

Campus Iberdrola

Iberdrola Campus

Jose Antonio DEL ROSARIO TOMAS

Ingeniero de Obras Públicas

Arup

Asociado

jose.del-rosario@arup.com

Alvaro MARTINEZ SOTO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e

Ingeniero de Obras Públicas

Arup

Ingeniero Senior

alvaro.martinez@arup.com

Patricio GARCIA HERNANDEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Arup

Asociado

patricio.garcia@arup.com

Jose DE LA PEÑA CORONADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Arup

Director

jose.de-la-pena@arup.com

RESUMEN

Situado en San Agustín de Guadalix, el Campus Iberdrola es un complejo de 35.000 m² que cuenta con 8 edificios principales de dos plantas, cubierto por una gran marquesina de unos 36.000 m². Los edificios se resuelven empleando una amplia gama de tipologías estructurales en hormigón armado y postesado con luces de hasta 16 metros, incluyendo además zonas de estructura metálica con cerchas de hasta 32 metros de luz. La gran marquesina tiene una superficie ondulada con una altura variable de hasta 30 metros con luces de hasta 45 metros, y se resuelve con tubos estructurales de gran diámetro, curvados para ajustarse a la geometría ondulante.

ABSTRACT

Located in San Agustín de Guadalix, the Iberdrola Campus is a 35.000 m² complex which includes 8 main two story buildings and some minor ones, covered by a large 36.000 m² canopy. A variety of structural systems is used in the buildings, which include RC and PT concrete covering spans up to 16 meters; and also areas of steel structure up to 30 meters of span. The large canopy covers the campus above the two story buildings, reaching a variable height of up to 30 meters with spans up to 45 meters using large diameter steel tubes, curved to accommodate the canopy geometry.

PALABRAS CLAVE: marquesina, cubierta, grandes-luces, viento, postesado.

KEYWORDS: canopy, roof, long-spans, wind, post-tensioning.

1. Introducción y Descripción General del Proyecto

Situado en San Agustín de Guadalix, a 30 kilómetros al norte de Madrid, el Campus Iberdrola es un complejo de 35.000 m² dedicado a la formación de su personal. El complejo cuenta con un total de 8 edificios principales de dos plantas y algunos menores secundarios, cubiertos por una gran marquesina de 36.000 m². El proyecto original parte de un concurso del que resultó ganador el equipo formado por Alonso Balaguer Arquitectos Asociados (ABAA) y Arup.

Los edificios del complejo se resuelven empleando una amplia gama de tipologías estructurales, contándose con forjados reticulares, losas planas armadas y postesadas, vigas postesadas y zonas de estructura metálica.



Figura 1 Imagen general del concurso original ganado por ABAA+Arup (imagen propiedad de ABAA)

La gran marquesina, se sitúa por encima de los edificios de dos y tres plantas, y cubre el complejo mediante una combinación de zonas opacas y otras de vidrio. Su superficie ondulada y de grandes luces se cubre con tubos metálicos curvos de gran diámetro que se apoyan en pilares arbóreos.

2. Proyecto y Construcción

El proyecto comenzó en el año 2007, tras concurso de arquitectura del que el equipo ABAA+Arup resultó ganador. Dado que el Campus se sitúa sobre unos edificios existentes en uso, fue necesario plantear un faseado de los trabajos que permitiera la desmantelación y demolición de aproximadamente la mitad de los edificios existentes mientras la otra mitad permanecía en uso.

Se dividió el proyecto por tanto en dos fases:

- En la fase 1 se demolían los edificios de la parte sur de la parcela construyéndose los edificios nuevos y la zona de marquesina correspondiente.
- En la fase 2, y una vez concluida la fase 1, se demolían los edificios existentes de la mitad norte de la parcela y se construían los nuevos edificios completándose también la mitad norte de la parcela.

Las obras de cimentación de la fase 1 comenzaron en la segunda mitad del 2008. Al finalizarse, la Propiedad toma la decisión de suspender temporalmente las obras debido a la situación económica nacional.

