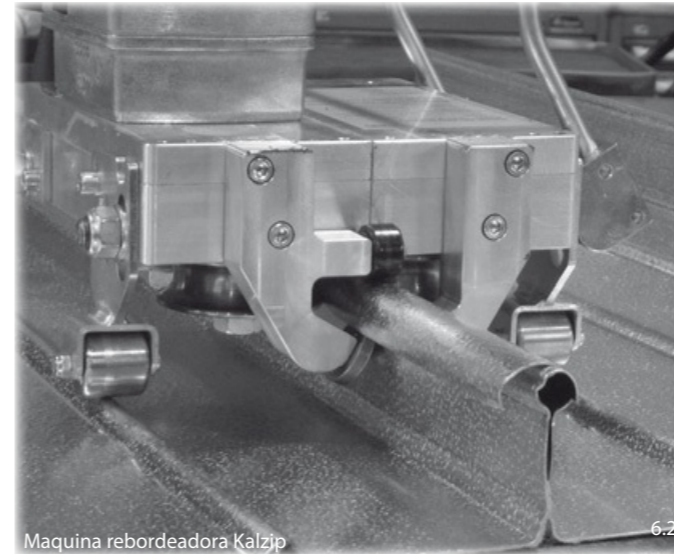
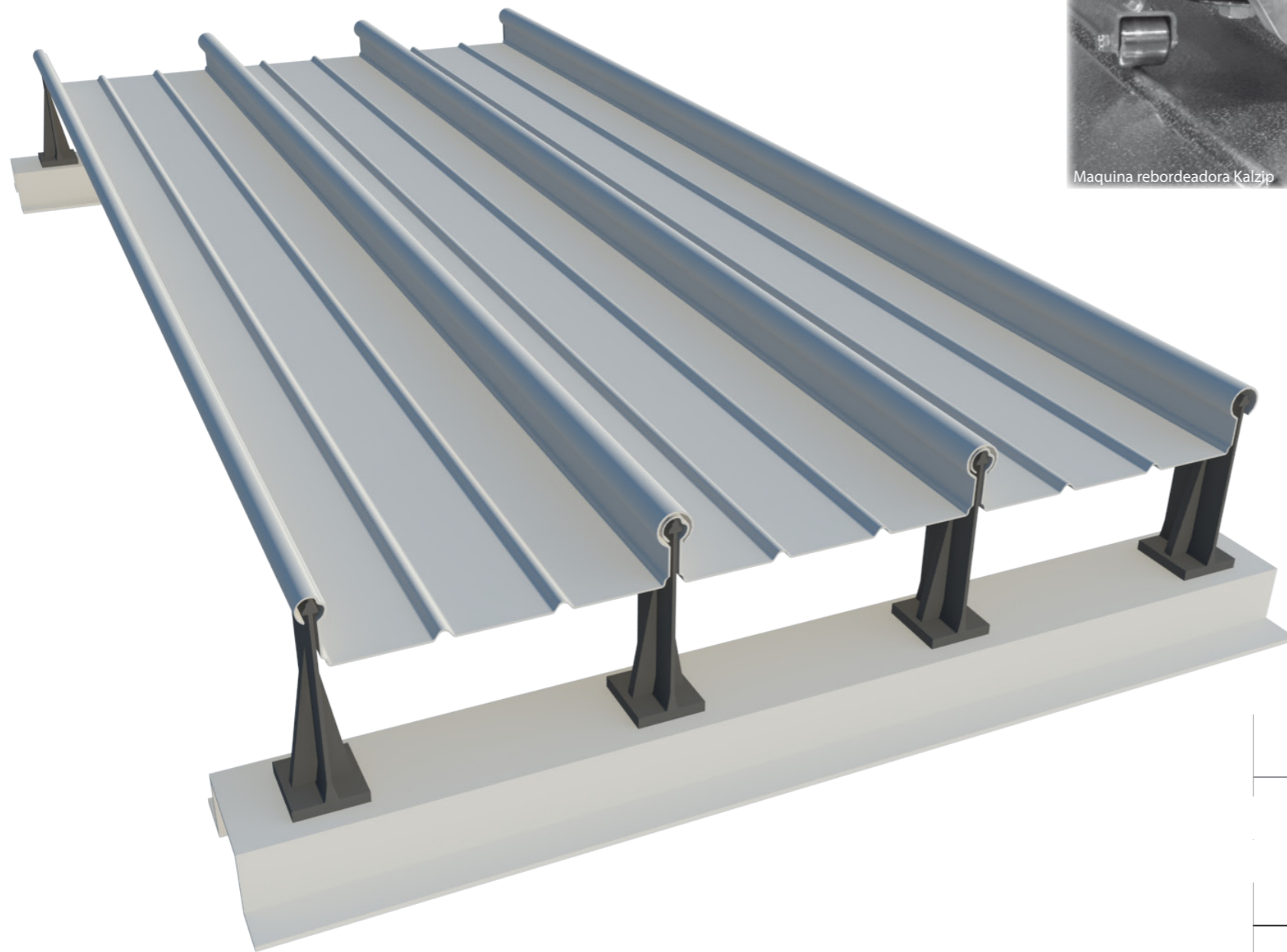


0,7 x Espesor mínimo

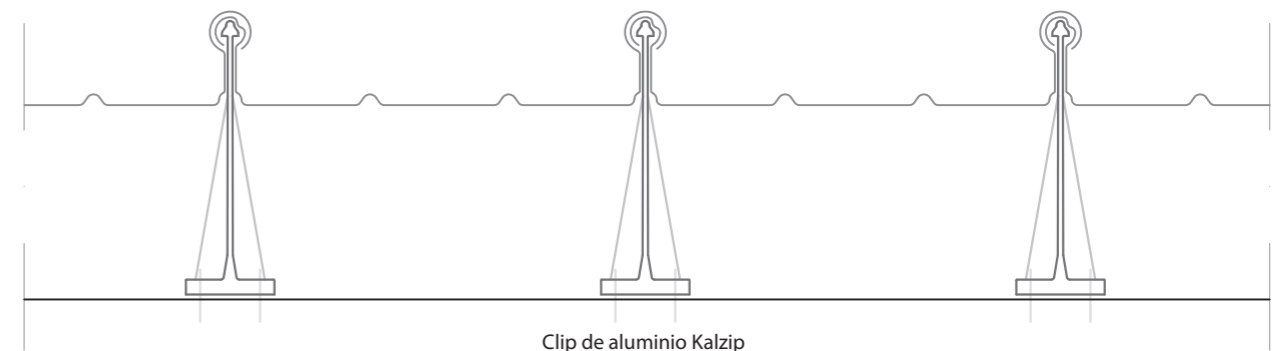
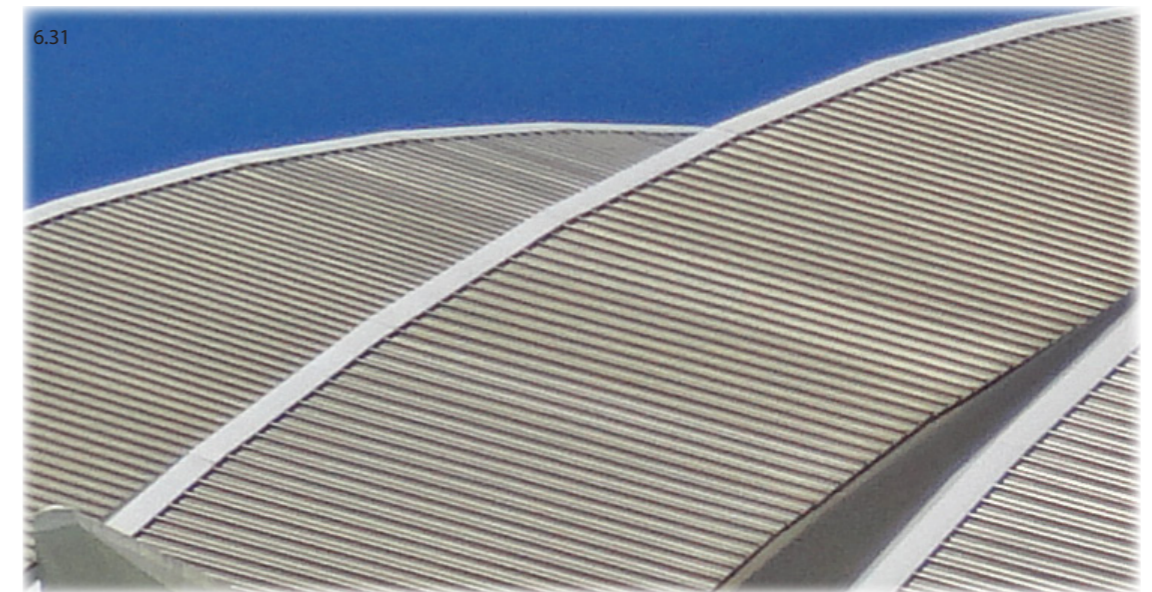


