

## CUBIERTA DE LA AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL DEL AEROPUERTO DE GRAN CANARIA

**Peter TANNER FURRER**

MSc. ETH, Zürich; Dr. Ing. de CCyP.

CESMA Ingenieros S.L.

[cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

**David SANZ CID**

Ingeniero de CCyP

CESMA Ingenieros S.L.

[cesma@cesmaing.com](mailto:cesma@cesmaing.com)

### RESUMEN

La ampliación del aeropuerto de Gran Canaria incluyó la construcción de una nueva zona de mostradores de facturación, lo que obligó a la ejecución de una nueva cubierta sobre un espacio de 340 m de largo y 37 m de ancho, formada por pórticos paralelos de dos vanos separados 10 m entre sí. Las vigas principales de los pórticos son de madera laminada, mientras que los pilares son de acero o de hormigón, siendo las correas también metálicas. Fue necesaria la revisión completa de estos elementos definidos en un proyecto básico previo, con el fin de simplificar la estructura y compatibilizarla con las necesidades de la obra impuestas por la estructura existente.

**PALABRAS CLAVE:** condicionantes geométricos, madera, uniones, simplificación estructural.

## ROOF ON GRAN CANARIA AIRPORT TERMINAL ENLARGEMENT

### ABSTRACT

The development of Gran Canaria airport included the construction of a new check-in counters area. The roof of this new area is 340 m long and 37 m wide, and it consists of frames every 10 m, with three 15 m high columns and beams grid. Main beams are made of timber, some columns are made of concrete and some others of steel, as well as all the roof purlins. A complete revision of all the structural members defined on a previous basic project was made in order to simplify the structure and to suit it to the building requirements, conditioned by the existing structure.

**KEYWORDS:** geometrical constraints, timber beams, connection, structural simplicity.

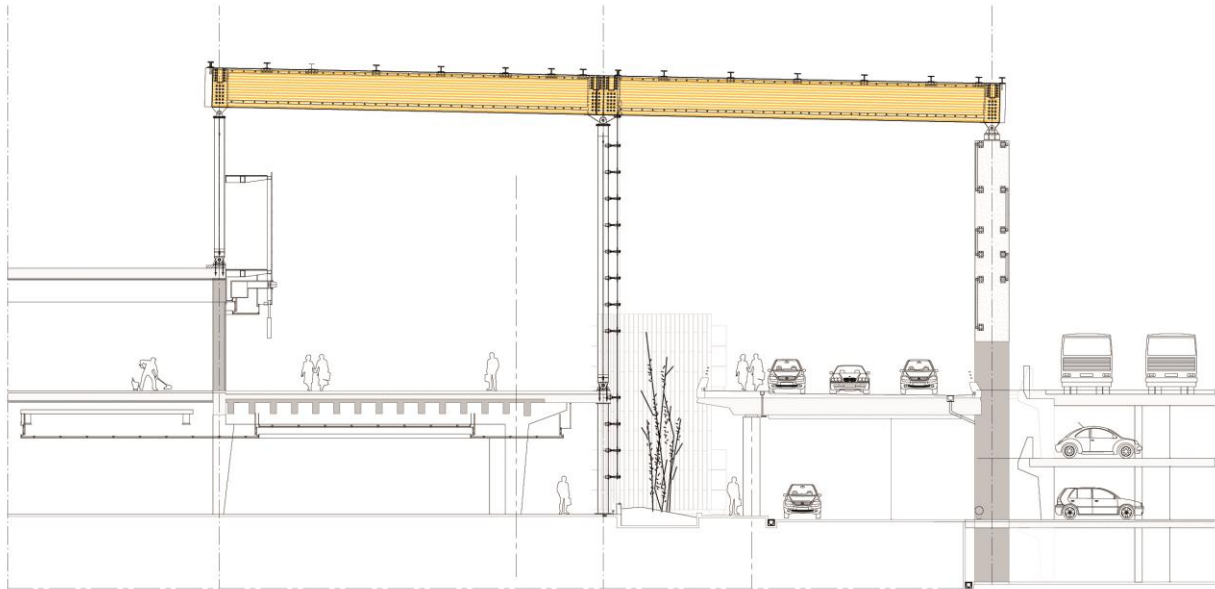
### 1. Introducción

La ampliación del aeropuerto de Gran Canaria incluyó, entre otras actuaciones, la construcción de una nueva zona de mostradores de facturación y de un nuevo acceso para el tráfico rodado para dar servicio a la misma. Para el alojamiento de estos nuevos servicios se planteó la ejecución de una nueva cubierta sobre un espacio de 340 m de largo y 37 m de ancho, que permite la ampliación de la estructura existente, aprovechando y reforzando dicha estructura donde fue posible y necesario.