Las obras se reanudaron de nuevo en la segunda mitad del año 2013, adjudicándose el contrato de marquesina a mediados del 2014. La marquesina se adjudicó en su totalidad, fases 1 y 2, si bien solo se comprometía el comienzo de los trabajos de fase 1. Con los trabajos de marquesina y los edificios de fase 1 en marcha comenzaron las demoliciones de los edificios de fase 2, completándose éstos a mediados del 2016.

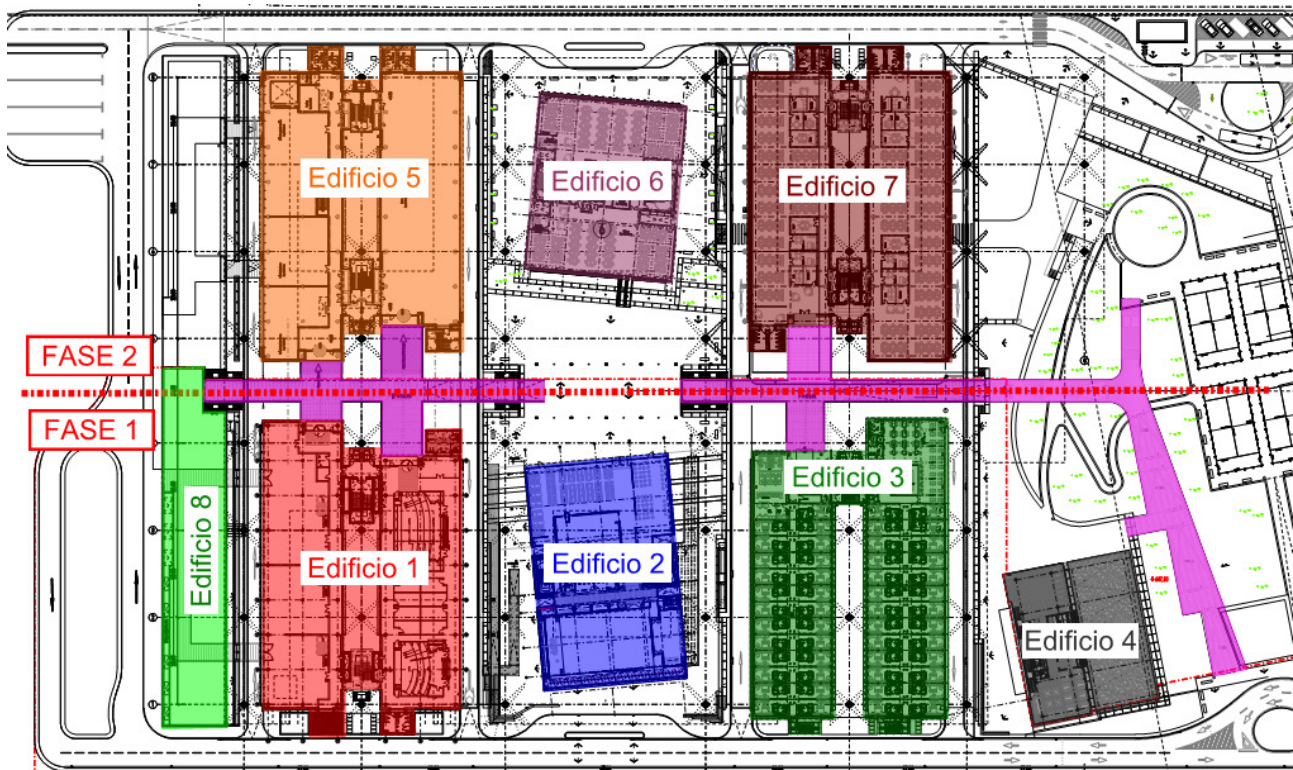


Figura 2 Planta mostrando la división de la parcela en las dos fases de obra y la posición de los distintos edificios del complejo

A principios del año 2017 se inició el proceso de adjudicación de los edificios de fase 2, así como los trabajos de urbanización de toda la parcela, a los que se añadió un aparcamiento en superficie de una parcela anexa que no se encontraba inicialmente prevista en el proyecto original.



