

# Estructuras Textiles en el Puerto de Las Palmas de Gran Canaria

## *Textile Structure at Port of Las Palmas de Gran Canaria*

José Fermín Serrano Miguel<sup>a</sup>, Iñaki Auzmendi Alfaro<sup>b</sup>, Arturo Ruiz de Villa Valdés<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Máster en Ingeniería de Estructuras. Jefe de Proyecto. AR2V Ingeniería y Proyectos

<sup>b</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyecto. AR2V Ingeniería y Proyectos

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director General. AR2V Ingeniería y Proyectos

### RESUMEN

AR2V INGENIERÍA resultó adjudicatario junto a Dragados del concurso para el diseño y construcción de tres marquesinas y una carpa de tela en la terminal de embarco y desembarco de pasajeros de cruceros en el Puerto de Las Palmas. El propósito de estas construcciones es el cobijo de los viajeros que transiten de la terminal al aeropuerto, y se requiere de ellas que tengan gran durabilidad debido a su carácter permanente. Se optó por una solución robusta y de alta calidad que además consolida la solemnidad del espacio. En este artículo se exponen los condicionantes principales de diseño y las implicaciones estructurales que supone el empleo de aluminio y acero inoxidable.

### ABSTRACT

AR2V INGENIERÍA and Dragados were awarded the public tender for the design and construction of three textile canopies and a marquee at the cruise passenger boarding terminal at the Port of Las Palmas. The purpose of these constructions is giving an appropriate shelter for the travelers who travel from the terminal to the airport. High durability is a decisive requirement, due to them being installed permanently. A sturdy, high quality system of structures was designed, which also reinforces the aesthetics of the area. In this article, the main design conditions are expounded, together with the structural implications of adopting aluminum and stainless steel for construction.

**PALABRAS CLAVE:** Arquitectura textil, tensoestructura, membrana, aluminio, acero inoxidable

**KEYWORDS:** Textile architecture, tensile structure, membrane, aluminium, stainless steel, canopy

## 1. Introducción

El Puerto de Las Palmas de Gran Canaria recibe a miles de turistas anualmente por medio de cruceros. Asimismo, la propiedad tiene la intención de realizar un tránsito directo entre la terminal del puerto y el aeropuerto.

Anteriormente, la Autoridad Portuaria de Las Palmas tenía contratadas en régimen de alquiler varias carpas de aluminio con techo en lona impermeable que tenían por objeto guarecer a los pasajeros mientras esperan a realizar el

control de seguridad de acceso al buque o esperan al bus o taxi en el Muelle de Santa Catalina.

De no ser por estas, el área de espera de autobuses carecería de zonas de sombra, lo que perjudicaría el bienestar de los viajeros que aguardan a la llegada de su transporte. Para resolverlo, se planteó la instalación definitiva y a largo plazo de tres marquesinas y una carpa de tela sustentadas por perfiles de aluminio.



Figura 1. Muelle de Santa Catalina

## 2. Estructura Metálica

Los trabajos que se plantean en el presente artículo con llevaron la ejecución de una carpa central de acceso a los Edificios Norte y Sur desmontable de carácter permanente, de medidas 20.7x17 metros, cubriendo por sí sola una superficie de 352 m<sup>2</sup>; y de tres marquesinas de espera en el lado poniente desmontables de carácter permanente con medidas en planta 40.5x4 metros, 31.5x2.5 metros y 40.5x3.0 metros, que suman entre todas una superficie total de cobertura algo superior a 362 m<sup>2</sup>.

### 2.1 Marquesinas

Se trata de estructuras basadas en la sucesión de pórticos de aluminio iguales entre sí y separados una distancia fija de 4.5 metros. El material fundamental con el que están construidas es aluminio 6005A T6 de aleación especial marina, siendo el empleo de este material uno de los requisitos contractuales por el entorno en el que se encuentra la obra y el requerimiento de durabilidad.



Figura 2. Marquesina 1

Las estructuras se han proyectado como un continuo de pórticos debido a que se transmite una carga de una magnitud importante de los perfiles en onda sinusoidal a los pilares por el tensado de la tela, y consecuentemente la disposición de pilares entre ambos hace que desaparezcan los esfuerzos de flexión, que por este motivo hace que los tubos a los que queda atada la tela sean de mayor tamaño.