### 2. Descripción de la estructura

La estructura, de 340 m de longitud total y 37 m de ancho, está formada por pórticos paralelos de dos vanos separados 10 m entre sí. Las vigas principales de los pórticos son de madera laminada

y tienen 1,84 m de canto, mientras que los pilares son de acero o de hormigón. Para la disposición del cerramiento superior se disponen una serie de correas formadas por perfiles doble "T". La cubierta se remata con dos muros cortina de vidrio para aislar de la intemperie la zona de facturación. La fachada de cierre frontal del edificio, que proporciona el cerramiento a la zona de acceso del tráfico rodado, se resuelve mediante una fachada de lamas semi-permeable.



**Figura 1. Pórtico tipo de la cubierta.**

En las tres alineaciones longitudinales de pilares, se disponen vigas de madera de arriostrado que permiten minimizar los esfuerzos de flexión transversal en los detalles de unión entre las vigas principales de madera y los pilares.

### **3. Concepción estructural**

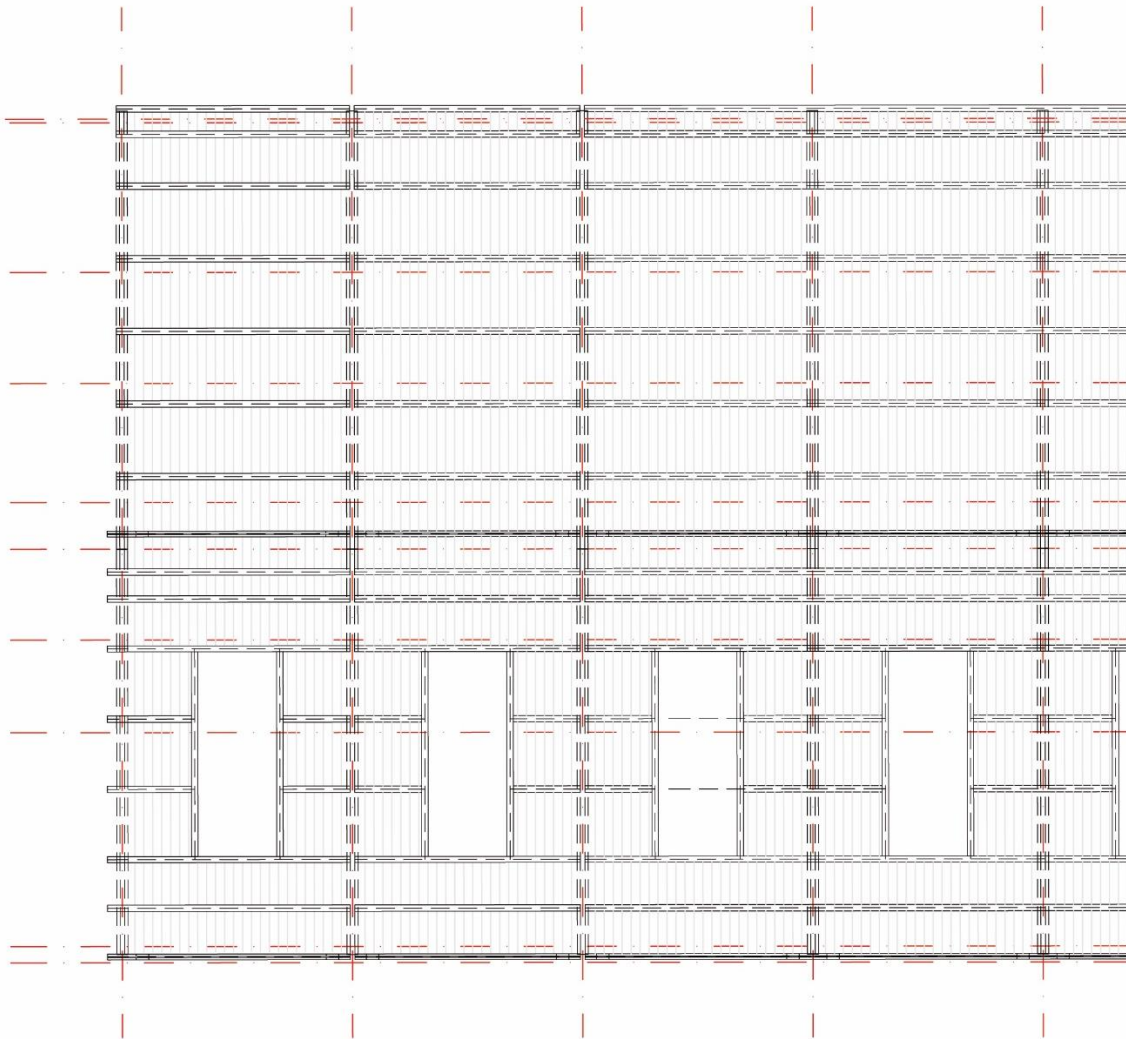
Con objeto de simplificar la estructura definida en el proyecto básico y de compatibilizar con ella algunas necesidades de la obra, se realiza una revisión completa y profunda de todos los elementos que la componen.