SISTEMA CERRAMIENTO CUBIERTA KALZIP

El sistema de cubierta Kalzip utiliza unos clips especiales de aluminio para unir las bandejas perfiladas con la subestructura, estos clips encajan con las aletas rebordeadas de las bandejas y se solapan con la siguiente. Así los elementos de fijación quedan ocultos debajo de la cubierta y no la perforan. De este modo se garantiza una estanquidad máxima frente a la lluvia. Los clips permiten las dilataciones que se presentan con las variaciones de temperatura. La cabeza del clip está preparada de tal modo que no impide la dilatación longitudinal de la bandeja perfilada. Así, también se pueden utilizar longitudes de bandeja grandes.



La máquina rebordeadora de Kalzip se utiliza para unir las bandejas contiguas a las cabezas de los clips. Esta máquina presiona las aletas rebordeadas de las bandejas a los clips de forma que las bandejas se quedan sujetas sin necesidad de utilizar elementos de fijación que perforan la cubierta.





CUBIERTA KALZIP

Instalación: IBER-AIS, S.L.

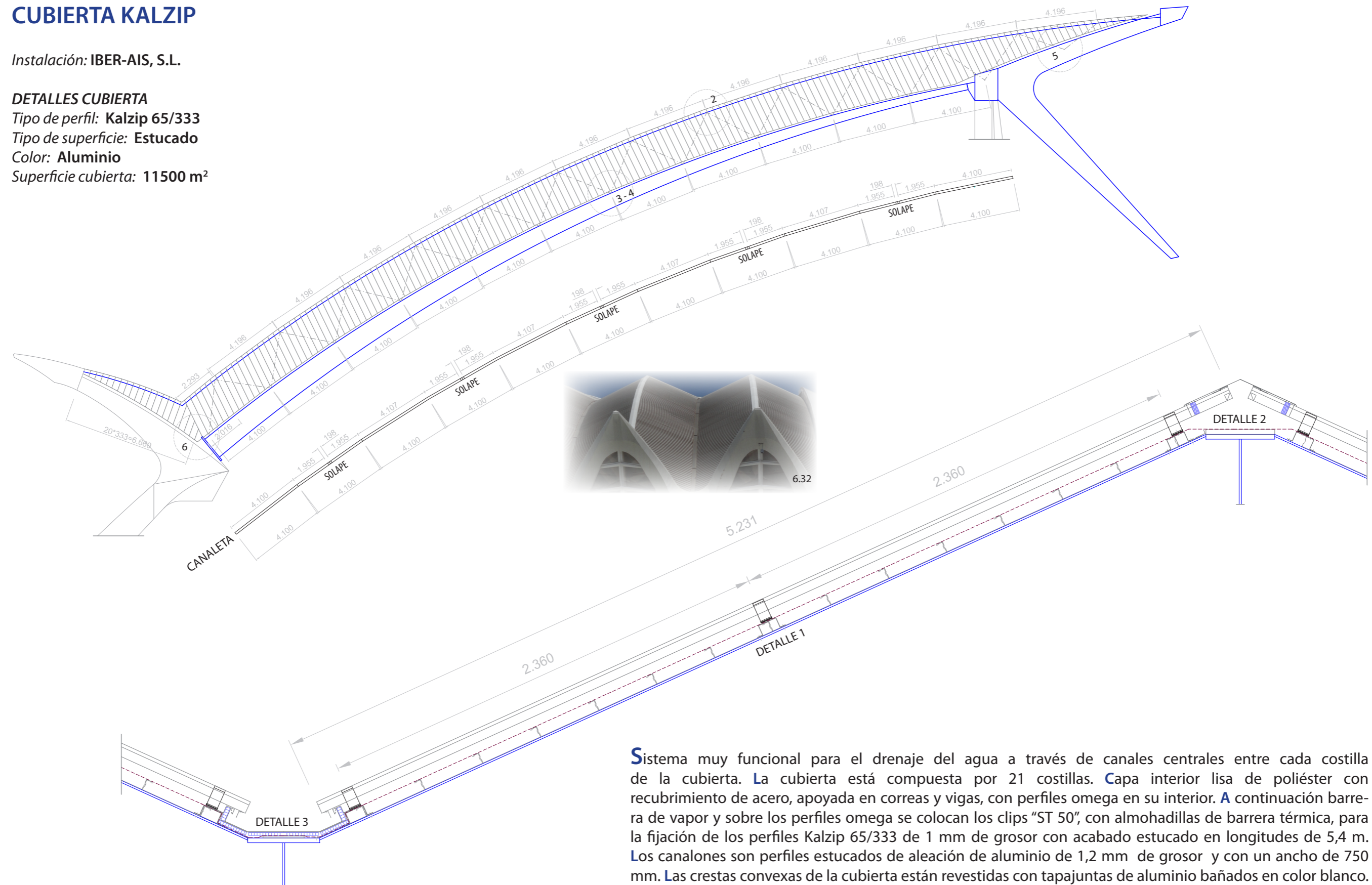
DETALLES CUBIERTA

Tipo de perfil: Kalzip 65/333