Figura 3 Vista general de la obra a mediados del 2016 mostrando la construcción de fase 1 ya muy avanzada y la demolición de fase 2 prácticamente concluida

3. Edificios

Los edificios son en general de hormigón, empleándose el acero en zonas de luces especialmente importantes, o bien en zonas menores. Las tipologías pueden agruparse de la siguiente manera:

- En los Edificios 3, 4 y 8, de luces convencionales, en torno a 8 metros, se emplean tipologías de hormigón armado, forjados reticulares y losas macizas.
- En los Edificios 1, 5 y 7, con luces de hasta 16 metros, se emplean forjados de vigas postesadas, que se combinan con forjados reticulares y losas macizas para las zonas de luces de hasta 8m.
- En el Edificio 6, se emplea estructura metálica, de modo que se puede salvar la luz de 32x16 metros en la zona de auditorio. Para las zonas de luces convencionales de 8 metros se emplean forjados reticulares

Ver **Figura 1** mostrando la disposición en planta de los edificios

3.1. Edificios 3, 4 y 8

Los Edificios 3 y 4 tienen unas luces máximas de 8m y se resuelven con forjado reticular de 350mm de canto y 50mm de capa de compresión. Los aligeramientos son de bloque de hormigón, y los nervios de 160mm de ancho con un intereje de 860mm.

El edificio 8 cuenta tan solo con una planta y luces generales de 7.15x6.00m. Tiene unos requerimientos muy altos de sobrecarga, empleándose por ello una tipología de losa maciza con espesor de 450mm.

3.2. Edificios 1, 5 y 7

Los edificios 1, 5, y 7, tienen una tipología estructural similar. Cada uno de ellos consta de un dos módulos rectangulares, de aproximadamente 65m de largo y 16m de ancho, unidos entre sí por dos núcleos de comunicaciones y servicios. Cada uno de los edificios consta de una primera planta con losa armada de 8x8m de retícula, y posteriormente se sitúan las plantas 2^a, 3^a y cubierta donde no se cuenta con el pilar central y la retícula pasa a 16x8m.

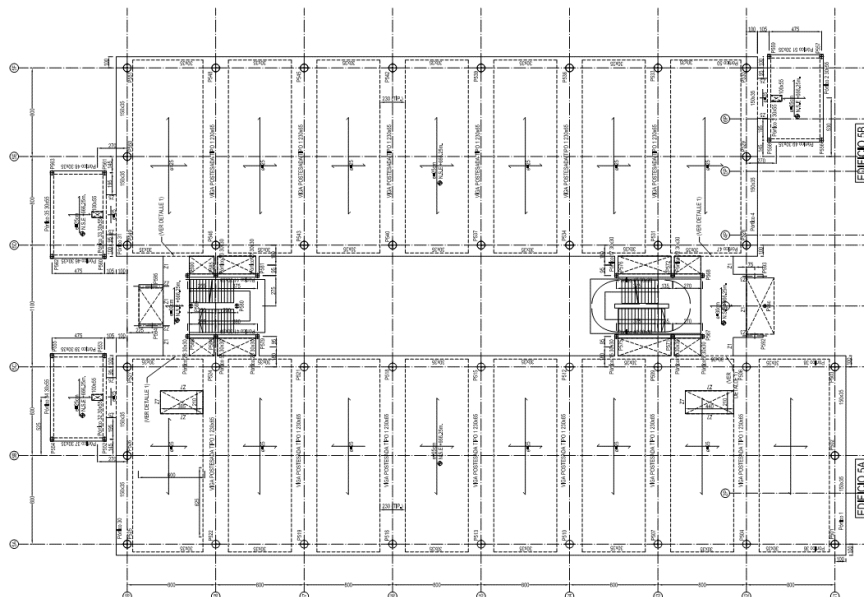


Figura 4. Planta tipo de edificio postesado 1,5 ó 7.

