

Steel Structure in Logroño Bus Station Project

Miguel García Manzanos¹

ABSTRACT

The steel structure of the future bus station Logroño fits within unique structures and architecturally representative buildings. This structure is part of an urban complex that allows integration railroad passing through Logroño (being already built its first phase -Railway Station-).

This structure is substantially symmetrical from the previously executed, and includes a central dome which gives pedestrian continuation over the park located on both stations.

The problem set out is to generate a resistant structure put in place between two unrelated to the resistant form surfaces (the upper urban park and the interior finishes station).

The tridimensional geometric design, complexity of model and measuring process (the high number of load paths under consideration) are factors that attribute an extra value to the structure and affirm their uniqueness.

Keywords: Roof / Three-dimensional / Steel / Space Truss / Dome.

¹ Departamento de Estructuras. TYPESA (ESPAÑA). mgmanzanos@typsa.es (Corresponding author)

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

1.1. Introducción y Antecedentes

La cubierta de la futura Estación de Autobuses de Logroño forma parte de un conjunto urbano que permite la integración del Ferrocarril a su paso por la Ciudad, estando ejecutado ya en su fase primera (Estación de Trenes). Se muestra en las siguientes imágenes la configuración en planta del conjunto, tanto a nivel de parque sobre estaciones como a cota de vestíbulo de ambas estaciones.

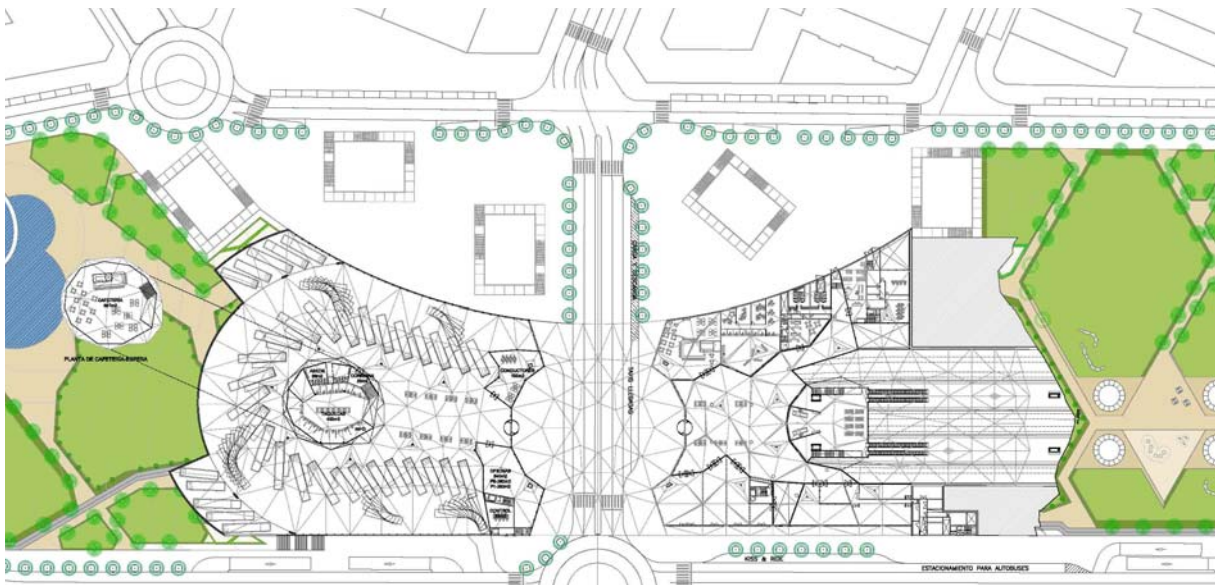


Figura 1. Planta a cota de vestíbulo de las estaciones de FFCC (construida. Derecha) y autobuses (izquierda).



Figura 1. Planta de parque sobre las estaciones de FFCC (construida) y autobuses, con la cúpula central

Las siguientes imágenes de sección longitudinal y transversal respecto a la línea ferroviaria acaban de mostrar el esquema de conjunción entre los espacios edificatorio y urbano.

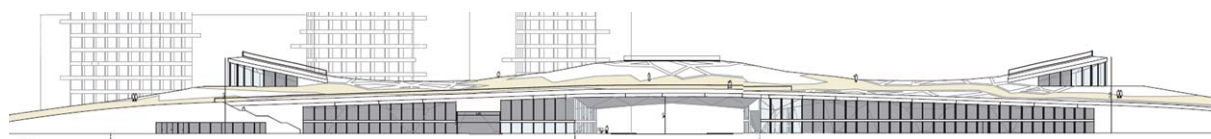


Figura 3. Sección longitudinal de las estaciones de FFCC (construida) y autobuses.



Figura 4. Sección longitudinal de la estación de autobuses proyectada y cajón FFCC existente (ejecutado Fase I).



Figura 5. Sección transversal de la estación de autobuses proyectada y cajón FFCC existente (ejecutado Fase I).

Visto lo anterior, queda argumentada la singularidad del proyecto en los niveles edificatorio, arquitectónico, urbanístico, paisajístico, y de infraestructura del transporte. Esta singularidad, unida a la propia complejidad derivada de la cronología de ejecución de las obras, ha tenido su impacto en la propia concepción y planteamiento de los modelos de cálculo.

Así, durante la ejecución de las obras de la Fase I de la Integración del Ferrocarril en la Ciudad de Logroño, que comprendía tanto la construcción del cajón ferroviario como la Estación de viajeros, quedaron ejecutadas, en previsión, las cimentaciones de la futura Estación de Autobuses.

Esto fue debido, por una parte, al aprovechamiento de los sistemas constructivos (empleo de maquinaria y procedimientos constructivos de cimentaciones profundas -bataches de pantallas y pilotes-) y, por otra, a la imposibilidad de acometer algunos de estos elementos luego de finalizada completamente la fase I ferroviaria (por ejemplo: algunas de las cimentaciones previstas para la

estación de autobuses quedan integradas en el recinto interior del parking de la estación de ferrocarril). Resultaba así evidente que el solape entre el soterramiento y la futura Estación de Autobuses de Logroño ofrecía la posibilidad de aprovechar las pantallas de contención del soterramiento para la colaboración en el apoyo y sustentación de la estructura de la nueva Estación de Autobuses, así como aprovechar igualmente y como se ha señalado la maquinaria especializada existente en el momento de la obra.

Así, los elementos de cimentación ejecutados para la futura Estación de Autobuses durante las obras de la Fase I de la Integración del Ferrocarril constituyeron el punto de partida de los modelos de cálculo estructurales con total antelación respecto a la definición arquitectónica final.

De este modo, y con un control de las posibles incertidumbres (derivadas sobretodo de la geometría final en alzado por definir para la cubierta de Autobuses), se inició el proceso de elaboración de modelos simplificados con el objetivo de determinar las reacciones de la estructura a proyectar y diseñar con ellas las cimentaciones a ejecutar por adelantado.