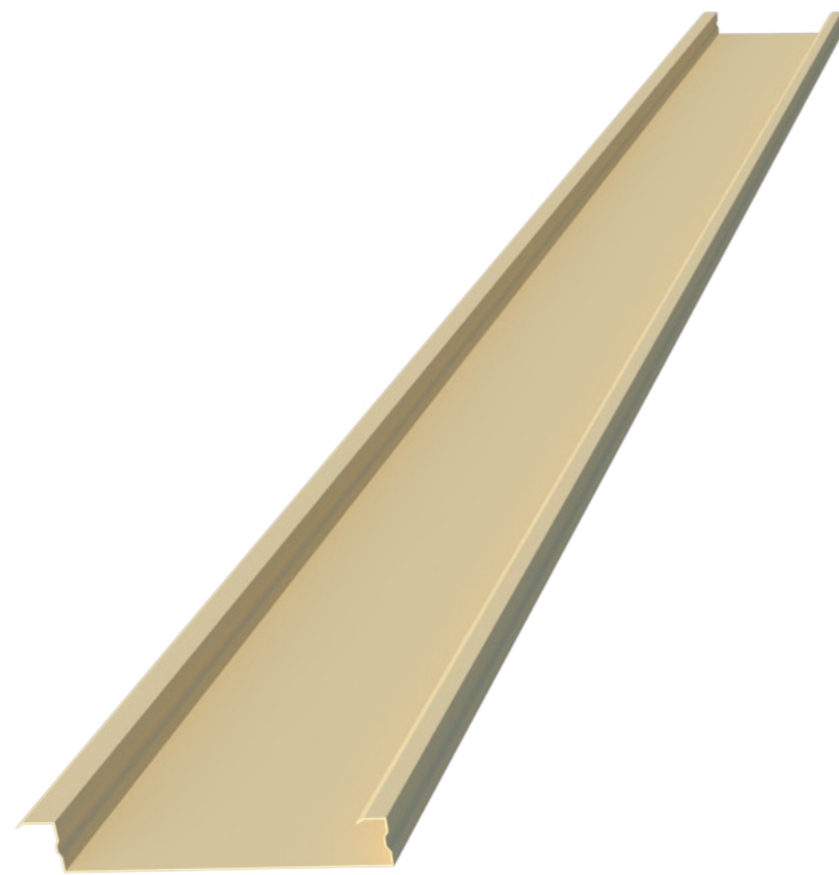
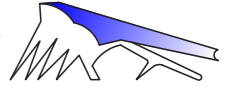
Tipo de superficie: Estucado

Color: Aluminio

Superficie cubierta: 11500 m²



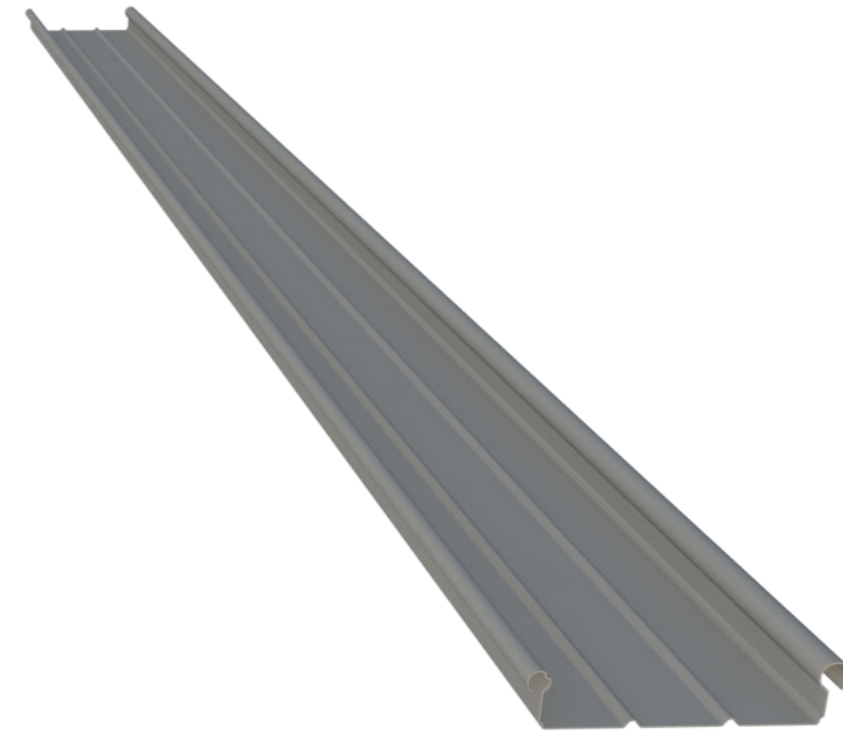
Sistema muy funcional para el drenaje del agua a través de canales centrales entre cada costilla de la cubierta. La cubierta está compuesta por 21 costillas. Capa interior lisa de poliéster con recubrimiento de acero, apoyada en correas y vigas, con perfiles omega en su interior. A continuación barrera de vapor y sobre los perfiles omega se colocan los clips "ST 50", con almohadillas de barrera térmica, para la fijación de los perfiles Kalzip 65/333 de 1 mm de grosor con acabado estucado en longitudes de 5,4 m. Los canalones son perfiles estucados de aleación de aluminio de 1,2 mm de grosor y con un ancho de 750 mm. Las crestas convexas de la cubierta están revestidas con tapajuntas de aluminio bañados en color blanco.



BANDEJA POLIÉSTER CON RECUBRIMIENTO DE ACERO



PERFIL OMEGA



BANDEJA KALZIP 65/333 DE 1 MM DE GROSOR CON ACABADO ESTUCADO

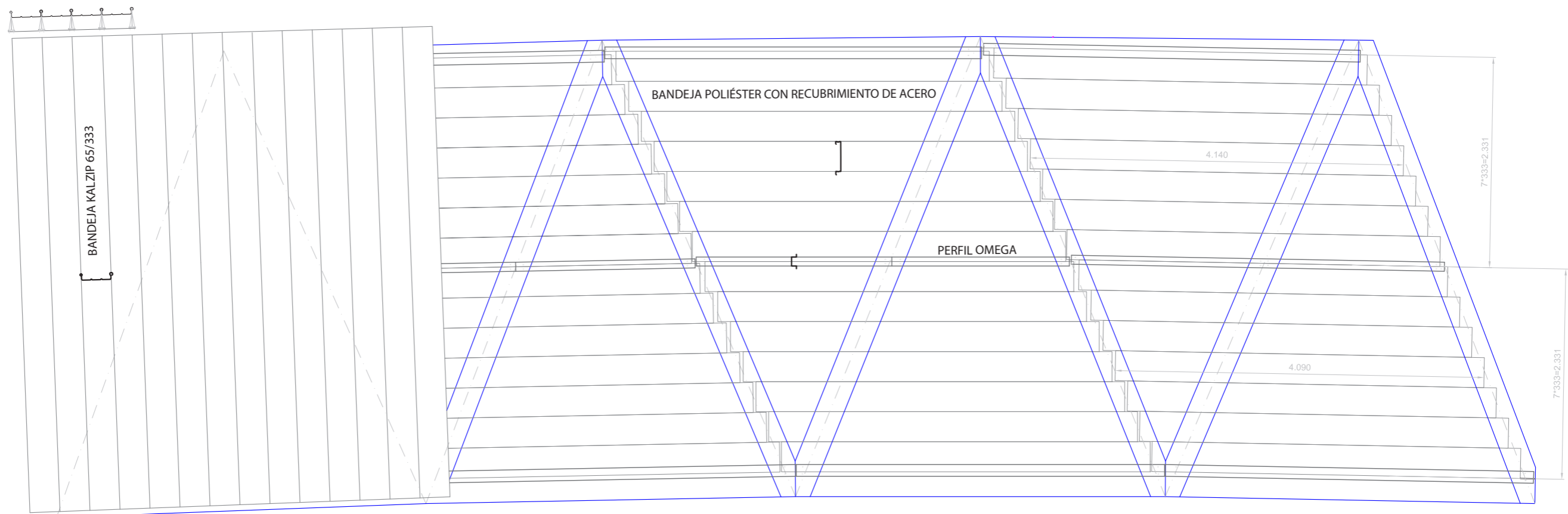
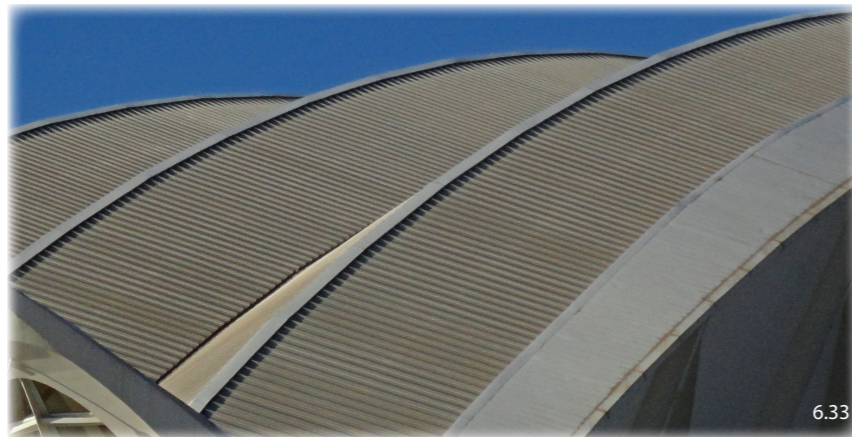