Los forjados de luz de 16m se han resuelto mediante pórticos de un vano con vigas postesadas que unen los pilares en sentido transversal a los módulos del edificio. Estas vigas postesadas tienen un ancho de 2.3m y un canto de 0.65m. Entre cada alineación de pilares y la adyacente hay 8m, por lo que entre vigas se tiene una franja de 5.7m, que se resuelven con una losa armada continua, de

canto 250mm, flectando unidireccionalmente, según la dirección longitudinal del edificio. Esta disposición es análoga para las vigas de forjado de planta y para los forjados de cubierta. Sin embargo, en el nivel de cubierta, las vigas cuentan con una mayor cuantía de postesado debido al menor grado de empotramiento de los pilares (derivado de su menor axil), y también a la mayor sobrecarga de uso de la cubierta por la presencia de equipos de instalaciones.

Esta tipología tiene un canto estructural algo mayor que el de la solución con la losa maciza postesada. Sin embargo es de mayor eficiencia estructural, al concentrar en cada una de las bandas centrales de los pórticos el postesado, consiguiendo una fuerza ascensional mayor que en la losa maciza, dado el mayor canto de la viga descolgada. Otra de las ventajas de la tipología, es la flexibilidad a la hora de abrir huecos en la losa armada entre vigas. Pero la principal ventaja de esta tipología, es la de dar lugar a espacios de 80m de longitud y 16m de luz diáfanos, sin otros pilares que los de fachada, muy adecuado para su uso en oficinas.



Figura 5. Planta tipo diáfana de 16m de ancho y 80m de largo

El postesado utilizado se ha materializado mediante cordones de acero activo Y1860 S7 y de diámetro nominal 15.2mm, con una carga de rotura garantizada de 260kN. Estos cordones están enfilados en vainas circulares de diámetro 65mm. Cada una de las vainas lleva un máximo de siete cordones. El número de vainas dispuestas en la viga tipo de la planta general es el de 4, dos a cada lado del pilar. La altura desde la cara inferior de la viga al eje de los anclajes, tanto activos como pasivos, es de 450mm, con 7 cordones por vaina.

En cubierta se han dispuesto además otras dos vainas suplementarias en una fila inferior a 250mm del fondo de la viga y con 4 cordones. Si bien en la planta tipo todas las vainas estaban en mismo plano, próximo al centro de gravedad de la sección, en cubierta ha habido que disponer dos filas de tendones, siendo el centro de gravedad del conjunto de los anclajes el que se ha aproximado en la medida de lo posible al centro de gravedad de la sección. La fila de tendones en cubierta, con menor curvatura en alzado, es la tiene menos cordones que la superior.

Se han respetado además las cuantías mínimas de armado preconizadas en la normativa española EHE. En términos de cuantía mecánica mínima, dado que la armadura es adherente, se ha podido contabilizar, por lo que no se requiere armado pasivo extra para cumplir con esta condición. Se ha disminuido el nivel de fisuración a corto plazo mediante la aportación de la fuerza de tesado en dos

fases, una primera del 25% de la fuerza de tesado, y otra segunda del 75% restante, siguiendo así una pauta que es habitual en los países sajones.

Las vainas postesadas se trajeron a obra ya enfiladas, y la armadura local propia de los anclajes activos y pasivos también se prefabricó fuera de obra, lo que sirvió para ahorrar plazo.

3.3. Edificio 6

El edificio 6, con unas dimensiones en planta de 32x24m, tiene una tipología distinta de los demás edificios postesados, resolviéndose con una losa postesada de 350mm de canto constante. En su longitud mayor, se cuenta con sendos vanos extremos de 11.5m y uno central de 8.7m, unidos por dos bandas intermedias de 3.5m. En su longitud menor se cuenta con cuatro pórticos iguales de 8m.