En las siguientes imágenes pueden verse los primeros modelos de cálculo para el diseño de las cimentaciones (datando de julio de 2010).

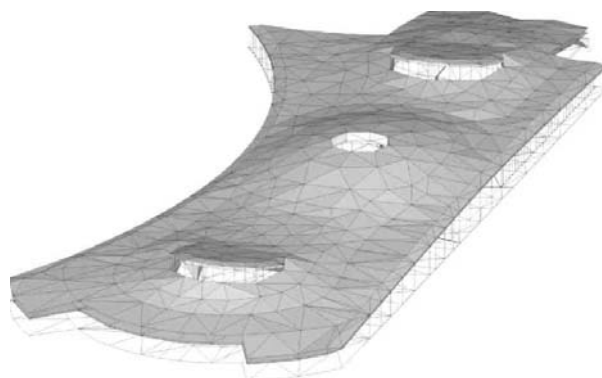


Figura 6. Geometría de superficie de parque para encaje preliminar de cimentaciones

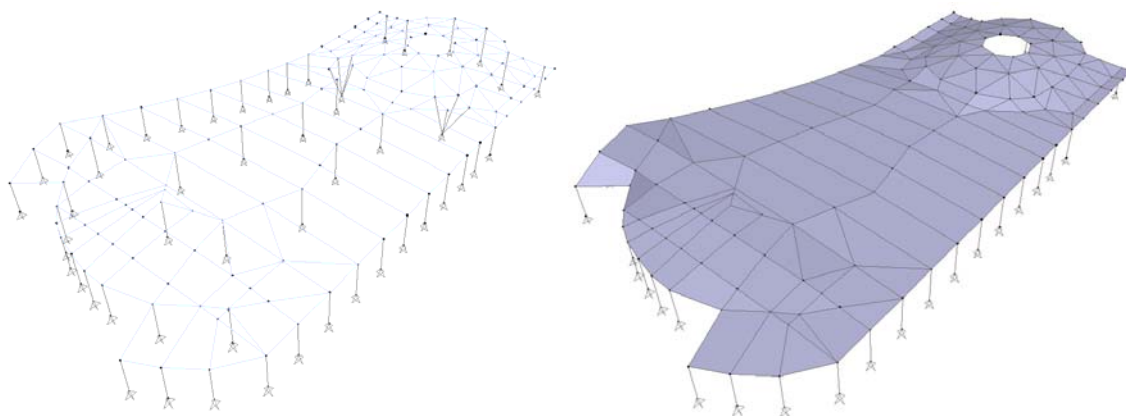


Figura 7. Modelos de cálculo para encaje preliminar de cimentaciones. Elaboración TYP SA m/ SAP2000

En estos modelos de cálculo, la principal incertidumbre para la estimación de las reacciones sobre apoyos para el diseño de las cimentaciones procedía de la falta de definición del peralte de la estructura de cubierta, que condicionaba fuertemente la proporción de las reacciones horizontales (véase en las figuras anteriores que la cúpula y la parte final opuesta de la cubierta presentan elevación, mientras que la parte central se modeló completamente plana).

De dichos cálculos previos resultó el Proyecto de cimentación hasta cota cero de la nueva Estación de Autobuses de Logroño (mayo de 2011), según el cual quedaban sentadas las bases para el futuro proyecto, al tiempo que se fijaba un gran condicionante de cara a su diseño final.

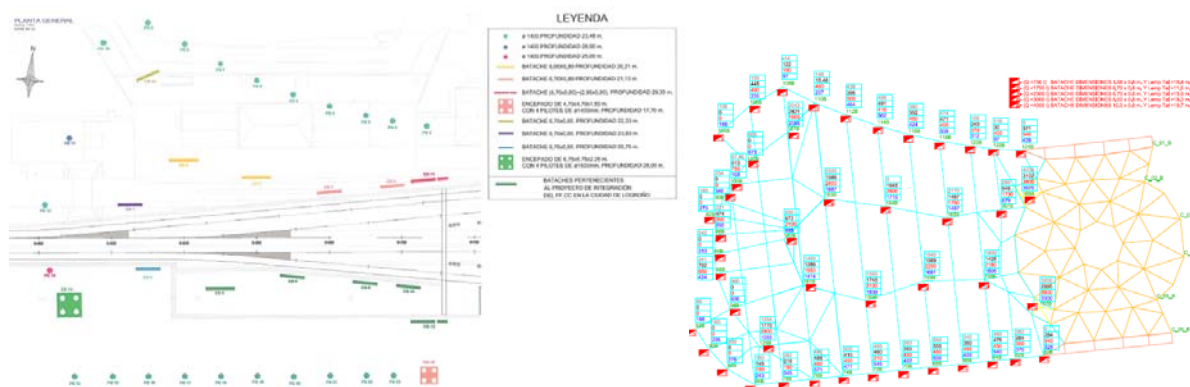


Figura 8. Cimentaciones ejecutadas Modelos de cálculo para encaje preliminar de cimentaciones

En enero de 2014 se recibe el encargo del cálculo y definición a nivel de Proyecto Constructivo de la estructura de la Estación de Autobuses. Conceptualmente, este hito implicaba el cálculo completo y optimizado de una estructura sensiblemente "gemela" -en planta- a la ejecutada para la estación de viajeros de FFCC, cuyas cimentaciones se encontraban ejecutadas en virtud de los encajes previamente referidos, y añadiendo como elemento singular al proyecto la cúpula central de conexión entre ambas estaciones. Puede verse en el panel informativo que a tal efecto elaboró el Promotor. El punto de partida para el diseño de la estructura de cubierta y cúpula puede verse claramente en la siguiente fotografía.



Figura 9. Fotografía aérea del punto de partida para el proyecto de Autobuses (obra de la Fase I ferroviaria)

1.2. Características técnicas y planteamiento general de la estructura singular

La principal característica de la estructura a definir, modelar y calcular, es que su carácter tridimensional ha requerido de un trabajo espacial desde el inicio del Proyecto. Y es que el espacio urbano superior, en forma de parque, se eleva respecto a su entorno generando, a modo de suave promontorio, un espacio interior de "gruta" para albergar las estaciones de trenes y autobuses. Por tanto, existen dos superficies (la del parque urbano superior, y la de acabado interior de la estación) que delimitan, tridimensionalmente, el espacio para albergar la estructura resistente. Ambas superficies son facetadas, quedando compuestas por elementos triangulares, con lo que cada vértice se traduce en un binomio de cotas que delimitan el canto estructural máximo.