CLIP ALUMINIO "ST 50"



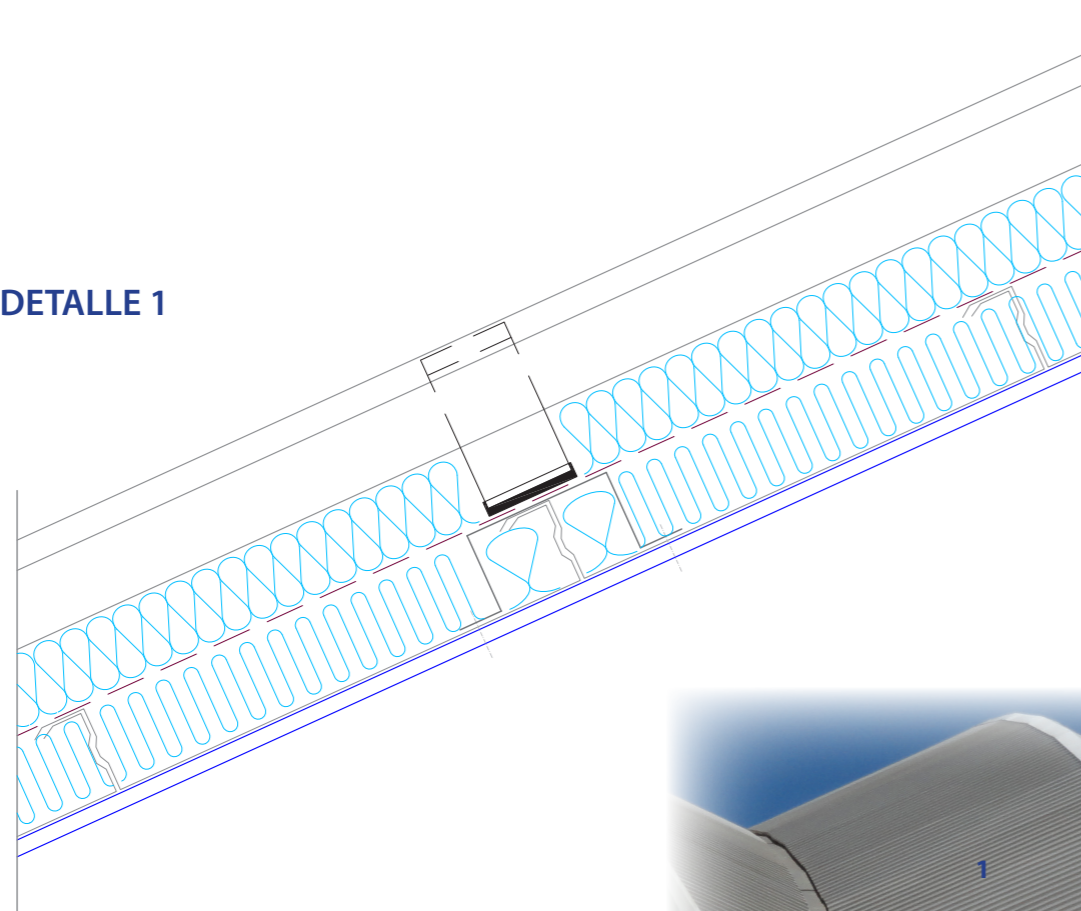
ORDEN DE COLOCACIÓN SISTEMA KALZIP

1. COLOCACIÓN BANDEJAS LISAS DE POLIÉSTER CON RECUBRIMIENTO DE ACERO APOYADA EN VIGAS Y CORREAS (APOYADAS CADA 2 CORREAS).
2. COLOCACIÓN PERFILES OMEGA EN EL INTERIOR DE LAS BANDEJAS DE POLIÉSTER CON RECUBRIMIENTO DE ACERO (APOYADAS CADA 2 CORREAS), SE COLOCARAN TRES PERFILES OMEGA POR CADA PAÑO (AGUA) DE LA CUBIERTA.
3. COLOCACIÓN AISLAMIENTO TÉRMICO ENTRE LAS BANDEJAS DE POLIÉSTER CON RECUBRIMIENTO DE ACERO.
4. COLOCACIÓN BARRERA DE VAPOR.
5. COLOCACIÓN CLIPS "ST 50" ENCIMA DE CADA CORREA, SEPARADOS POR LA DISTANCIA ESTABLECIDA POR LAS BANDEJAS KALZIP 65/333.
6. COLOCACIÓN AISLAMIENTO TÉRMICO SOBRE BARRERA DE VAPOR.
7. COLOCACIÓN DE BANDEJAS KALZIP 65/333 SOBRE LOS CLIPS "ST 50", LAS BANDEJAS CONTIGUAS SE SOLAPARAN Y SE UNIRÁN CON LA MAQUINA REBORDEADORA A LA BANDEJA CONTIGUA Y A LOS CLIPS.