Figura 3. Pórticos transversales

Los tubos longitudinales que conectan los pórticos y a los que se ata la tela se han diseñado curvos de manera que simulan el oleaje del mar. Uno de los objetivos de su diseño fue dar una doble curvatura a la tela que mejore su respuesta frente a la acción del viento, aportándole más rigidez y limitando sus deformaciones. Adicionalmente, se consigue una estética en confluencia con la zona en la que se encuentran.



**Figura 4. Alzado sinusoidal de los perfiles longitudinales**

Los nudos de la estructura se proyectan de acero inoxidable para evitar la realización de soldaduras en el aluminio, acción que comprometería su resistencia reduciéndola en un 60%. Uno de los requerimientos por parte de la propiedad es que las estructuras fueran desmontables, exigencia que se ha cumplido resolviendo todos los nudos mediante machones que se insertan en los tubos de la estructura principal, formando uniones soldadas atornilladas. Se han empleado tornillos de cabeza avellanada que quedan al ras de la superficie de los tubos, quedando la unión limpia y armónica.

El acero empleado en dichas uniones es 1.4401 (AISI 316), que presenta una resistencia a la corrosión y oxidación formidable.



**Figura 5. Nudo atornillado y desmontable**

## 2.2 Carpa

La carpa supone una variación geométrica importante con respecto a las marquesinas. Tiene una forma más cuadrada en planta, en oposición a las marquesinas que se elementos fundamentalmente longitudinales.



Figura 6. Fachada de carpa y cerramiento

Los perfiles a los que se ancla la tela no forman ondas sinusoidales en este caso, sino que se trata de sucesivas crestas hacia arriba. Esta decisión se debe en parte a una limitación

de altura máxima de la carpa, que, junto con el gálibo mínimo a cumplir para el confort de los usuarios, supusieron una reducción de la amplitud de onda, y se deseaba mantener las crestas de la onda lo más altas posibles. El aspecto sinusoidal de onda se potencia por medio de un perfil decorativo que atraviesa los frontales de la carpa en oposición de fase a la viga principal a la que se ancla la tela.

Los materiales empleados en la carpa son los mismos que en las marquesinas, tubos redondos de aluminio para la estructura principal y acero inoxidable en los nudos. En el caso de la carpa, también se emplean cables de acero en los extremos para agarrar la tela, de manera que las vigas no se lleven esfuerzos de flexión excesivos debido a su tesado o a la acción del viento.

Los pilares de todas las estructuras son revestidos de bolondo, una madera tropical imputrescible de alta calidad y durabilidad con un gran acabado.



Figura 7. Interior de la carpa y disposición de pilares

### 3. Cimentaciones

La cimentación de todas las estructuras de las marquesinas del proyecto se ha resuelto mediante zapatas aisladas. Durante la obra, se identificó la existencia de una galería de hormigón y se consideró adecuada la posibilidad de apoyarse en el dintel de dicha galería directamente.

En el caso de la Carpa, se diseñó una cimentación de zapatas unidas mediante vigas riostra. En el momento de construcción, se decidió que en dos de los laterales la cimentación se resolvería mediante zapatas corridas debido a mayor comodidad.

Las cargas a las que estaba sometido el terreno no son de gran entidad, por tanto, en el dimensionamiento de las cimentaciones primaba impedir su levantamiento debido a la carga de viento.

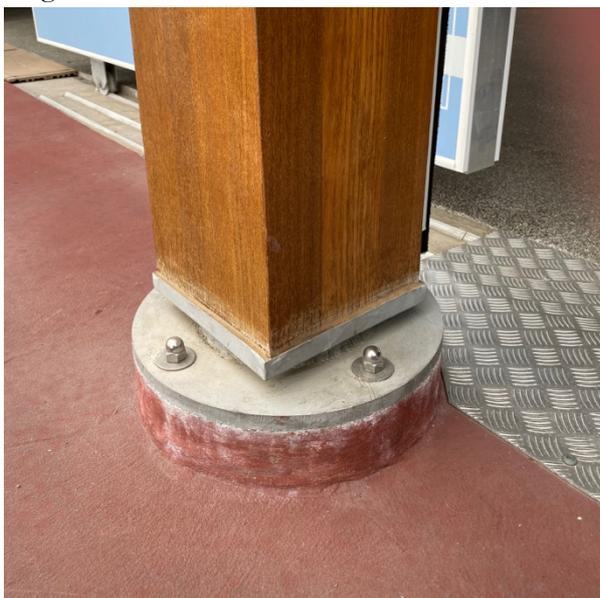


Figura 8. Arranque de pilares y placa de anclaje

Una vez que se ejecutaba la obra de hormigón, se colocan las placas de anclaje de acero inoxidable centradas sobre las zapatas, que llevarán soldadas también unos tubos de acero inoxidable. Esta metodología de ejecución se fundamenta en que se trate de una construcción de montaje y desmontaje sencillo, de modo que la estructura metálica de las