Por tanto, el problema planteado radica en generar una estructura resistente encajada entre dos superficies no vinculadas a la forma resistente. Para este propósito, se mantiene la idea llevada a ejecución en la cubierta de la Estación de Ferrocarril, en cuanto a la elección de una tipología de estructura metálica (acero S355) generada mediante celosías que permite, además, definir puntos de control de las geometrías facetadas en los cordones superior e inferior.

Estas cerchas se organizan en familias ortogonales para el cuerpo principal de la cubierta y radiales y circunferenciales para el cuerpo de la cúpula (manteniendo así la compatibilidad del sistema estructural considerado en el cálculo de la cubierta ferroviaria, donde se introdujeron unas reacciones estimadas para la transferencia de la cúpula de acuerdo a lo anterior).

De este modo se consigue cubrir la huella total de la Estación de Autobuses, que asciende a una superficie superior a 11.500 m² (de los que unos 3.000 m² corresponden a la cúpula central, con una luz máxima de trabajo de casi 60 m). A este respecto, las dimensiones del elemento circunferencial exterior de la cúpula corresponden a los ejes mayor/menor de una elipse (aprox.) y valores 56/44 m. En anchura, la cúpula se expande con adicionalmente desde los citados 44 metros hasta los 67. En la siguiente figura puede verse el esquema seguido por el cuerpo principal de la estación de FFCC.

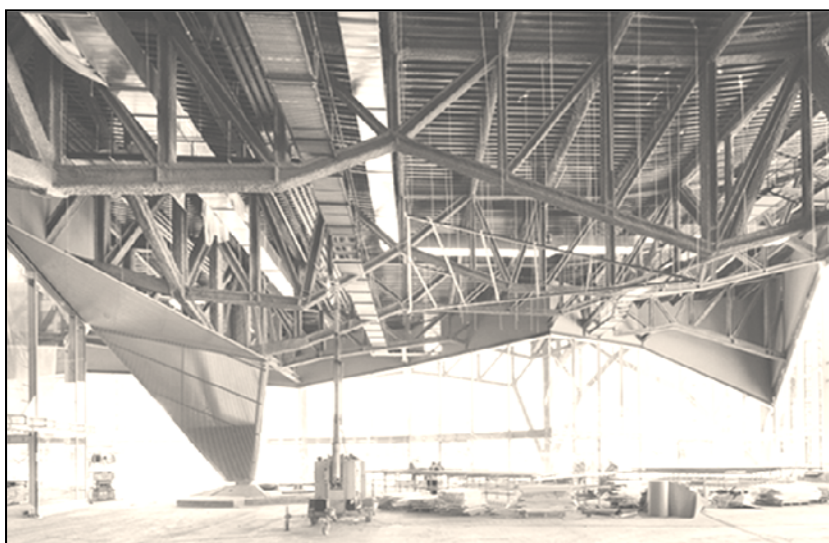


Figura 10. Ilustración sistema de cerchas metálicas en la Estación ferroviaria.

1.3. Concepción detallada de la estructura metálica

Tal y como se ha señalado hasta al momento, existen unos condicionantes previos que han debido ser tenidos en cuenta de inicio. Pueden agruparse bajo dos epígrafes:

- En primer lugar, condicionantes de tipo geométrico, derivados de la fijación de los planos arquitectónicos definidos por las superficies facetadas de falso techo y parque, y entre los que corresponde inscribir el sistema estructural.
- En segundo lugar, imposiciones relativas a las condiciones de sustentación que materializa la obra ferroviaria ejecutada; refiriéndose este punto a:
 - o las cimentaciones previstas para la estructura de cubierta (lógicamente merced a una estimación de cargas y reacciones sobre apoyos previa) y ya ejecutadas. En este caso, ha resultado de especial relevancia referirse a las condiciones que deben materializarse en obra para una correcta absorción de las reacciones por parte de los elementos ejecutados (nos estamos refiriendo, básicamente a la conexión de los elementos de cimentación de la estructura de Autobuses con el cajón ferroviario para la difusión de las acciones horizontales derivadas del peralte de la cubierta -las más significativas de ellas corresponden a las reacciones horizontales de la cúpula-);
 - o las condiciones de transferencia de carga previstas sobre las alineaciones iniciales de la estructura de la cubierta ferroviaria por parte de la cúpula que dota de continuidad superior al parque y enlaza con la cubierta de la Estación de Autobuses.

En resumen, la cubierta metálica de la Estación de Autobuses se plantea bajo los dos grupos de condicionantes señalados anteriormente: inscripción en la geometría que proporcionan las superficies facetadas de falso techo y parque, y obra ejecutada (cimentaciones previstas y enlace de la cúpula con la cubierta de la estación de Ferrocarril).

Respecto a estas últimas, es preciso señalar que se trata de elementos de cimentación profunda (bataches de pantalla y pilotes), con una disposición en planta que permite diferenciar un primer contorno de elementos que se acopla a las líneas de fachada (norte, sur y oeste), y un segundo grupo de bataches interiores al recinto de la estación sin invadir, lógicamente, el espacio ferroviario. Se remite a la figura 8.

Estos elementos de cimentación permiten definir, para el cuerpo de la estación, dos familias de cerchas metálicas ordenadas sobre unos ejes ortogonales (E-O y N-S), siendo su canto variable y adaptado la geometría arquitectónica antedicha. La modulación de las cerchas N-S (principales) se encuentra en torno a los 10 metros. Tanto dicho intereje, como el correspondiente a las cerchas secundarias (E-O) -que oscila en el rango 4 a 7 m.-, queda ajustado para acoplarse a los elementos de cimentación mencionados.

Estas familias presentan un desarrollo continuo que queda interrumpido con la irrupción de un lucernario central, que se eleva a modo de lengüeta, sobre el conjunto y que, a nivel de uso, permite albergar la terraza de la cafetería.

La integración entre la planta de estructura del cuerpo principal y las cimentaciones previamente ejecutadas puede verse en la siguiente figura.