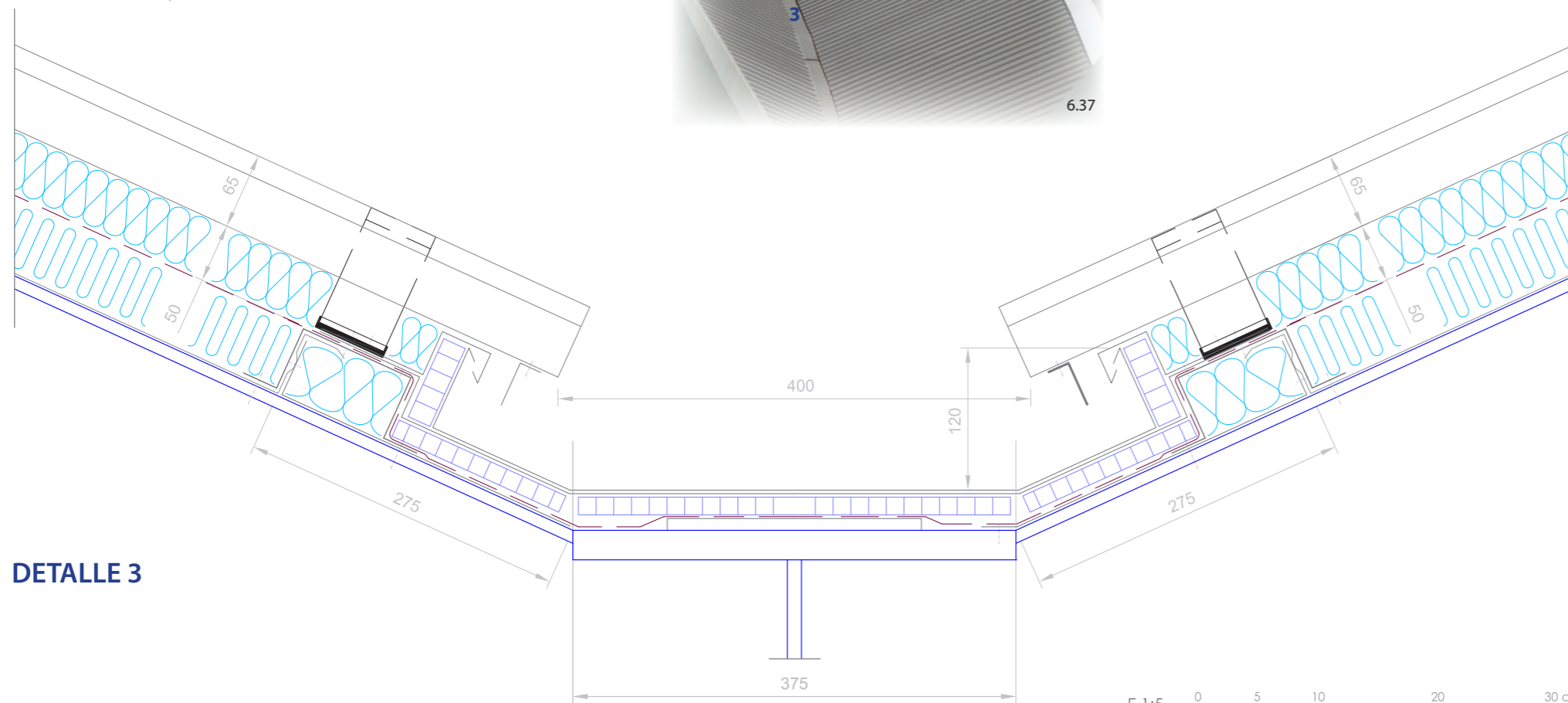
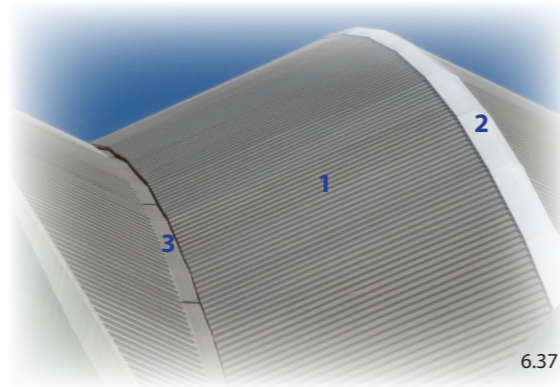
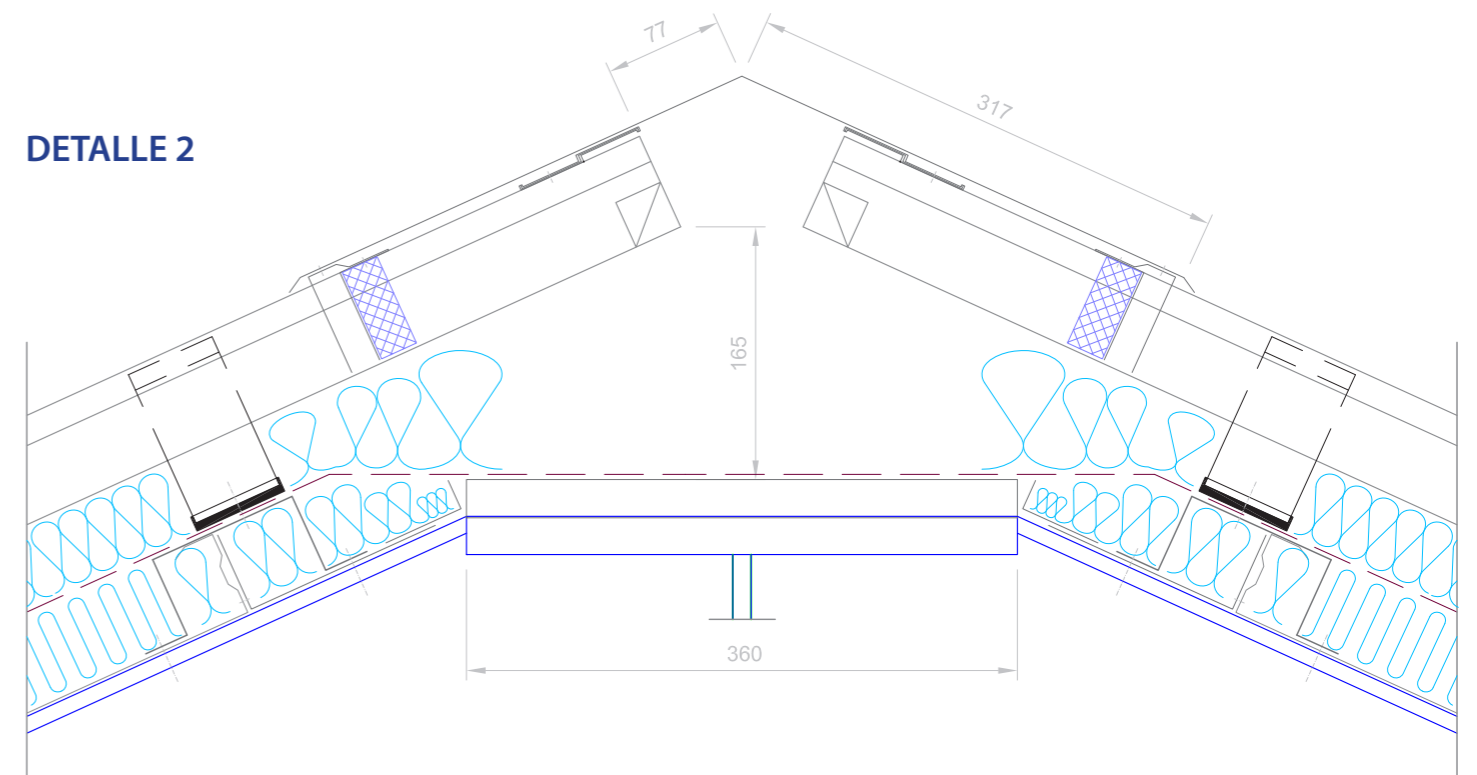