Se ha postesado en ambas direcciones para sacar provecho de la acción bidireccional de la losa plana, con el objeto de minimizar el canto estructural. Los tendones se han dispuesto concentrados en la zona de pilares en la dirección en la que existe mayor continuidad estructural para los vanos pésimos de 11.5m de luz. Mientras que en sentido perpendicular, entre pórticos a 8m, la losa plana tiene un postesado uniformemente distribuido, minimizando así las interferencias entre los tendones de las dos direcciones.

Se han utilizado un postesado adherente, con vainas planas de 20x90mm, cada una con 5 cordones de 15.7mm de acero Y1860 S7. Las vainas planas han permitido maximizar la curvatura de los cordones en el canto de la losa plana. Se ha mantenido de esta forma un mismo cordón, una misma tipología, y un sistema de pretensado adherente, homogéneo con el resto de los edificios postesados.

3.4. Edificio 2 Auditorio

El Edificio 2 cuenta en aproximadamente dos terceras partes de su planta con unas luces de 8x8 metros, las cuales se resuelven con el mismo forjado reticular que el empleado en los Edificios 3 y 4. En el otro tercio de su planta se dispone un auditorio con una luz de 32x16 metros que se resuelve mediante cerchas metálicas diagonalizadas y forjado de chapa colaborante.

Para la cercha de 32m de luz, se tenía una limitación de canto de 2m entre ejes de cordones, por lo que fue necesario emplear perfiles HEM500 y HEM450, con diagonales y montantes HEB280. También por limitaciones de encaje, fue necesario colocar el cordón superior sobre la cota de forjado, por lo que fueron necesario colocar diagonales adicionales, perpendicular al plano de la cercha, para controlar el padeo del cordón superior. Adicionalmente, se dispuso un voladizo de 3.15m, también perpendicular al plano de la cercha, que se resolvió igualmente con diagonales adicionales fuera del plano de la cercha.

En las luces de 16 metros, el canto entre ejes de cordones estaba limitado a 1.1m, resultado cordones HEB320 y diagonales y montantes HEB160.



Figura 6 Vista del auditorio del Edificio 6 mostrando las cerchas ejecutadas

4. Pasarelas y Rampas

Los edificios están conectados entre sí por una serie de pasarelas y rampas de altura reducida que permiten la circulación interna en el complejo. Las pasarelas se realizan con perfiles IPE de cantos variables de entre 500 y 300 mm dependiendo de las luces existentes, que varían así mismo entre 6 y 17 metros. Sobre estos perfiles principales apoyan travesaños de tubos cuadrados de 140mm con una separación de 845mm. Los pilares se realizan con tubos circulares metálicos de 273mm de diámetro, con luces entre ellos variables de entre 6 y 17 metros.

5. Marquesina

La marquesina está constituida por una superficie de doble desarrollo de unos 36.000 m² que se extiende por encima del nivel superior de los edificios del campus, y que presenta en planta una disposición pseudo rectangular de aproximadamente 200x150m.

Con el objetivo de simplificar el proceso de fabricación y montaje se realizó un doble desarrollo definido por dos familias de generatrices principales y ortogonales entre sí, que al combinarse conforman la superficie de la marquesina:

- Las generatrices este-oeste se forman por tres segmentos cóncavos de arcos de circunferencia, de radios 190.20m (exteriores) y 63.40m (interior); con acuerdos convexos también de 63.40m.
- Las generatrices norte-sur se forman mediante dos segmentos de arco de circunferencia de radio 380.0m, uno convexo y el otro cóncavo.

Con esta geometría de partida, la estructura se resuelve mediante la disposición de una retícula metálica de tubos de 750mm de diámetro y espesor de variable de entre 25 y 17mm, que sigue los trazados de las generatrices anteriormente descritas.