marquesinas y las carpas queda insertada de modo telescópico en dichos tubos de acero. De esta manera se evita el contacto de aluminio de la estructura principal con el hormigón, ya que el primero puede corroerse cuando entran en contacto y hay cloruros presentes en concentraciones significativas. Para su desmontaje, solo será necesario extraer los pilares de aluminio que tienen insertados telescópicamente los machones de acero y, posteriormente, levantar los pernos para extraer la placa de anclaje y dicho perfil de acero.



Figura 9. Extremo de marquesina desmontable

### 4. Estructura textil

Es la unidad de obra fundamental y la que diferencia a esta obra de cualquier otra cubierta simple hecha de madera, hormigón o metálica. Se ha empleado una lona de polyester recubierta de PVC ignífuga de 900 gr de la marca Ferrari. Toma una forma de paraboloides hiperbólico como se ha mencionado en la solución técnica propuesta, haciendo que su rigidez aumente. En proyecto, se trató de una superficie reglada de doble curvatura total negativa, pues los centros de los radios de curvatura de cada juego de curvas estaban ubicados en lados opuestos de la superficie. Es decir, se podía generar por dos familias de parábolas de curvatura opuesta, o bien por dos familias de rectas a 45° con los planos de parábolas. Finalmente, se optó por un sistema en el cual los radios de curvatura de cada juego

están ubicados paralelos en el mismo lado de la superficie, lo cuál no impide que se desarrolle dicha doble curvatura.

En esta unidad de obra, además, hay diferencias significativas en cuanto al tendido de las marquesinas y el de la tela. En el tendido de la membrana de tela en las marquesinas, esta se tensa directamente a los perfiles sinusoidales, apareciendo en ellos esfuerzos de flexión. Se hace así porque es una solución sencilla y que puede ser recogida en los vanos de 4.5m sin mayores dificultades por los perfiles sinusoidales. Además, no se supera la flecha máxima horizontal por el tensado de la lona en ningún momento.

En el caso de la carpa, el sistema es diferente. Las luces a salvar son sustancialmente mayores, lo que aumentaría los esfuerzos de flexión a los que está sometida y requeriría de perfiles desproporcionadamente grandes. Por este motivo, se emplean cables tensores, que están apoyados en mástiles y sometidos únicamente a esfuerzos de compresión, por lo que la flexión desaparece y se la lleva toda el cable, quedando la lámina tensada por sus extremos, en direcciones y sentidos opuestos. El cable toma una forma parabólica de agradable acabado estético.



Figura 10. Cable tensor en contorno de membrana

Para tomar las decisiones de diseño se han consultado diversas normativas y recomendaciones internacionales, entre las que destacan las recomendaciones francesas [5] que establecen que la relación entre la cuerda y la flecha sea inferior a 20 y el radio inferior a 70 metros, de modo que se pueda estabilizar la forma de la membrana. También advierte de

que la estructura portante debe ser estable en ausencia de la membrana, realidad que se cumple.

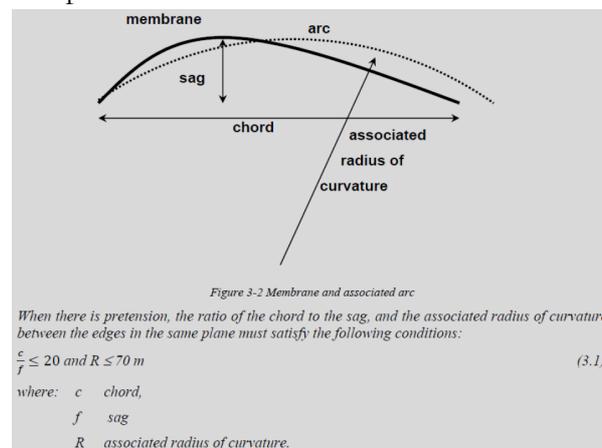


Figura 11. Relación entre cuerda, flecha y radio en membrana

## 5. Integración en el entorno

La integración de las marquesinas y la carpa en el entorno es muy armónica. Ya existían con anterioridad otras cubiertas de tela de carácter permanente en el puerto, formando las nuevas parte del conjunto con naturalidad. La apariencia oscilatoria de los perfiles, en simulación del oleaje del océano, incrementa la sensación de tener el mar en la tierra.



Figura 12. Vista tres marquesinas y carpa

Se espera como agente corrosivo fundamental el propio del ambiente marino. Para ello se emplea, como se ha comentado anteriormente, aluminio 6005A T6 anodizado en su superficie. Su resistencia a la corrosión es de tipo B según la tabla 3.1a del Eurocódigo

EN-1999-1-1, lo que significa que de acuerdo a la tabla D.1 del Anejo D del mismo Eurocódigo, no es necesaria protección adicional. Para la tornillería, perfiles telescópicos y placas de anclaje se emplea acero 316. Su composición incluye 2-3% de molibdeno lo que previene la aparición de corrosión y mejora su resistencia a la misma. Se refiere a menudo a este tipo de acero como el acero "grado marino" debido a su resistencia a la corrosión en cloruro, convirtiéndolo en un material muy apropiado para usarlo en ambientes cercanos al océano.



Figura 13. Sistema de drenaje de la marquesina

## 6. Análisis estructural / cálculo

El estudio de la estructura metálica y la membrana se ha realizado simultáneamente en el mismo modelo. El proceso de cálculo ha consistido en aplicar una tensión a la tela, de manera que se obtuviese la silueta definitiva de la lona en reposo. En este caso, al igual que en todas las membranas, se aspiraba a que el comportamiento estructural apropiado se alcanzara por forma, y para ser más preciso, por su doble curvatura anticlástica. No obstante, se presentaron limitaciones debido a los estrictos gálibos verticales y tope de altura. Dichas limitaciones, en el caso de la carpa, han implicado una falta de curvatura en la zona central de los vanos.

Aún con las restricciones de diseño, se asumió el reto de diseñar la membrana de

manera que sus deformaciones bajo la acción del viento no fuesen excesivas. Esto se consiguió, fundamentalmente, a través de una gran tensión de tesado. En los laterales de la carpa el anclaje se realizó mediante cables de acero inoxidable para reducir los esfuerzos horizontales que recibía el perfil al que se anclaba. Dicho sistema permite además reajustar la tensión de la lona y resulta en una mejoría estética.



Figura 14. Membrana de la carpa

En cuanto a la estructura metálica, para el modelo general se empleaba aluminio con un límite elástico relativamente alto. No había que diseñar la estructura solo para resistir las fuerzas de membrana que le transmitía la lona debido al pretensado y a las acciones climáticas (viento, principalmente), sino fundamentalmente a las deformaciones que el tensado de la tela y las acciones podían ejercer en ella, debido a que el aluminio tiene un módulo de elasticidad tres veces inferior al del acero. Esta situación comprometería la apariencia de la solución y el surgimiento de vibraciones indeseadas.

## 7. Conclusión

El diseño de la estructura no solo ha sido determinado por los requisitos habituales de este tipo de construcciones como pueda ser la acción del viento, sino que hubo que emplear aluminio para limitar el peso de la estructura, las marquesinas y la carpa debían ser totalmente desmontables y tener en cuenta la limitación de

altura máxima y gálibo mínimo en la carpa. Adicionalmente, se buscó la integración con el entorno marítimo en el que se encuentran.

### ***Agradecimientos***

Estas construcciones no podrían haberse llevado a cabo sin la colaboración del contratista (Dragados), subcontratistas (Moñita) y, por supuesto, el propietario, la Autoridad Portuaria de Las Palmas.

### ***Referencias***

- [1] Código Técnico de la Edificación
- [2] European Standard, Eurocode 0: Basis of structural design, C.E.N., 2002
- [3] European Standard, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, C.E.N., 2005
- [4] European Standard, Eurocode 9: Design of aluminium structures, 2007

- [5] Prospect for European Guidance for the Structural Design of Tensile Membrane Structures, Science and Policy Report (SaP-Report), N. Stranghöner, J. Uhlemann, F. Bilginoglu, K.-U. Bletzinger, H. Bögner-Balz, E. Corne, N. Gibson, P. Gosling, R. Houtman, J. Llorens, M. Malinowsky, J.-M. Marion, M. Mollaert, M. Nieger, G. Novati, F. Sahnoune, P. Siemens, B. Stimpfle, V. Tanev, J.-Ch. Thomas, Editors: M. Mollaert, S. Dimova, A. Pinto, S. Denton, 2016.

- [6] Background to the Science and Policy Report for Tensile Membrane Structures, Natalie Stranghönera, Jörg Uhlemanna, Marijke Mollaert, 2016