DETALLE 1



DETALLE 2



DETALLE 3

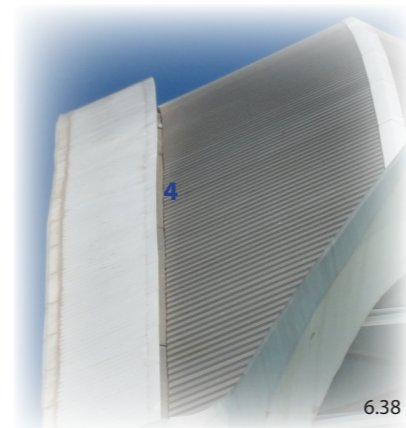
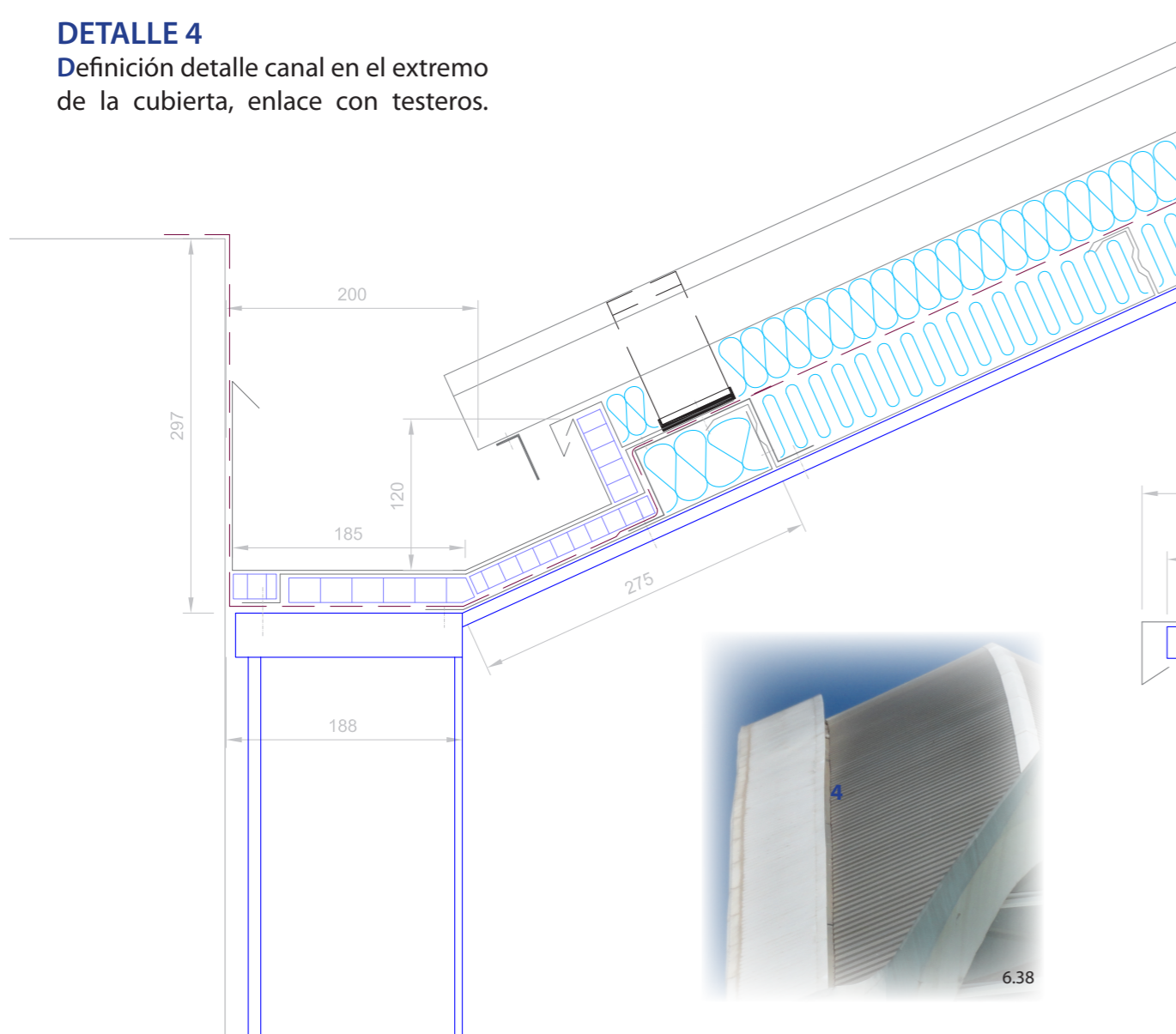
- Clip "ST 50"
- Perfil omega
- Chapas
- Bandeja poliéster con recubrimiento de acero
- Bandeja Kalzip 65/333
- Barrera de vapor
- Aislamiento térmico resistente impactos
- Aislamiento térmico

E 1:5 0 5 10 20 30 cm



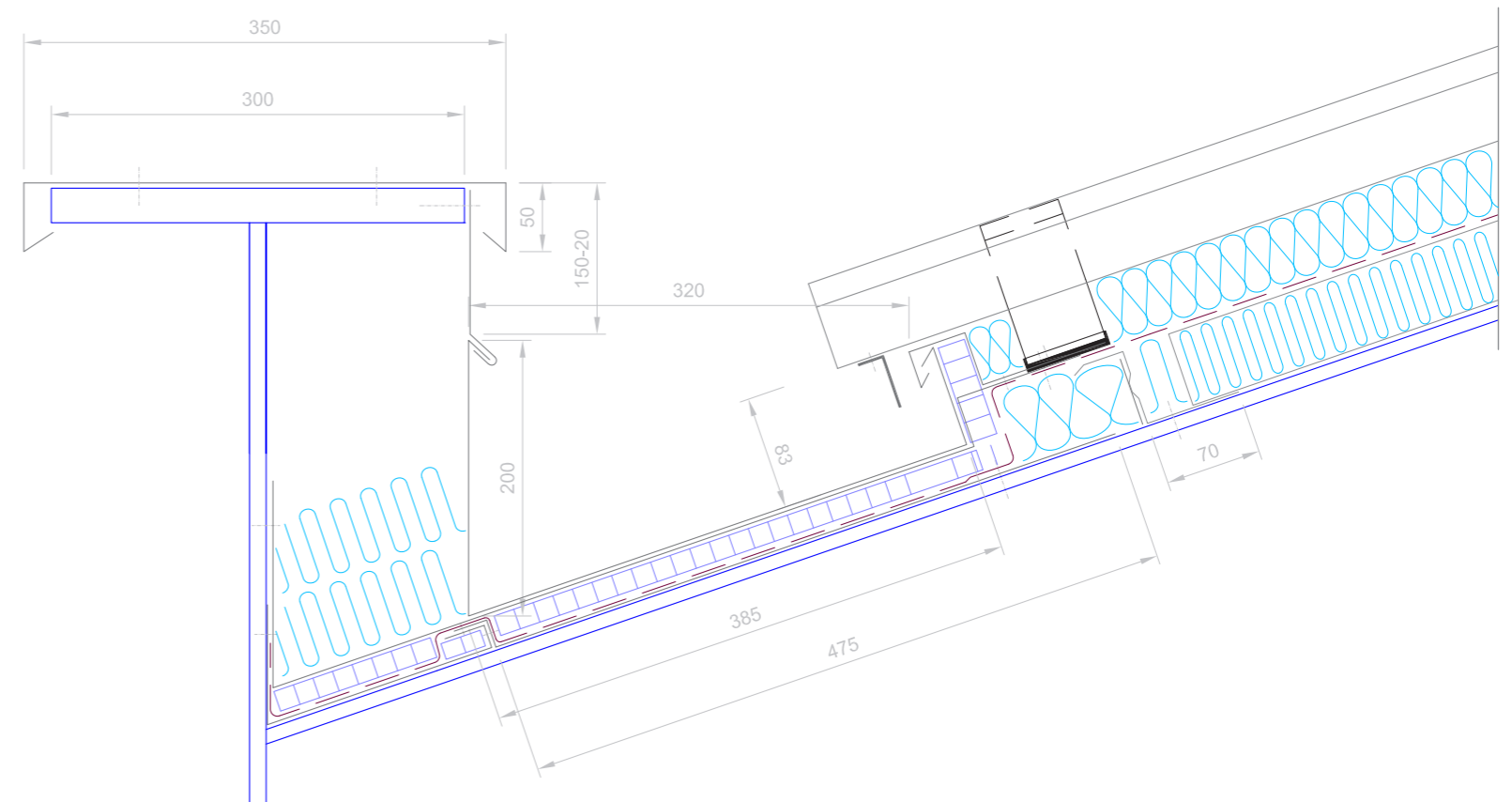
DETALLE 4

Definición detalle canal en el extremo de la cubierta, enlace con testeros.