Para esta revisión, además, es necesario considerar el elevado número de condicionantes derivados de la situación actual de la estructura y la necesaria compatibilización de las juntas de dilatación de la nueva estructura y de la estructura existente. La estructura general está condicionada por la posición de los pilares y forjados existentes en los niveles inferiores, no todos a la misma altura, de manera que fue necesario disponer pilares metálicos para complementar los pilares existentes de hormigón y pilares de hormigón de nueva ejecución.

Para el diseño de la cubierta se prestó especial atención a las uniones entre las vigas de madera, minimizando su tamaño, y se redujo al mínimo el número de elementos auxiliares para el arriostramiento de los diferentes planos (verticales y horizontales), todo ello con objeto de reducir el impacto visual de estos elementos y dar mayor protagonismo a la estructura principal de madera y a las fachadas

La primera actuación implica la reducción de los elementos de arriostramiento inicialmente dispuestos, ya que estos resultan redundantes si se tienen en cuenta el comportamiento global de todos los elementos definidos en la cubierta.

En el caso concreto del arriostramiento horizontal de la cubierta, la gran rigidez de las correas necesarias para salvar los 10 m de separación previstos entre los pórticos principales, suponen por sí mismas, a partir de unos detalles de unión consecuentemente definidos, un eficaz arriostrado por efecto vierendeel, por lo que no es necesaria ningún tipo de diagonalización adicional en planta. A esta rigidización también contribuye la propia chapa grecada de cerramiento, aunque este efecto no se ha tenido en cuenta para verificar la estabilidad de la cubierta.



**Figura 2. Planta de un módulo tipo de cubierta.**

De igual modo, los pilares de hormigón definidos en la fachada frontal, deben resistir por flexión la totalidad de las cargas horizontales transversales a la cubierta (no es posible arriostrar mediante diagonales la cubierta en esta dirección ya que éstas quedarían dentro de la zona útil del edificio). También pueden resistir esfuerzos longitudinales, haciendo innecesaria la diagonalización longitudinal de esta alineación. Además, puesto que los pilares de hormigón, de 1,60 x 0,70 m de sección, tienen una rigidez muy elevada, en caso de querer disponer una rigidización eficaz mediante cruces de San Andrés, estas deberían tener una rigidez igualmente elevada para evitar la flexión de los pilares, lo que encarecería la solución final.

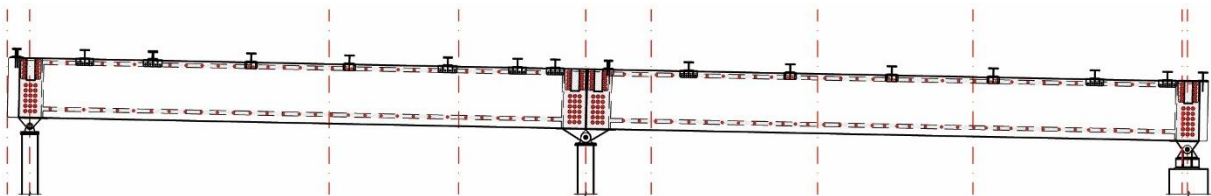
En el caso de las alineaciones con pilares metálicos, y puesto que la estructura queda vista a través de los muros cortina de vidrio, se dispone una diagonalización de ambas alineaciones longitudinales con objeto de aligerar lo máximo posible el peso visual de la estructura de acero.



**Figura 3. Vista general de la cubierta (Fotografía: Estudio Lamela)**

Durante la concepción estructural, se ha considerado como criterio general el asegurar que todos los detalles constructivos se comportan en la realidad tal y como se han considerado durante la verificación de los mismos, tanto en rotura como en servicio. Esta honestidad estructural se traduce en una estética identificativa del edificio fuertemente caracterizada por las rótulas metálicas en pilares y las uniones vistas en las vigas de madera.

Un condicionante importante para la definición de la estructura finalmente ejecutada, fue la necesidad de disponer vigas principales independientes entre pilares, con objeto de facilitar las labores de ejecución y montaje de la cubierta, además de minimizar el coste de transporte de la estructura desde el taller de fabricación de las vigas de madera a la obra. Este cambio a vanos isostáticos respecto al comportamiento de pórtico continuo inicialmente definido, implicó la necesidad de definir detalles de conexión complejos y sistemas de arriostrado eficaces de forma independiente para cada uno de los tramos de viga de madera.