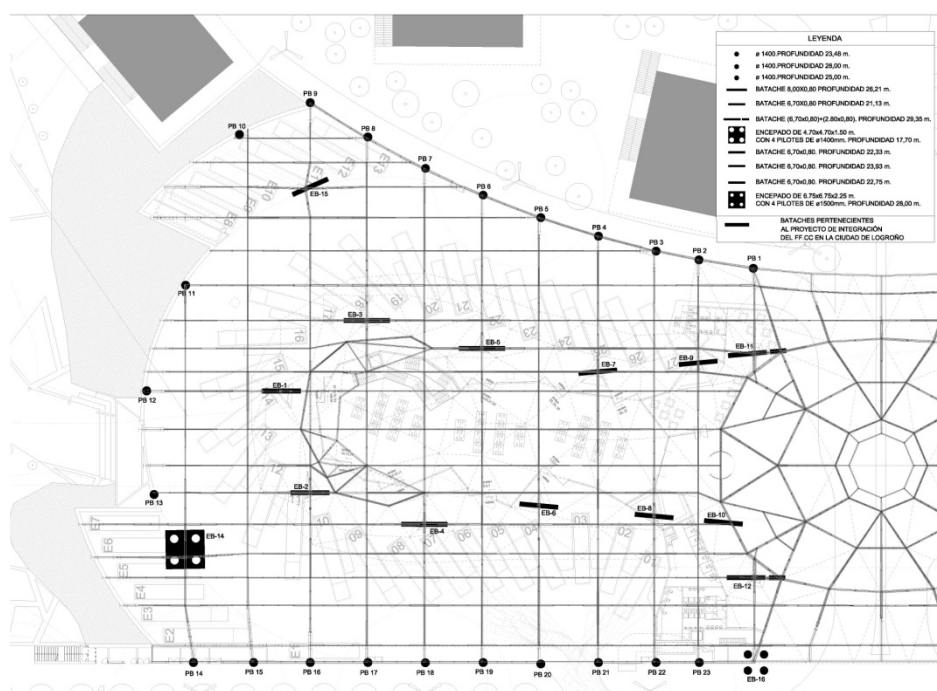


Figura 11. Planta estructural junto con las cimentaciones preexistentes.

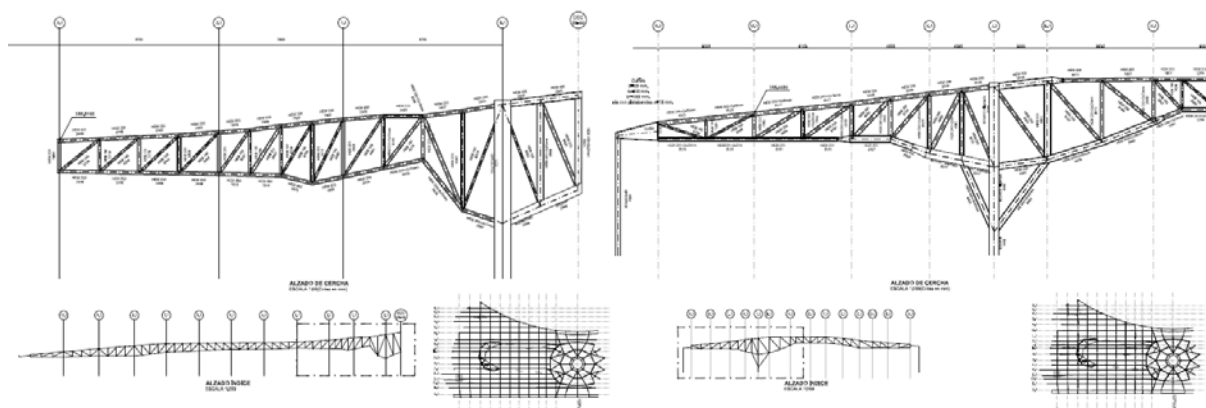


Figura 12. Geometría tipo de cerchas principales (N-S) y secundarias (E-O)

Puede adelantarse en este punto que las condiciones de contorno a aplicar sobre el modelo corresponden con:

- Empotramientos en todos los elementos de cimentación interior: el proyecto de cimentaciones acota las excentricidades máximas por encima de las cuales la sección de los bataches interiores deja de estar permanentemente comprimida (axil resultante fuera de núcleo central), así como el diagrama de interacción axil -flexor eje fuerte hasta el cual puede asumir flexión el batache, siempre y cuando se disponga del correspondiente elemento de reparto desde la placa hasta conseguir traccionar toda la armadura del batache (problema

El sistema estructural se completa sobre las cerchas anteriores con una familia de correas (en la serie IPE -300/360-) que, apoyando sobre la familia de secundarias, proporciona soporte al forjado de chapa colaborante superior (6+12) sobre el que se ejecuta el parque, con su consiguiente relleno de tierras en la sección constructiva. En el caso de la cúpula, la propia geometría base de cerchas radiales y circunferenciales y el criterio de mantenimiento de la dirección de forjado unidireccional conducen a correas más potentes, en serie HEB-360.

Las dos zonas de pérdida de continuidad estructural señaladas (lengüeta - lucernario con uso para cafetería en el cuerpo central de la cubierta, y óculo central en la cúpula), quedan ilustradas en las siguientes imágenes:

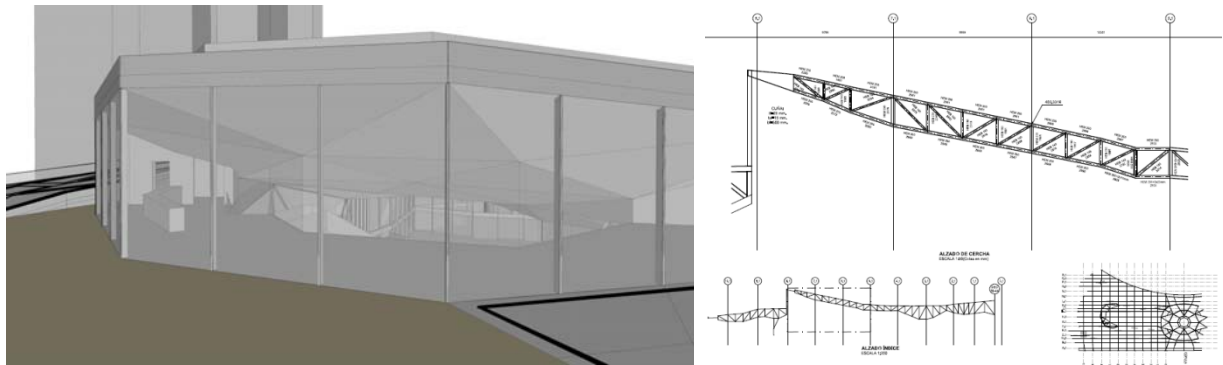


Figura 15. Zona cafetería.

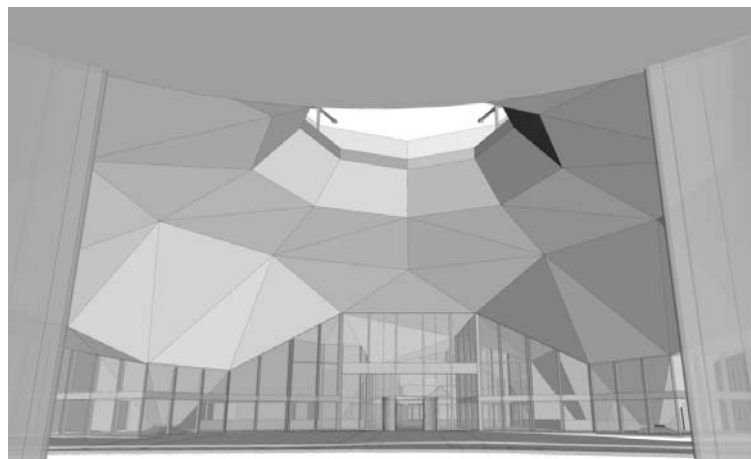


Figura 16. Cúpula. Vista inferior

Finalmente, y retomando la exposición en el forjado de chapa colaborante dispuesto sobre las correas, cabe decir que estas últimas llevan implementados pernos conectadores que permiten el desarrollo de una acción mixta hormigón -acero, tenida en cuenta en ciertas fases del proceso de modelado. Se detalla: Así, en el cálculo mediante hoja de cálculo de las correas como elementos biapoyados isostáticos se considera el desarrollo de la acción mixta en su estado final, al tiempo que

también se considera la estabilidad del perfil en situación constructiva, tras el vertido del hormigón (comprobación a pandeo lateral de las correas). Por otro lado, en el modelo de cálculo de la estructura principal, realizado con SAP2000 en un complejo sistema de barras, no se ha tenido en consideración la acción mixta en el cordón superior. Sin embargo, sí se ha considerado su contribución a la rigidización del sistema de marcos que configura la retícula en planta de cordones superiores de las cerchas. No obstante lo anterior, en las zonas donde se han localizado las mayores compresiones en el cordón superior (bajo las acciones permanentes, de magnitud significativa en el caso que nos ocupa con la carga de formación del parque superior), con objeto de evitar los fenómenos de distorsión general que pudieran derivar de la inestabilidad de un tramo de cordón superior, se han implementado arriostramientos entre nodos de la retícula, tal y como muestra la siguiente imagen.

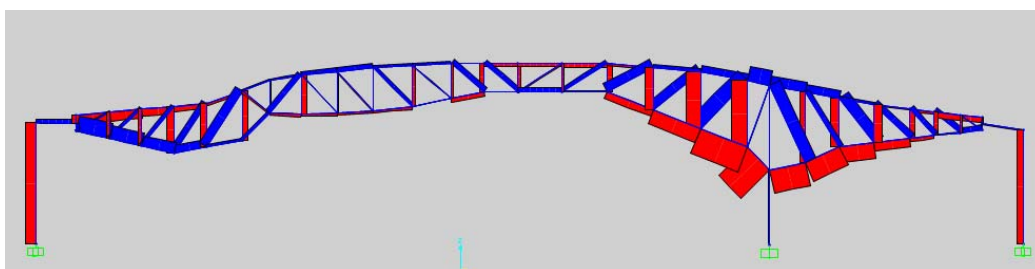


Figura 17. Ley de esfuerzos axiales en cercha principal

Y es que, a la vista de la imagen anterior, y por tratarse de una estructura tridimensional conformada por celosía que trabaja fundamentalmente a esfuerzos axiales, debe prestarse una especial atención a la inestabilidad por compresión de los perfiles.

A tal efecto, se fijaron los siguientes criterios generales: El cordón superior se considera como eficazmente arriostrado por el forjado colaborante (tal y como se ha referido en el párrafo anterior), mientras que la longitud de arriostramiento del cordón inferior es la correspondiente a encuentros consecutivos entre celosías (p.e. cruce entre cercha principal y secundaria, a efectos de pandeo en el eje débil del perfil). En ambos casos se ha tomado un coeficiente β igual a la unidad. Por su parte, los montantes y diagonales se consideran arriostrados por el cordón superior y libres en la unión con el cordón inferior, a excepción de los montantes comunes a dos cerchas o aquellas diagonales unidas al cordón inferior en el encuentro entre dos cerchas. En los primeros casos, se toma un coeficiente β igual a dos (empotramiento perfecto), mientras que en el segundo caso se toma un β igual a la unidad. Por último los pilares toman un coeficiente β igual a 0,7.

Nótese finalmente que la configuración de montantes y diagonales elegida sigue el concepto de disponer los elementos interiores más largos (diagonales) traccionados (en situación de solicitaciones bajo cargas permanentes, de significativa magnitud en este caso) y los montantes verticales, más cortos, comprimidos.

La gama de perfiles empleados en las cerchas que conforman la estructura de cubierta y la cúpula es amplia: perfiles en cajón de dimensiones varias y diferentes configuraciones de espesores (1000x1000x40/80; 300x300x30; 400x300x30; 500x300x40/30; 600x307; 600x347; 600x387; 600x400; 600x600x60/80; 800x400x40; 800x600), HEB (140 a 200), HEM (200 a 400, sin/ con platabandas

laterales para cierre en cajón), y perfiles armados con canto variable (variación lineal) para aquellas zonas en que las cerchas presentan canto insuficiente y han de configurarse como cuñas recogiendo esfuerzos axiales de ambos cordones.

Con todo ello, a continuación se muestra un resumen enumerativo de todos los elementos que componen el sistema estructural en sentido descendente:

- Forjado de chapa colaborante
- Correas con conectadores y arriostamientos en paños puntuales de la retícula
- Cerchas (principales y secundarias en el cuerpo de la estación y radiales y circunferenciales en la cúpula)
- Pilares interiores/ perimetrales
- Placas de anclaje
- Elementos de hormigón in situ en recrecimiento de bataches interiores /vigas de atado/ elementos de reparto y transferencia de esfuerzos de tracción a armadura anclada de bataches, y de conexión al cajón ferroviario.

2. MODELO DE CÁLCULO

2.1. Introducción

De acuerdo con lo expuesto hasta el momento, la estructura a modelar se discretiza en una serie de familias de cerchas (familias ortogonales y circunferenciales/ radiales) que permite que la superficie en planta de la cubierta se modele en una retícula de cuadriláteros planos de proyección cuadrada. En algunos casos, presentan, estos cuadriláteros, un cierto alabeo que se absorbe con la el forjado de chapa colaborante. Con todo ello, de manera sintética:

- La estructura metálica situada estrictamente por encima de la estación se compone de dos familias de cerchas:
 - o Existen 11 cerchas principales (Verticales según figura 16), cuyas longitudes totales son variables en el rango 67 a 97 metros.
 - o Existen 18 cerchas secundarias (Horizontales según figura 16)
- La estructura metálica en conexión con la estructura existente al Oeste está formada por una cúpula compuesta con dos familias de cerchas:
 - o Existen 10 cerchas radiales junto con los radios Norte y Sur
 - o Existen 3 cerchas circunferenciales y concéntricas
- La estructura metálica incorpora una zona de cafetería.
- La estructura se completa con otras alineaciones metálicas situadas en el perímetro de ésta

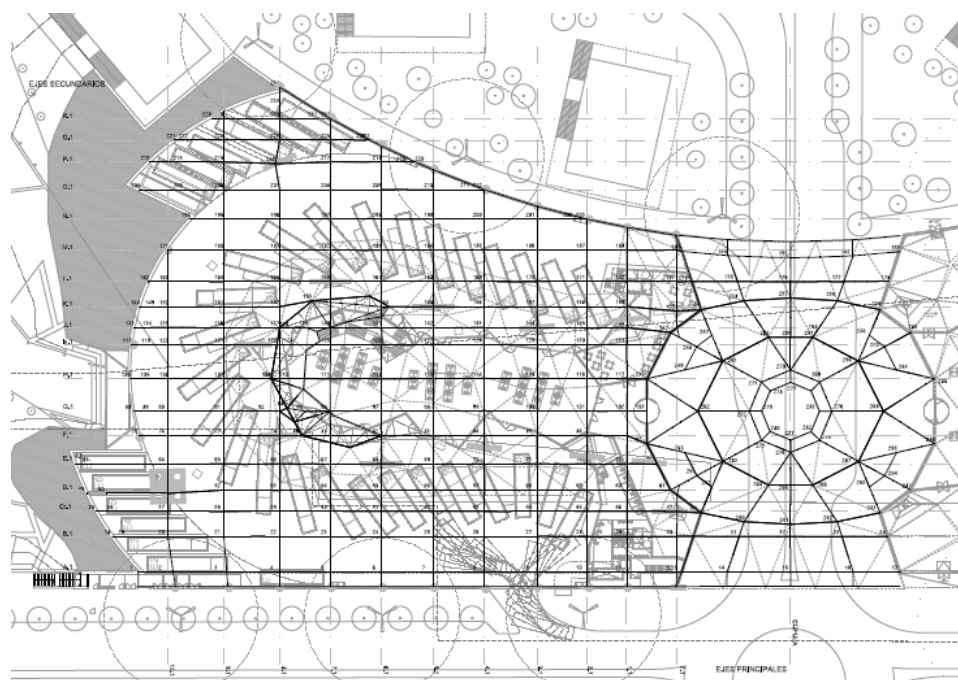


Figura 18. Planta de la estructura proyectada. Proyecto de Construcción

2.2. Modelo de cálculo

2.2.1. Trabajos previos

El proceso de creación de un modelo de cálculo como este supone una extensa lista de tareas previas a la obtención del modelo propiamente dicho. Entre esas tareas se encuentran:

- Acopio de información relativa a las condiciones de contorno de la estructura
 - o Condiciones de apoyo
 - o Estructuras colindantes. *Proyecto as built de la Fase I de la Integración del Ferrocarril en la ciudad de Logroño.*
- Gestión y tratamiento de información topográfica de gran precisión

La forma de trabajar con esta información se ha realizado por medio de archivos MDT donde poder gestionar un gran volumen de datos topográficos de manera visual: generación de superficies, asignación de ejes de trazado a cada una de las cerchas, obtención de perfiles longitudinales, abatimiento y construcción de modelo 3D geométrico con resguardos a superficie de parque y acabado interior. Dígase en este punto que el trabajo se ha realizado geoméricamente a eje de perfil, a objeto de evitar introducir offsets en la implementación de elementos tipo barra en SAP2000.

Estos son los pasos básicos, en líneas generales, que se han seguido para poder comenzar un encaje de las cerchas de forma individual. Una vez realizado este encaje, se ha procedido a reunir todas las cerchas en un mismo documento de forma que se pueda evaluar la coordinación de diseño del conjunto y, sobre este conjunto, se han realizado todas las modificaciones que permiten obtener una geometría mucho más afinada y que guarde compatibilidad entre las diferentes familias de cerchas

creadas (cotas en puntos de control - vértices de cuadriláteros). Finalmente, se utiliza un programa de elementos finitos (SAP 2000) para crear el modelo de cálculo mediante la importación por grupos.

2.2.2. Modelo de cálculo generado en SAP2000

Se crea el siguiente modelo de cálculo para elaborar el dimensionamiento de los perfiles metálicos que componen la cubierta y la cúpula.

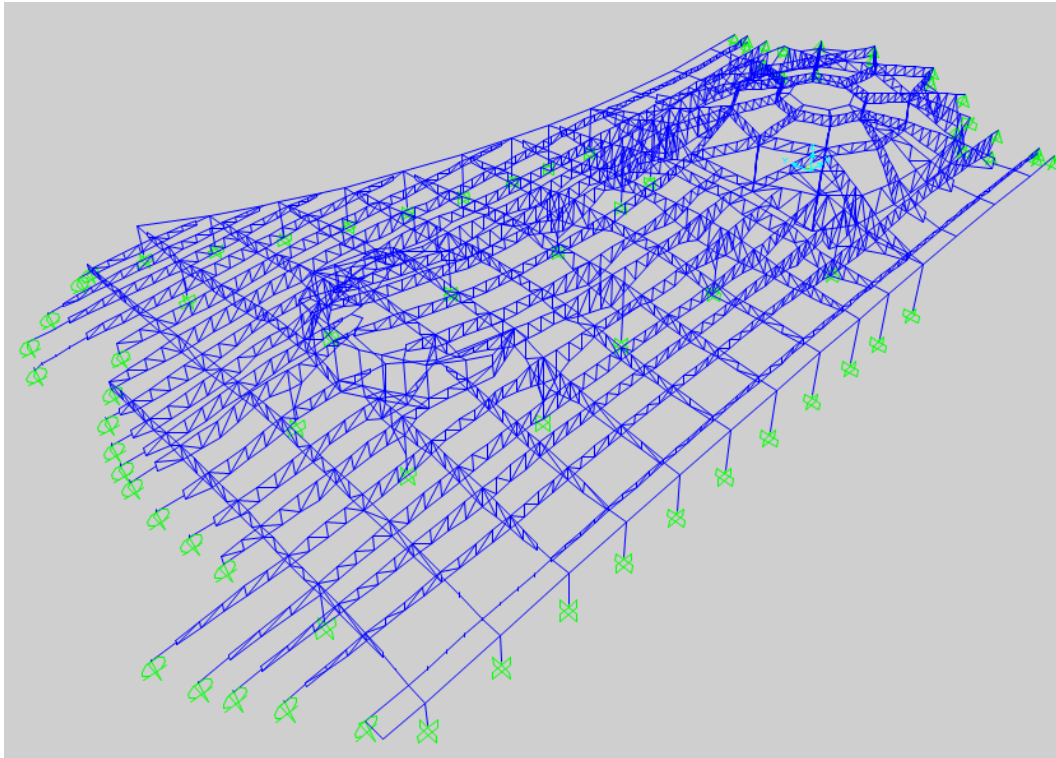


Figura 19. Vista 3D del modelo de cálculo de la cubierta.

Sobre este modelo “alámbrico” se comienzan a situar los elementos Shell que modelizan las superficies de forjado situado en la cubierta y sobre las que van a actuar las cargas consideradas, prestando especial atención a la coherencia del comportamiento de dichos elementos en el reparto de los esfuerzos en la dirección de forjado adecuada a la realidad.

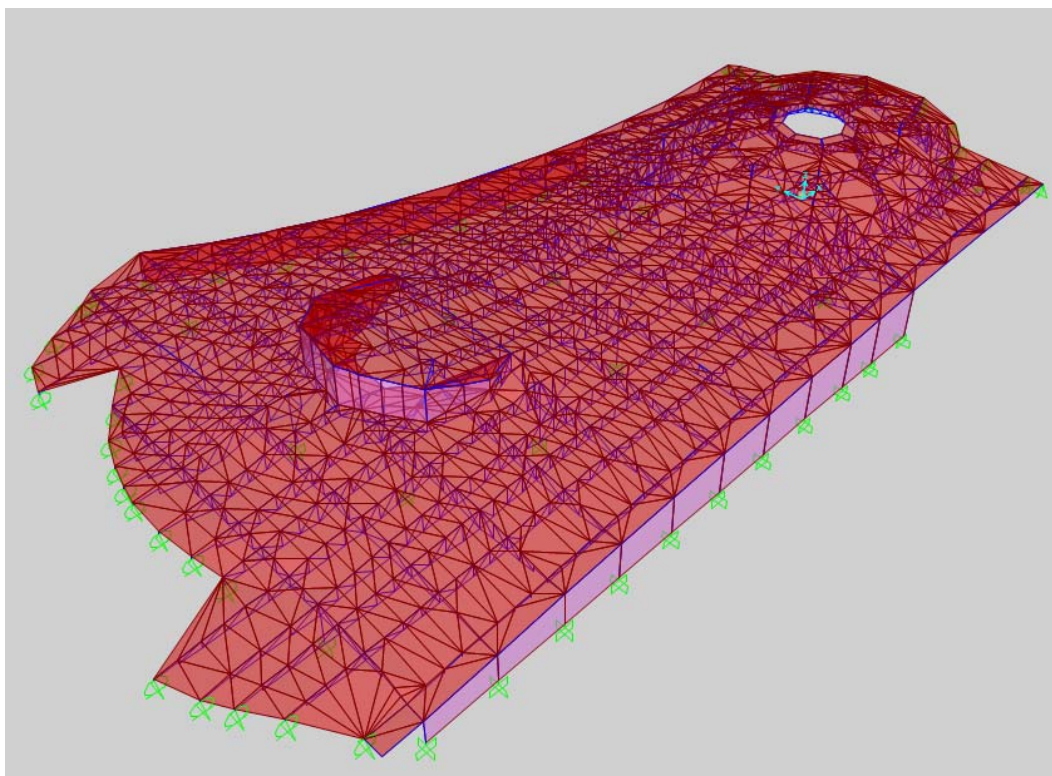


Figura 20. Vista 3D del modelo de cálculo de la cubierta con elementos shell.

2.2.3. Parámetros de cálculo

A continuación se exponen algunos conceptos clave para un correcto modelado de la estructura metálica objeto de análisis. Por tratarse de una celosía que trabaja fundamentalmente a esfuerzos axiales debe prestarse una especial atención a la inestabilidad por compresión de los perfiles. Se remite igualmente a la página 11. El software utilizado permite un nivel de personalización de parámetros de diseño muy elevado y para los perfiles de esta cubierta, en la mayoría de los casos, se han mantenido los valores estándar que ofrece el programa para el Eurocódigo 3 2005. Esto no sucede con los parámetros necesarios para modelar el nivel de arriostamiento de los elementos tipo *frame* de las cerchas, que han sido modificados puntual y manualmente según los siguientes criterios:

- Para los cordones;
 - El cordón superior se ha considerado como eficazmente arriestrado por el forjado colaborante
 - Como longitud de arriostamiento del cordón inferior se ha considerado la correspondiente a encuentros consecutivos entre celosías (p.e. cruce entre cercha principal y secundaria).

En ambos casos, se toma un coeficiente β igual a la unidad.

- Para los montantes y diagonales
 - Se han considerado por el cordón superior y tomado un coeficiente β igual a dos (empotramiento perfecto)

- Se han modelado libres en la unión con el cordón inferior, a excepción de los montantes comunes a dos cerchas o aquellas diagonales unidas al cordón inferior en el encuentro entre dos cerchas. Se toma un β igual a la unidad.
- Por último, para los pilares se ha adoptado un coeficiente β de 0,7.

2.2.4. Acciones consideradas

A continuación se enuncian, con carácter general, el conjunto de acciones consideradas en los cálculos:

- Peso Propio.
- Cargas permanentes sobre cubierta
 - Chapa colaborante y correas
 - Falso techo e instalaciones
 - Zona Parque
 - Forjado en interior cafetería
 - Panel de vidrio en cierre de cafetería
 - Muros cortina en el perímetro N-S del parque
 - Peso de las farolas
- Sobrecargas de uso en cubierta:
 - Sobrecarga de uso en parque
 - Sobrecarga de uso en interior cafetería
 - Sobrecarga de mantenimiento en cierre de cúpula
- Sobrecarga de nieve
- Presión del viento
- Acciones térmicas

A modo de resumen, se adjuntan las siguientes tablas que reúnen los valores de las cargas para obtener un orden de magnitud de las acciones aplicadas:

Tabla 1. Cargas permanentes

CARGAS PERMANENTES	
Peso propio acero	78.5 kN/m ³
Chapa colaborante y correas	4.0 kN/m ²
Falso techo e instalaciones	1.0 kN/m ²
Zona parque	9,0 kN/m ²
Forjado interior cafetería	5,15 kN/m ²
Panel de vidrio en cierre de cafetería	5 kN/ml
Muros cortina en el perímetro N-S del parque	5 kN/ml
Peso de las farolas	1,5 kN

Tabla 2. Cargas variables

CARGAS VARIABLES	
Sobrecarga de uso	10 kN/m ²
Sobrecarga de uso en interior cafetería	5 kN/m ²
Sobrecarga escaleras cafetería	5 kN/m ²
Sobrecarga de mantenimiento	1,0 kN/m ²
Acción térmica	±10 °C
Acción viento	Variable según paramento
Acción de nieve	0.6 kN/m ²

2.2.5. Hipótesis de carga y combinaciones

Las combinaciones entre acciones que se han utilizado en el modelo siguen las prescripciones de la normativa vigente (CTE-SE). Según las cargas definidas, existen 3 tipos de cargas variables: Sobrecarga de uso, temperatura y viento. Por lo tanto, para cada tipo de carga es necesario comprobar su combinación con el resto de acciones actuando como concomitantes y diferentes coeficientes de combinación. Como resultado, se obtienen 6 ecuaciones en Estado Límite Último de cada sobrecarga.

En este punto, cabe destacar que debido a la geometría de la cubierta, los esfuerzos y reacciones más desfavorables no tienen por qué corresponder con toda la cubierta cargada.

Esto significa que, para cargar la cubierta metálica bajo la hipótesis de sobrecarga, es necesario contemplar un sistema de cargas en damero o similar.

Por ello, se decide discretizar la superficie de cubierta en diferentes zonas atendiendo como criterio de zonificación las uniones con pilares según el siguiente esquema:

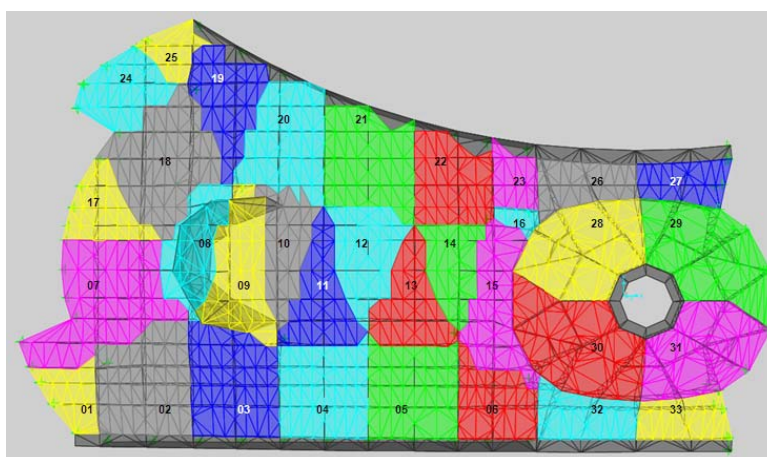


Figura 21. Planta de discretización en damero de las superficies de carga

2.2.6. Proceso de cálculo

El programa utiliza, para los esfuerzos de combinación implementados, una comprobación de la secciones de acero estructural de acuerdo con el Eurocódigo 3.

Tal y como observarse en la imagen siguiente, los elementos han sido verificados a flexocompresión (incluyendo la inestabilidad) y esfuerzos tangenciales.

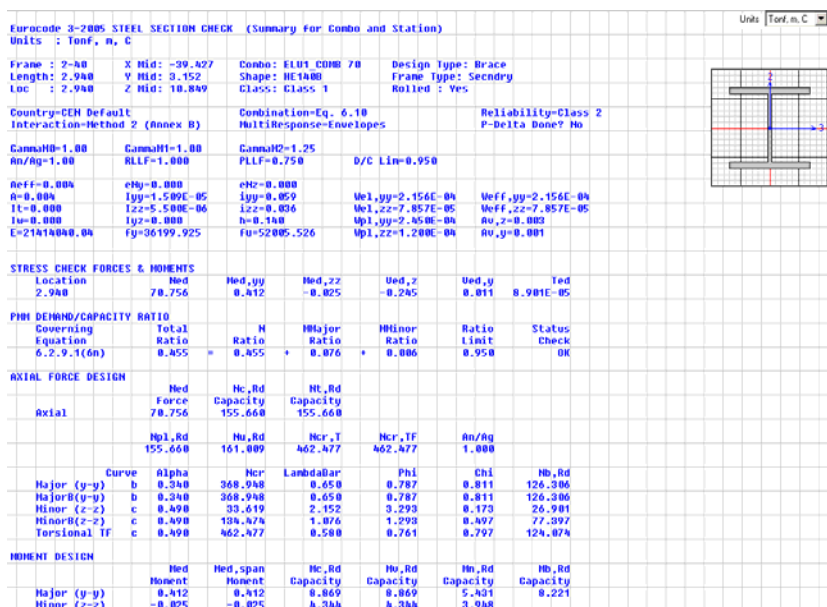


Figura 22. Cálculos realizados por el software informático.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez finalizada la geometría del modelo y la caracterización de las acciones e hipótesis de carga, se ejecuta el modelo con un número de elementos tipo barra superior a 5400. Este hecho magnifica la necesidad de optimizar el proceso de dimensionamiento y economizar los cambios que pueda sufrir el modelo al cambiar los diferentes perfiles metálicos.

Como se ha comentado, a su vez es necesario realizar un dimensionamiento coherente con las reacciones admisibles que soportan las cimentaciones ejecutadas y todo ello conjugado con la uniformidad, en la medida de lo posible, para que la ejecución de la cubierta sea constructiva (y económicamente asumible); es decir, con cierta homogeneidad en la configuración de los módulos de montaje y cambios de secciones resistentes.

Para todo ello, se han intensificado el uso del módulo de "Design/checking of structure". En la siguiente imagen se muestra una salida gráfica durante el proceso de evaluación del grado de aprovechamiento de los perfiles.

4. CONCLUSIONES

Este artículo pretende mostrar el procedimiento de operación seguido en el proyecto de una estructura metálica altamente singular; por lo que las conclusiones obtenidas adquieren un carácter expositivo. El enunciado del problema planteado radicaba en generar una estructura resistente encajada entre dos superficies no vinculadas a la forma resistente; todo ello, en un espacio tridimensional.

Por tanto, para su resolución, se ha discretizado el espacio disponible, concentrando la estructura en elementos tipo cercha (de manera similar a la cubierta ejecutada previamente para el ferrocarril, pero con la complejidad de una cimentación ejecutada de antemano y de una cúpula de conexión, de grandes luces), los cuales han generado una estructura donde las trayectorias que determinan la bajada de cargas a la cimentación, y en definitiva, el trabajo estructural, no responden a la intuición de un trabajo por forma; lo que implica que la movilización de energía por deformación es altamente sensible a pequeños cambios individuales en elementos. Lógicamente, este esfuerzo por obtener una estructura lo más racional posible en un sistema tan sensible, de dispar movilización de energía de deformación, redundaba en un consumo de material que argumenta igualmente la elevada singularidad del trabajo que se presenta: un ratio de unos 230 Kg de acero (estructura completa, incluyendo correas, etc.) por metro cuadrado de superficie cubierta en planta.

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos del autor para todos los compañeros involucrados en el proyecto y, en especial, al equipo del Departamento de Estructuras de TYPESA de la Dirección Territorial de Aragón, Navarra y La Rioja: José Manuel Viver, Adolfo Gómez, Marta Miguel, Alvar Santamaría, Jaime San Román; Daniel Jordán, Jorge Niubó, Ricardo Castejón, Manuel Bernabé, Patricia García Kilroy, Miguel Díez, Salvador Fernández, José Luis Sánchez, Fernando Cea.

REFERENCIAS

- [1] Referencias normativas vigentes: Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), Código Técnico de la Edificación (DB-SE), Instrucción de Acero Estructural (EAE), Eurocódigos (EC1, EC2, EC3, EC4)
- [2] Ábalos+Sentkiewicz Arquitectos (2013). Nuevas Naturalezas. La Estación Intermodal de Logroño. Madrid: Q! estudio.