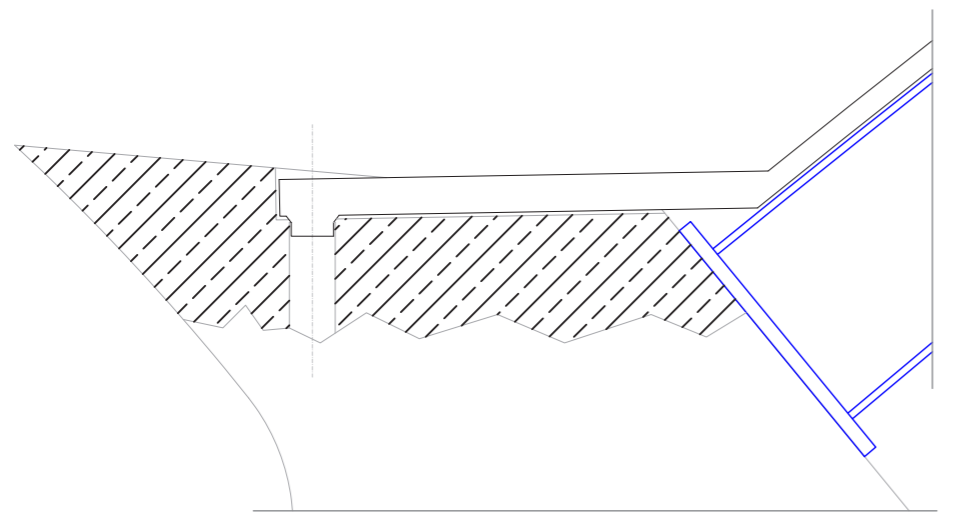


DETALLE 5

Definición detalle canal tramo norte.



E 1:5 0 5 10 20 30 cm



DETALLE 6

Canal evacuación de aguas en fachada sur. La bajante esta embebida en la sección de hormigón.

E 1:40 0 0.5 1 2m

MEDIOS AUXILIARES
EJECUCIÓN ESTRUCTURA CUBIERTA

GRÚAS TORRE DESPLAZABLES
POTAIN-TOPKIT MD 600
-ALTURA BAJO GANCHO: 61,86 m
-ALCANCE: 71 m
-CARGAS: R30 m - 20 T / R45 m - 12 T

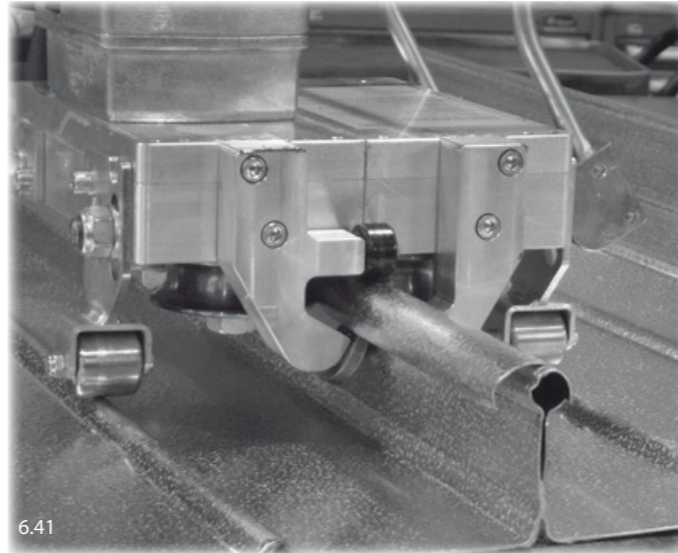
IMENASA - 600 HC
-ALTURA BAJO GANCHO: 82,20 m
-ALCANCE: 71 m
-CARGAS: R30 m - 15,5T / R45 m - 10 T

GRÚA TORRE
GRÚA LC 8652
-ALTURA BAJO GANCHO: 45 m
-ALCANCE: 48,50 m

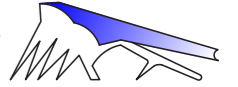
GRÚAS MÓVILES AUTO PROPULSADAS

PLATAFORMAS ELEVADORAS MOVILES

MAQUINA REBORDEADORA SISTEMA KALZIP



7 CONCLUSIONES



ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO

La cubierta es un faldón a un agua con forma de arco inclinado subdividido en 21 celosías a dos aguas, que además de cumplir su función de proteger al edificio, sigue sus líneas formando módulos iguales en su sección transversal que se repiten a lo largo de su eje longitudinal. Además estas celosías en forma de arco inclinado consiguen un espacio diáfano en su interior.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Los 21 módulos de cubierta se dividen en 2 partes simétricas, cada parte está formada por una porción de un tronco de cono oblicuo cortado por dos planos.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

La estructura metálica de cubierta descansa sobre la celosía modular de hormigón de la fachada sur con apoyos empotrados y sobre los pilares en forma de árbol con apoyos articulados, permitiendo el giro de la estructura sin desplazamiento. Las celosías cubren una luz de 45,5 m y están formadas por vigas armadas de sección variable (trianguladas entre si) cuya inercia se adapta los diagramas de esfuerzos/cargas.

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

Estructura metálica formada por vigas armadas de sección variable trianguladas. Su gran dimensión oblige a utilizar transportes especiales y a dividirla en diferentes partes para luego realizar su montaje en obra.

Sistema de cerramiento de cubierta apoyado en correas y vigas, formado por bandejas de aluminio que van desde la limatesa (cumbreira) a la limahoya (canal) de cada celosía con elementos de fijación ocultos. El drenaje se realiza entre celosías contiguas por medio de un canalón que evacua el agua por una bajante embebida en la sección de hormigón de la fachada sur.

La cubierta del museo de las ciencias es una superficie imponente con una forma inclinada curva, subdividida para evacuar y canalizar el agua protegiendo al edificio. Utiliza una estructura metálica que forma superficies de cono oblicuo entre arcos para conseguir una cubierta ligera capaz de cubrir una gran luz sin apoyos intermedios, consiguiendo así un espacio diáfano capaz de albergar en su interior los elementos que se deseen. El sistema de cerramiento empleado garantiza una estanqueidad máxima gracias a su sistema de fijación oculto. Sin embargo la cubierta no funciona correctamente, existen goteras en alguna zona de desagüé, pienso que es porque el diámetro de la bajante es insuficiente, por tanto no puede evacuar todo el agua. También podría ser debido a una mala ejecución o a un mantenimiento insuficiente.

Para concluir tengo que decir que después de todo lo estudiado en la carrera, la superficie analizada me ha generado muchas dudas desde el principio. Las superficies singulares que se estudian en este taller no son construcciones tradicionales que a simple vista sabemos como funcionan o como se han construido, sino superficies que precisan un análisis completo para entenderlas, además de conseguir información suficiente para definir todos los elementos. Así que espero que este proyecto sirva a las personas que lo lean para entender la superficie de la misma forma que yo la entendí.

BIBLIOGRAFÍA

CALATRAVA VALLS, Santiago, 2007, *Complete Works 1979-2007*, ed. Taschen, Philip Jodidio.

CALATRAVA VALLS, Santiago, 2001, *Sketchbooks*, ISBN 3764363231(O.C.), Basel, Birkhäuser.

SANCHIS SAMPEDRO, Francisco J., 2011, *TFM: Las formas del hormigón. Catálogo práctico de diseño*, [http://hdl.handle.net/10251/14740].

SANCHIS SAMPEDRO, Francisco J., 2012, *La geometría de las superficies arquitectónicas*, Diazotec.

PFG's 2011, *Taller 14. Superficies arquitectónicas singulares* [http://riunet.upv.es]

AGRADECIMIENTOS A

Mis profesores Rafael J. LIGORIT TOMÁS y Francisco J. SANCHIS SAMPEDRO por la ayuda en la elección de la superficie.