**Figura 4. Detalle de viga principal de madera en dos vanos isostáticos.**

## **4. Verificación de la estructura**

### **4.1. Generalidades**

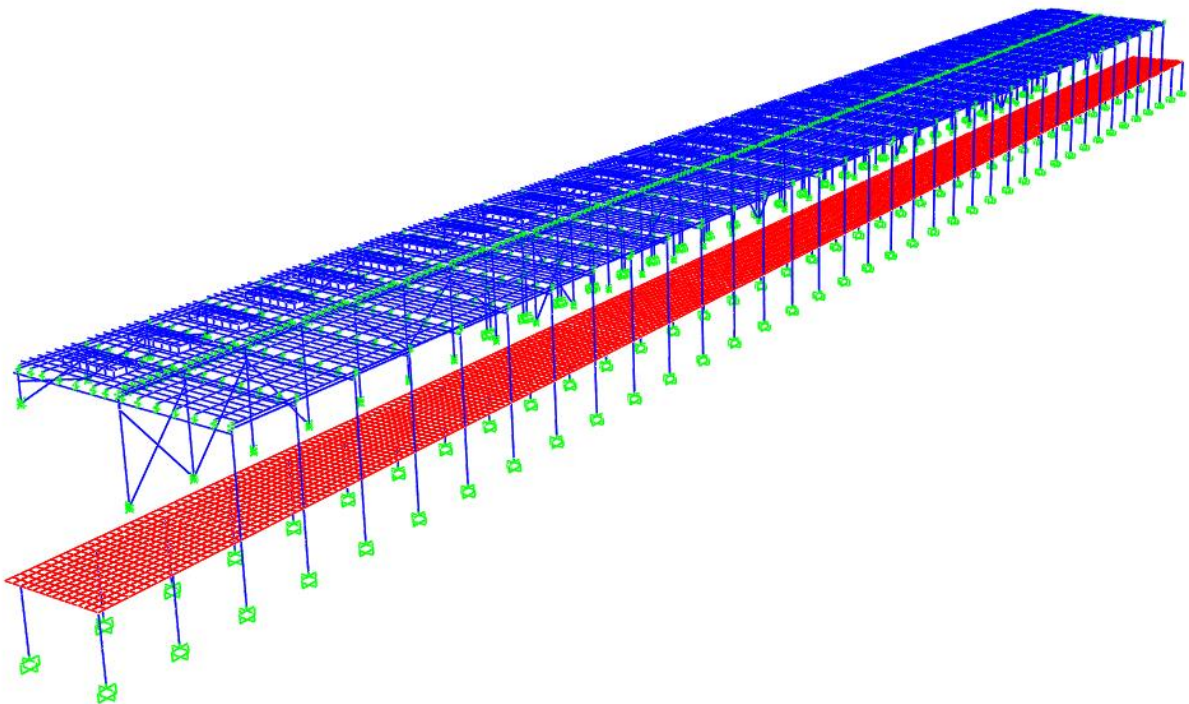
Puesto que la estructura está compuesta por elementos esbeltos que requieren de su deformación para activar de forma correcta su mecanismo resistente, se procede a realizar un modelo de cálculo global no lineal con grandes deformaciones “P-delta”, de forma que es posible considerar en el propio modelo de cálculo los esfuerzos producidos por los efectos de 2º orden, sin necesidad de



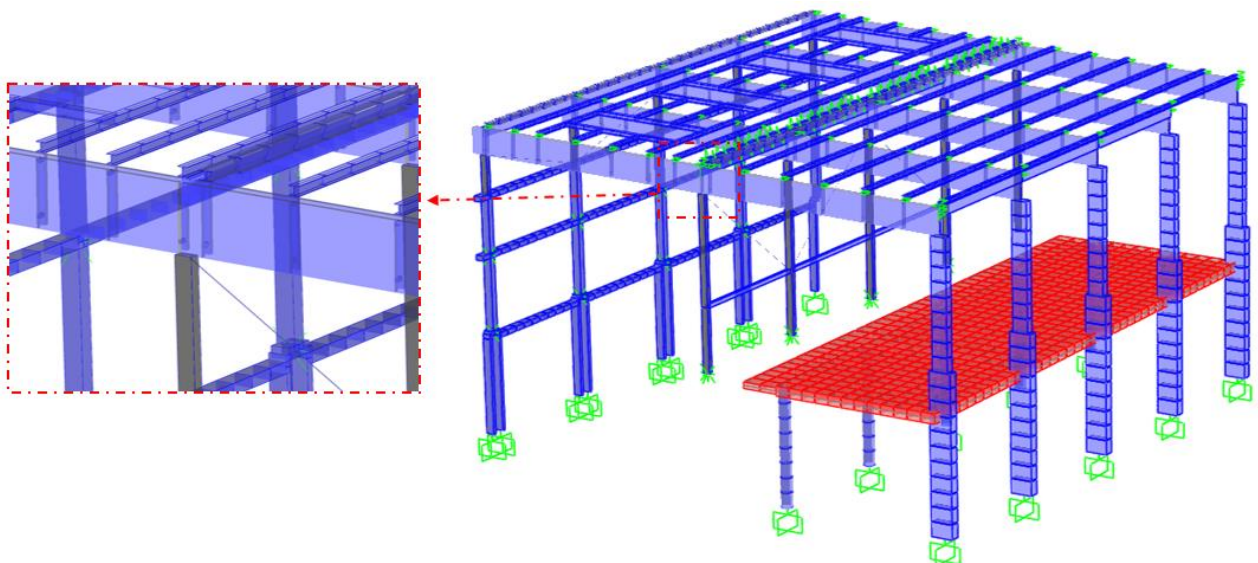
recurrir a cargas o acciones equivalentes a los mismos. Además, este modelo permite considerar de forma adecuada el comportamiento de algunos elementos, como son las barras diagonales de arriostramiento, con un marcado carácter no lineal y la fluencia y retracción de los elementos de hormigón.

#### 4.2. Modelo de cálculo

En el modelo de cálculo se consideran todos los módulos y elementos de la cubierta con sus juntas de dilatación, así como las juntas de dilatación del vial inferior que también se incorpora al modelo general de elementos finitos. Para la elaboración de este modelo se presta especial atención a las excentricidades entre los diferentes elementos con objeto de obtener directamente del modelo de cálculo los esfuerzos para el dimensionado de las uniones.



*Figura 5. Modelo general de cálculo de elementos finitos.*



*Figura 6. Detalle del modelo de cálculo con las excentricidades consideradas.*

### 4.3. Coacciones

Se definen, a partir de la geometría real de la estructura, las siguientes coacciones al modelo de cálculo:

- Empotramiento en la base de los pilares de hormigón.
- Apoyos simples en las tres direcciones en la base de los pilares metálicos. Para el dimensionado de las rótulas inferiores se considera un empotramiento en la dirección perpendicular a dichas rótulas.

### 4.4. Vinculaciones entre elementos

Para representar en el modelo de cálculo las conexiones entre los distintos elementos definidas a partir de los detalles constructivos, se consideran las siguientes vinculaciones entre elementos finitos:

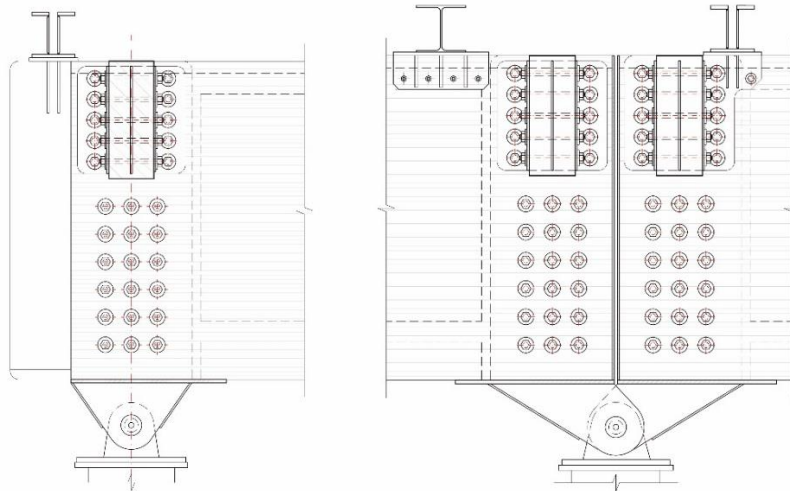
- Los pilares, tanto metálicos como de hormigón, tienen liberados los giros en ambas direcciones de flexión en cabeza, siendo por tanto el apoyo de las vigas principales de madera sobre los pilares el correspondiente a un apoyo simple en las tres direcciones. Para el dimensionado de las conexiones entre los pilares y las vigas de madera, se considerará un empotramiento en la dirección perpendicular a la rótula física.
- Todas las diagonales de arriostramiento tienen liberados los giros en ambas direcciones de flexión en ambos extremos.
- Las correas principales tienen liberado el giro para la flexión en el plano vertical y coaccionado el giro en el plano horizontal.
- Se disponen una serie de elementos auxiliares sin rigidez para repartir la carga a las correas metálicas, no siendo parte de ningún mecanismo resistente global de la estructura.
- La posición real de cada elemento considerando la distancia entre sus centros de gravedad, se materializa mediante "links" rígidos sin masa.

## 5. Detalles constructivos

Una vez determinado el comportamiento global de la estructura y definidos los sistemas de arriostrado necesarios, la labor fundamental para la definición final de la estructura es la definición de los detalles constructivos. En esta estructura particular, la correcta definición de estos detalles resulta fundamental, tanto desde el punto de vista estructural como desde el punto de vista estético, ya que no sólo prácticamente todas las uniones son vistas, sino que es necesario que estos detalles permitan la transmisión de esfuerzos entre elementos de diferente material: acero, madera y hormigón, adaptándose a las particularidades de cada uno de ellos.

### 5.1. Uniones viga principal-pilares

Estas uniones deben permitir la conexión de las vigas principales de madera con los pilares. Para el diseño de estas uniones se han tenido en cuenta tanto criterios resistentes como estéticos, intentando delimitar de forma clara la estructura de madera de la estructura metálica. Aunque se dispone una rótula, y, por tanto, una articulación en la unión viga-pilar, es necesario un elevado número de tornillos para garantizar la resistencia de la unión frente a los esfuerzos internos derivados de las excentricidades en la misma.



**Figura 7. Detalles de conexión vigas principales-pilares.**

### 5.2. Uniones viga principal-viga secundaria

Las vigas secundarias son fundamentales para el arriostrado de la cubierta y para evitar la aparición de grandes esfuerzos locales en el eje perpendicular a las rótulas de apoyo de las vigas principales, por lo que esta unión debe permitir el empotramiento de las vigas secundarias y la continuidad de todos los esfuerzos. La unión de las vigas secundarias con las vigas principales se integra, tal y como puede observarse en las figuras 7 y 8, con las uniones de estas últimas con los pilares.



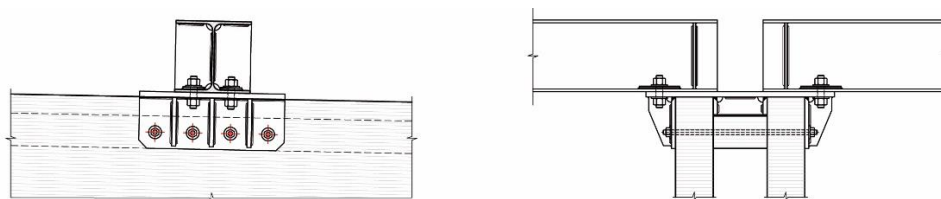
**Figura 8. Estructura de cubierta durante la ejecución.**

### 5.3. Uniones correas-viga principal

Las correas se consideran articuladas en su eje de flexión principal pero empotradas en el plano de la cubierta, ya que son las encargadas de proporcionar la rigidización necesaria a la misma, comportándose, en su conjunto, como una viga vierendeel en su plano. De igual modo, es necesario que la unión sea capaz de transmitir esfuerzos axiales de las correas significativas, sobre todo en las correas extremas.



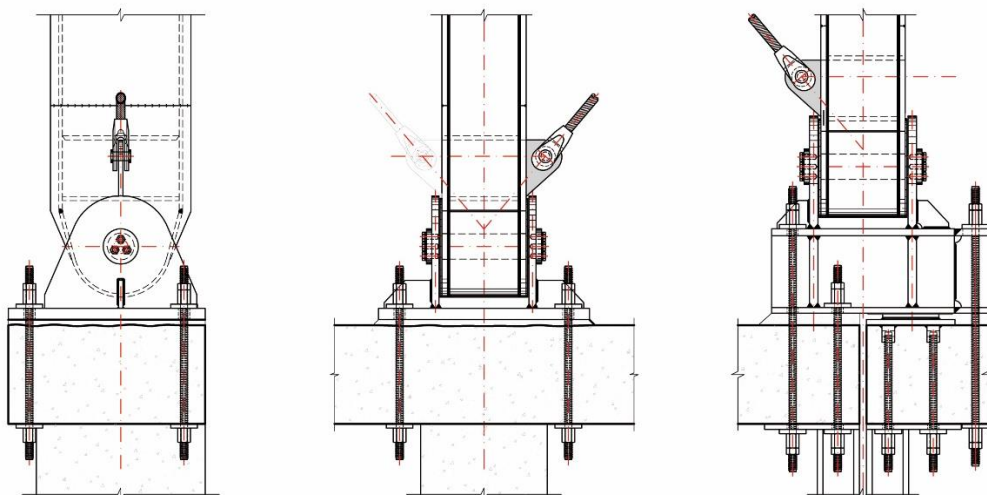
Esta unión tiene algunas particularidades que hicieron necesario un estudio muy detallado de los esfuerzos solicitantes, así como del uso de tipologías poco convencionales, como son los tornillos inyectados, para garantizar la transmisión de cargas elevadas en un espacio reducido en el que, además, no es posible soldar por la proximidad de la viga de madera.



**Figura 9. Detalle de conexión correas-vigas principales.**

#### 5.4. Apoyos inferiores de pilares metálicos

El apoyo de los pilares metálicos sobre la estructura existente se realiza mediante rótulas. En este caso fue necesario compatibilizar la disposición de un pilar único con las juntas de dilatación de los edificios existentes materializadas con doble pilar, para lo que se diseñaron uniones específicas.



**Figura 10. Detalles de apoyo de pilares metálicos.**

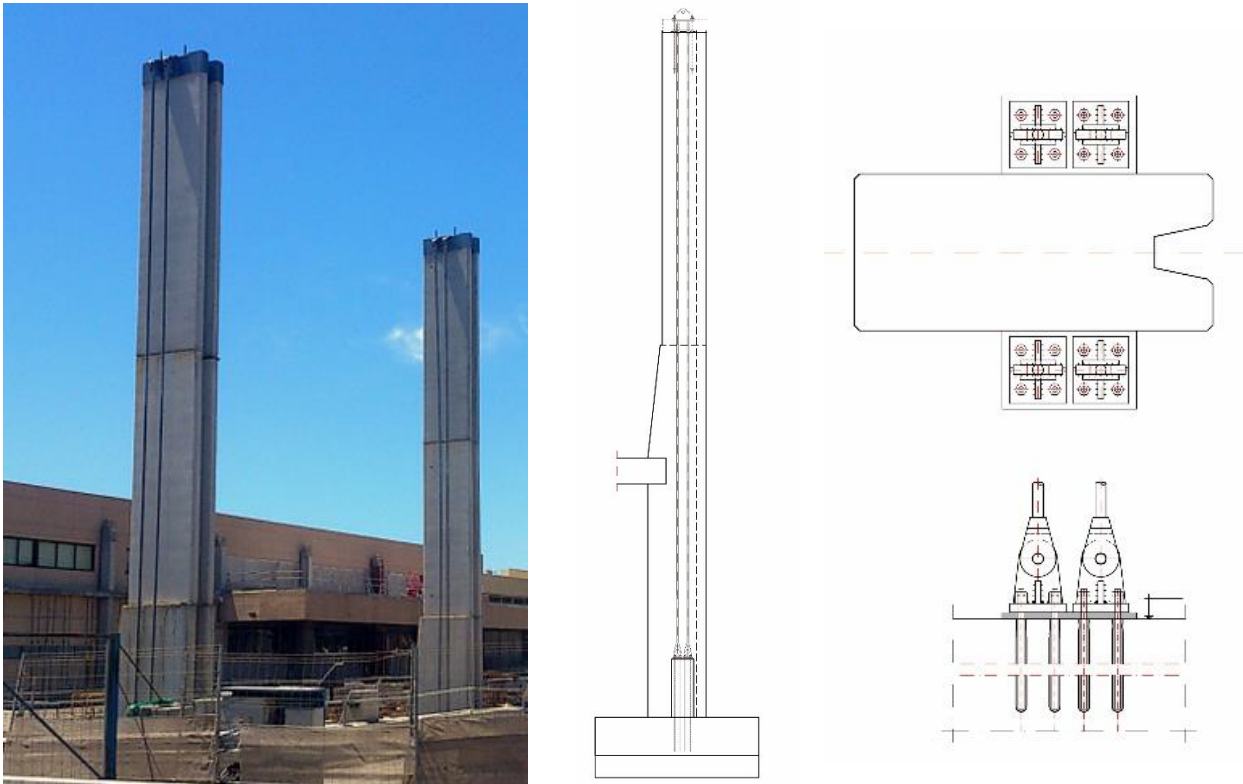
## 6. Pilares de hormigón

### 6.1. Metodología de cálculo

Los pilares de hormigón de la fachada principal son elementos de especial importancia, ya que no sólo están sometidos a esfuerzos significativos sino que de ellos depende el correcto comportamiento de la estructura frente a las acciones transversales durante toda su vida útil. Para mejorar el comportamiento de estos pilares se dispuso un pretensado exterior por medio de barras con objeto de minimizar los movimientos de la estructura.

Para realizar la comprobación de los pilares de hormigón se realizó un cálculo no lineal, teniendo en cuenta tanto la no linealidad en el comportamiento tenso-deformacional de los materiales, mediante los diagramas momento-curvatura de cada una de las secciones, como la no linealidad geométrica del sistema, es decir, la satisfacción del equilibrio de la estructura en su situación deformada. Para poder considerar los efectos de la temperatura en las barras de pretensado exterior de los pilares se introdujeron también en el modelo estas barras como elementos independientes.





**Figura 11. Pilares de hormigón con pretensado exterior.**

## 6.2. No linealidad geométrica

Una pieza empotrada en su base y libre en cabeza y sometida a una carga vertical y a una carga horizontal sufre una amplificación de la deformada debida a la carga horizontal como consecuencia de la presencia de dicho axil. Esta circunstancia es de carácter general y válida para todo tipo de materiales elásticos y lineales. En el caso del hormigón armado, el factor que define la rigidez ( $EI$ ) es fuertemente variable como consecuencia de la fisuración del hormigón y la plastificación del acero de armar. Esta circunstancia hace muy complicado el análisis no lineal de las piezas de hormigón armado puesto que la rigidez de cada sección de la pieza es función de los esfuerzos ( $M$ ,  $N$ ) que actúan en la sección para una determinada situación de cálculo, de la geometría de la sección de hormigón y de la disposición de la armadura en dicha sección.

## 6.3. No linealidad de los materiales

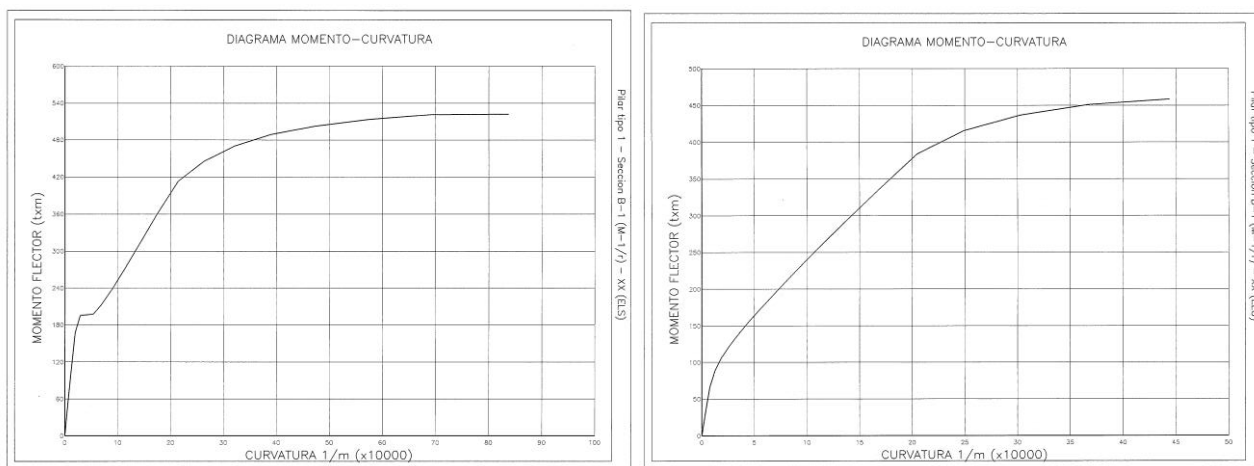
La no linealidad mecánica de los materiales se tiene en cuenta a partir del diagrama momento-curvatura. Puesto que los esfuerzos axiales son conocidos, es posible determinar las relaciones momento-curvatura que constituyen la respuesta seccional y determinan el comportamiento deformacional de las pilas para cada situación de cálculo.

Para el hormigón se considera la formulación incluida en los comentarios del Artículo 21 de la Instrucción EHE-08, no obstante ésta tan sólo da información de la rama de compresión. Si se quiere aproximar el comportamiento real del material, es necesario considerar que, cuando las tracciones solicitantes superan la resistencia a tracción del hormigón y se produce la fisuración, el carácter discreto de éstas implica la existencia de una parte de hormigón entre fisuras que colabora en la resistencia de la pieza gracias a las tensiones de adherencia con el acero. Esta colaboración del hormigón traccionado entre fisuras produce un efecto de rigidización denominado habitualmente "tensión stiffening". Para la rama en tracción se considera  $f_{ct,m}$  como valor resistente máximo y una

parábola descendiente hasta alcanzar una deformación máxima igual a 4 veces  $\epsilon_{ct}$ , siendo  $\epsilon_{ct}$  la deformación en el hormigón para la tracción  $f_{ct,m}$ .

Para el acero de armar se considera el diagrama tensión-deformación definido en la EHE-08 con un escalón de cedencia correspondiente a una deformación del 2%.

A partir de estos diagramas tensión-deformación de los materiales se obtienen los diagramas momento-curvatura de todas las secciones del pilar, tanto en servicio como en rotura, para ambos ejes. Para los diagramas en servicio se consideran los valores característicos de las propiedades del hormigón y acero, mientras que para los diagramas en estado límite último se consideran los coeficientes de minoración de resistencia de cada material y se desprecia la resistencia a tracción del hormigón.



**Figura 12. Diagramas momento-curvatura en ELS y ELU.**

## 7. Ficha técnica de la estructura

### Datos de la obra

Ubicación	Las Palmas
Año de ejecución	2013
Propiedad	AENA
Proyecto constructivo y asistencia técnica	CESMA Ingenieros
Constructora	FCC
Arquitectura	Estudio Lamela

### Datos técnicos

Longitud total	340 m
Ancho	37,27 m
Superficie	12.672 m <sup>2</sup>
Luz máxima	19,04 m
Sección vigas principales de madera	0,48 x 1,84 m
Cuantía de acero estructural	35 kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 1. Resumen características de las estructuras.**

## 8. Referencias

[1] Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.