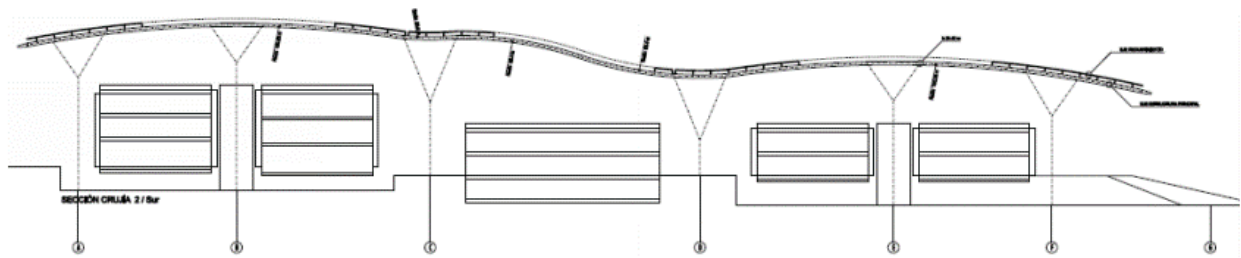


Figura 7 Encaje de una de las generatrices este-oeste

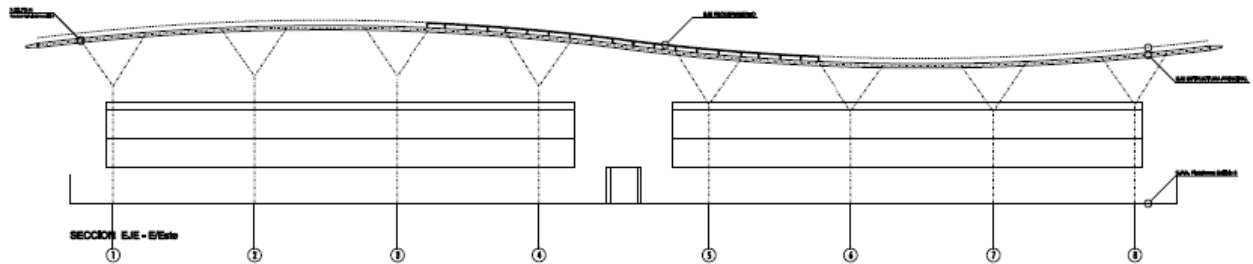


Figura 8 Encaje de una de las generatrices norte-sur

Entre estos tubos principales se disponen correas que soportan los elementos de cubrición. Estas correas corresponden a perfiles laminados, HEB alveolados en los vanos centrales de mayor luz (15 m), e IPE en el resto de casos (9 y 11 m), con un espaciado medio de 3 metros.

El conjunto ondulado está soportado a su vez por una serie de pilares compuestos, que tienen como fuste un perfil tubular circular metálico vertical 1000mm de diámetro, y como parte superior cuatro perfiles en cajón y de escuadría variable entre 500 y 300mm, que se disponen inclinados a modo de aristas de una pirámide invertida. El conjunto tiene una apariencia arbórea, con alturas de hasta 30m, donde el tronco es el perfil vertical circular, y donde las ramas serían los perfiles situados en las aristas del tetraedro. El extremo superior de las ramas acomete la intersección del entramado de las vigas principales de la marquesina mediante una unión articulada con pasador metálico.



Figura 9 Marquesina de fase 1 construida

Las luces entre los apoyos varían según la dirección considerada:

- Dirección este-oeste: 27 + 33 + 46 + 33 + 27 + 27 metros
- Dirección norte-sur: 20+20+20+24+20+20+20 metros

Contando con un voladizo bidireccional de 27x20 metros en la zona este.

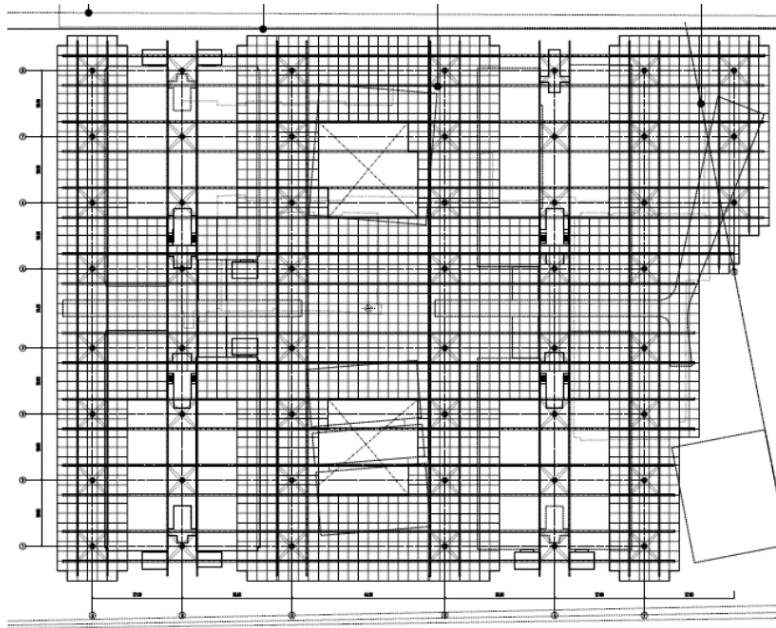


Figura 10 Planta de marquesina mostrando la distribución de luces

El nudo de conexión entre la confluencia de las ramas y el fuste del pilar es un nudo rígido que se conforma con chapas soldadas, resolviendo geoméricamente la transición entre la sección circular del fuste y la intersección de los cuatro cajones de las ramas. Dada la importancia visual de este detalle, su desarrollo fue fruto de un intenso proceso de diseño coordinado con el equipo de arquitectura, partiendo de unos primeros croquis, pasando por la definición geométrica 3D con el que se generó un modelo de elementos finitos que comprobara los espesores de las chapas, y finalizando en unos planos de detalle que permitieron la correcta ejecución de las piezas.

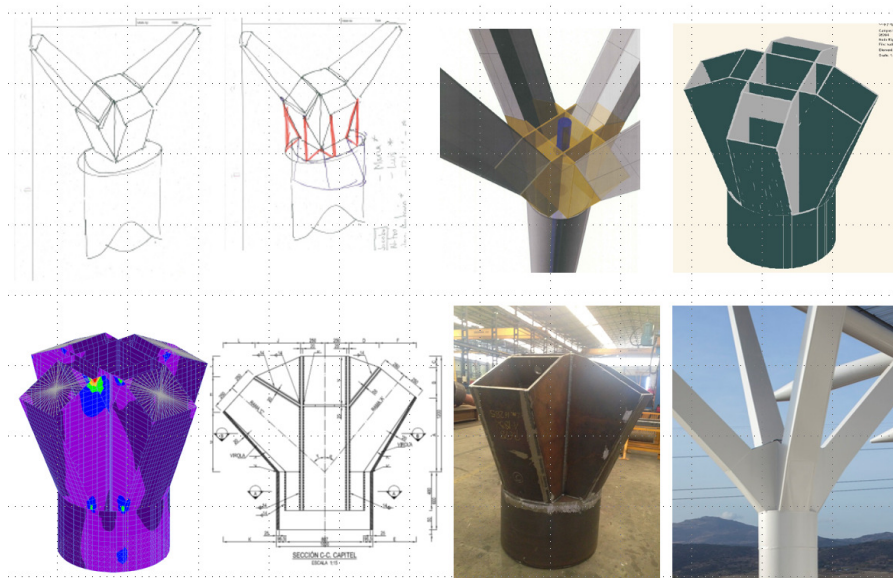


Figura 11 Desarrollo del diseño de capiteles

La estructura de la marquesina no contempla juntas de dilatación, con unas dimensiones totales de aproximadamente 200 x 150 m en planta tal y como se ha comentado. Por tanto fue importante realizar un análisis adecuado de las acciones térmicas, si bien dada la relativa flexibilidad de los pilares, éstas no fueron especialmente críticas en el dimensionamiento de las estructura.

La acción de viento es especialmente relevante para el diseño de la estructura y de sus elementos de cubrición y por ello se tomó la decisión de realizar un ensayo de túnel de viento. El ensayo permitió optimizar las cargas indicadas por la normativa y ahorrar de esta manera tanto en la estructura como en los elementos de cubrición.

Un aspecto a considerar respecto a la acción del viento, son los posibles efectos dinámicos de vibración que pudieran generarse y que están muy ligados a la flexibilidad de la estructura. En este sentido las dos primeras frecuencias principales estaban en torno a 1 Hz pero correspondían a modos horizontales, por lo que el correspondiente factor de amplificación dinámica de aproximadamente 1.30 no resultaba tan crítico. El tercer modo, éste si vertical, tenía un valor de 0.80 Hz, menos oneroso sin duda, si bien en cualquier caso se tradujo en un factor de amplificación de cargas dinámicas de 1.20. Los factores dinámicos se obtuvieron empleando la formulación de N.J. Cook [1].

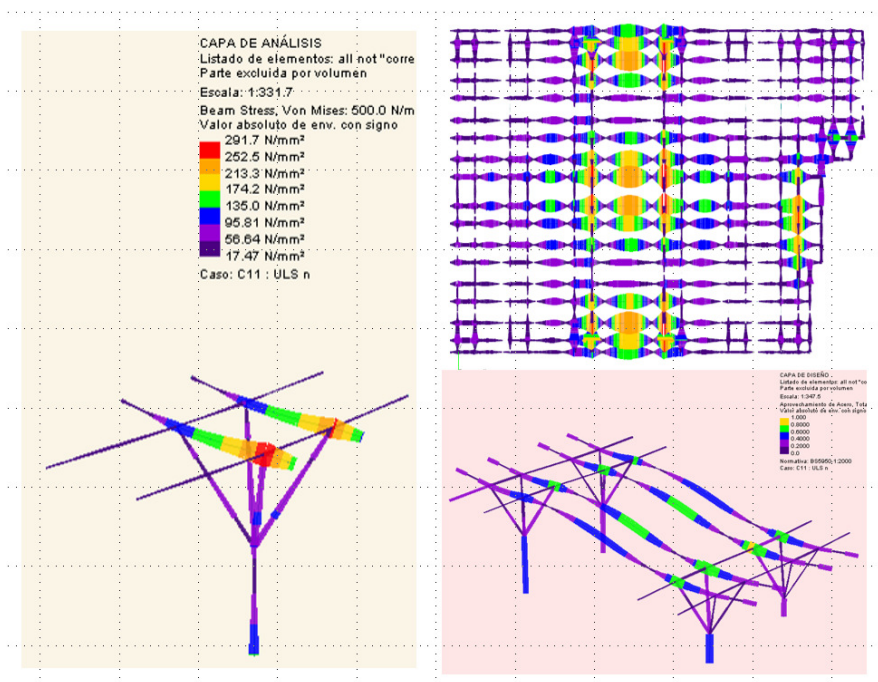


Figura 12 Imágenes del cálculo y dimensionamiento de la estructura metálica de marquesina

6. Conclusiones

El proyecto del Campus de Iberdrola plantea un número importante de retos estructurales que requieren el uso de un amplio abanico de soluciones combinando estructura metálica, con hormigón armado y pretensado.

Agradecimientos

Un número importante de ingenieros y delineantes han trabajado en este proyecto de forma activa, nos gustaría dejar constancia de ellos pues este proyecto es sin duda una labor de equipo: Laura Álvarez, David Castro, Sung Suk Chang, Xeila González, Jan Peter Koppitz, Laura López, Francisco Luque, Estrella Morato, Pedro Negrette, Mauricio Rincón, Luis Rodríguez, Álvaro Rubio, Francisco Rueda, José Joaquín Soriano.

Referencias

[1] N.J. Cook. The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures. Butterworth-Heinemann Ltd 1990