AMBROSIO LEAL, técnico comercial MEGUSA, METALURGIA DEL GUADALQUIVIR S.L.

JOSÉ ALIAGA URBÁN, técnico comercial de KALZIP SPAIN S.L.

Por la información proporcionada, sin ella hubiera sido muy difícil realizar el estudio constructivo de la cubierta del Museo de las Ciencias Príncipe Felipe.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

<http://www.cac.es>

<http://www.calatrava.com>

<http://www.turisvalencia.es>

<http://www.megusa.com>

<http://www.kalzip.com>

<http://www.skyscrapercity.com>

<http://www.urbanity.es>

<http://arquitecturamashistoria.blogspot.com.es>

<http://es.wikipedia.org>

<http://moreaesign.wordpress.com>

<http://www.artehistoria.jcyl.es>

<http://www.via-arquitectura.net>

<http://webdelprofesor.ula.ve>

EMPRESAS CONSULTADAS

MEGUSA
METALURGIA DEL GUADALQUIVIR S.L.



KALZIP SPAIN S.L.



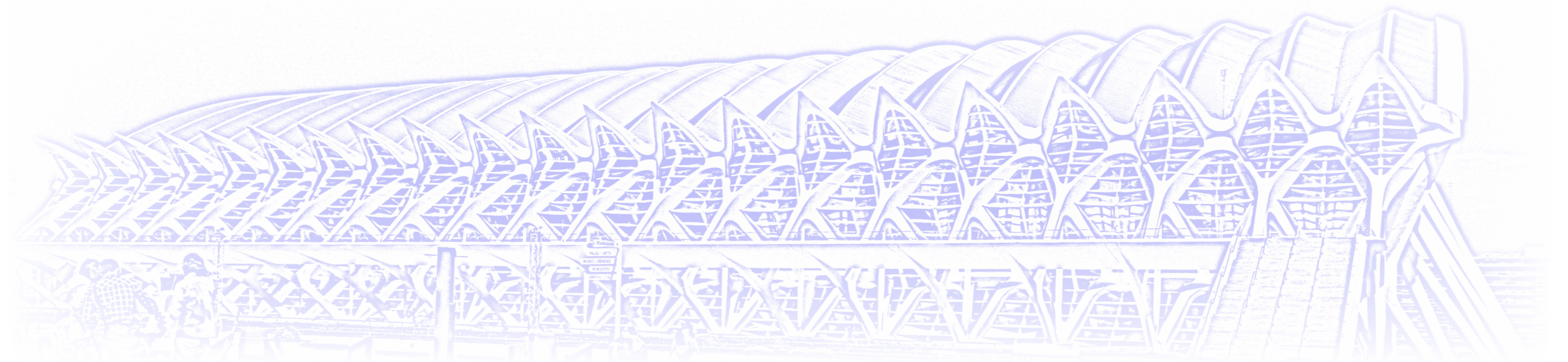


REFERENCIA FOTOGRÁFICA

0.1	http://www.elbuenoelfeo.wordpress.com - 23/04/2012	pag. 01	6.1	Foto del autor	pag. 41
1.1	http://www.skyscrapercity.com - 27/02/2012	pag. 03	6.2	Foto del autor	pag. 41
1.2	http://www.cac.es - 25/02/2012	pag. 03	6.3	Foto del autor	pag. 42
1.3	Foto cedida por Julio Rodriguez - Fotógrafo (www.julio-rodriguez.net - 06/03/2012)	pag. 03	6.4	Foto del autor	pag. 42
1.4	Foto del autor	pag. 04	6.5	Foto del autor	pag. 42
1.5	Foto del autor	pag. 04	6.6	Foto del autor	pag. 44
1.6	Foto del autor	pag. 04	6.7	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 45
1.7	Foto del autor	pag. 05	6.8	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 46
1.8	Foto del autor	pag. 05	6.9	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 46
1.9	Foto del autor	pag. 05	6.10	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 47
1.10	Foto del autor	pag. 05	6.11	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 47
			6.12	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 47
			6.13	Foto del autor	pag. 50
2.1	http://www.kalzip.com - 04/03/2012	pag. 07	6.14	Foto del autor	pag. 51
2.2	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 08	6.15	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 53
2.3	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 08	6.16	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 56
2.4	Foto del autor	pag. 08	6.17	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 58
2.5	Foto del autor	pag. 08	6.18	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 58
2.6	http://www.kalzip.com - 12/03/2012	pag. 09	6.19	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 63
2.7	http://www.kalzip.com - 19/03/2012	pag. 09	6.20	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 63
			6.21	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 63
3.1	http://www.upcommons.upc.edu - 22/03/2012	pag. 23	6.22	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 63
3.2	http://www.flickr.com - 24/03/2012	pag. 23	6.23	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 63
3.3	http://www.campodemarte.com - 23/03/2012	pag. 23	6.24	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 64
3.4	http://www.perso.wanadoo.es - 24/03/2012	pag. 23	6.25	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 64
3.5	http://www.encyclopedia.wikia.com - 24/03/2012	pag. 23	6.26	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 64
3.6	http://www.flickr.com - 15/02/2012	pag. 25	6.27	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 64
3.7	http://www.arquitecturamashistoria.blogspot.com.es - 24/03/2012	pag. 25	6.28	Foto PFG Cristina Marco García (2011)	pag. 64
3.8	http://www.kalzip.com - 04/03/2012	pag. 25	6.29	http://www.kalzip.com - 12/03/2012	pag. 66
3.9	http://www.imageshack.us - 21/03/2012	pag. 25	6.30	http://www.kalzip.com - 19/03/2012	pag. 66
3.10	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 25	6.31	Foto del autor	pag. 66
3.11	http://www.calatrava.com - 15/03/2012	pag. 25	6.32	Foto del autor	pag. 67
3.12	http://www.giorgetta.ch - 21/03/2012	pag. 25	6.33	Foto del autor	pag. 69
3.13	http://www.cac.es - 01/03/2012	pag. 25	6.34	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 69
3.14	http://www.ojodigital.com - 17/03/2012	pag. 25	6.35	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 69
3.15	Calatrava Valls, Santiago - Sketchbooks	pag. 25	6.36	Foto del autor	pag. 69
3.16	Calatrava Valls, Santiago - Sketchbooks	pag. 25	6.37	Foto del autor	pag. 70
3.17	Santiago Calatrava. Secretsketchbooks. 2000 (PFG Cristina Marco García)	pag. 25	6.38	Foto del autor	pag. 71
3.18	Santiago Calatrava. Secretsketchbooks. 2000 (PFG Cristina Marco García)	pag. 25	6.39	Foto del autor	pag. 71
3.19	http://www.moreaadesign.files.wordpress.com - 22/03/2012	pag. 25	6.40	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 71
			6.41	http://www.kalzip.com - 12/03/2012	pag. 72
5.1	Foto del autor	pag. 32	6.42	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 72
5.2	Foto del autor	pag. 32	6.43	http://www.urbanity.es - 22/02/2012	pag. 72
5.3	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 32	6.44	http://www.megusa.com - 12/03/2012	pag. 72
5.4	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 32			
5.5	Foto de Ángel Pascual Carrión Piles	pag. 32			
5.6	Foto del autor	pag. 32			
5.7	Foto del autor	pag. 32			
5.8	Foto del autor	pag. 32			

FOTOGRAFÍA PORTADA

<http://www.cac.es> - 23/04/2012



PROYECTO FINAL DE GRADO - TALLER 14

SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS SINGULARES DE LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS