

Estudio de los efectos del viento para el Resort Tropical Islands en Halbe, Alemania

Wind effects study for the Tropical Islands Resort in Halbe, Germany

Marina Hinojosa Lucena^a, José María Terrés-Nícoli^b, Manuel Benítez Velasco^c,
Enrique Hermoso^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Oritia & Boreas S.L. Coordinadora de proyectos. hinojosalucena@oritiayboreas.com

^b Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Oritia & Boreas S.L. Director ejecutivo. terresnicoli@oritiayboreas.com

^c Ingeniero de Civil. Oritia & Boreas S.L. Ingeniero de proyecto. benitezvelasco@oritiayboreas.com

^d Arquitecto. ArtyTech2-Hermoso & Heimannsfield arquitectos. Socio fundador. ehermoso@artytech2.es

RESUMEN

Este artículo presenta el estudio de la acción del viento sobre el Resort Tropical Islands, en Halbe, Alemania. El proyecto del Resort consistió en una remodelación de la cubierta y la fachada de un hangar de aviones en un antiguo aeródromo en Halbe, al sureste de Berlín, cuya modificación de uso ha consistido en la transformación en un complejo hotelero y parque acuático. Este artículo se centró en el estudio de las presiones diferenciales de diseño que actúan sobre la envolvente del edificio mediante la realización de ensayos en túnel de viento. A partir de los resultados obtenidos, se llevaron a cabo ensayos de carga sobre una muestra real de la fachada que permitiera garantizar la capacidad resistente del sistema propuesto.

ABSTRACT

This paper presents the wind study on the Tropical Islands Resort in Halbe, Germany. The Resort project consisted of a refurbishment of the roof and façade of an aircraft hangar on a former airfield in Halbe, southeast of Berlin, which has been converted into a hotel complex and water park. The study focused on the determination of the design pressures acting on the building envelope by means of wind tunnel tests. The results were used to carry out load tests on a real sample of the façade in order to guarantee the resistance capacity of the proposed system.

PALABRAS CLAVE: Gestión de estructuras, remodelación uso, ensayos, viento, muestra escala real.

KEYWORDS: Structural management, use refurbishment, testing, wind, full-scale sample.

1. Introducción

El Tropical Islands Resort se ubica en un hangar de aviones del antiguo aeródromo de Brand-

Briesen, en Halbe, un municipio del distrito de Dahme-Spreewald, en Brandeburgo (Alemania), a 50 km del límite sur de Berlín. El complejo consta de una cúpula dirigible de unos 360 m x 210 m x 110 m de altura (véase la figura 1).



Figura 1. Vista exterior del Resort.

2. Clima de viento

A partir de los datos históricos de viento de la estación meteorológica de Baruth se ha desarrollado el modelo climático y la distribución de probabilidad bi-variada de intensidad y dirección. Los máximos anuales fueron ajustados mediante una distribución de valores extremos Tipo I (Gumbel). Este análisis predice velocidades medias horarias de viento de 20.5 m/s a 10 metros de altura para un período de retorno 50 años. No obstante, la velocidad se ha ajustado para que coincida con los 23.7 m/s definidos en el Anejo Nacional del Eurocódigo.

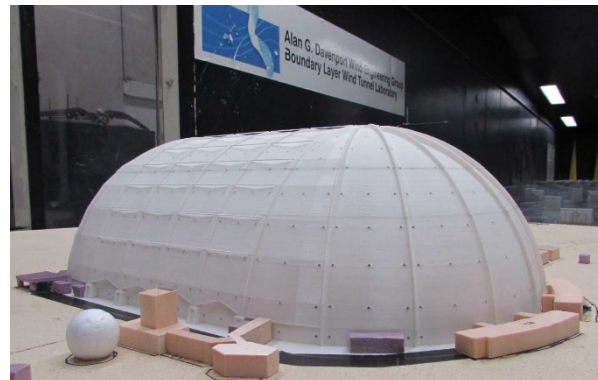
El modelo de clima de viento indica que los vientos más importantes son los procedentes de direcciones oeste.

3. Estudio del hangar y del entorno

3.1 Modelado del lugar y del viento

El estudio se ha realizado a partir del ensayo de un modelo rígido del proyecto a escala 1:500. El modelo se diseñó para la medida de la presión en un total de 546 puntos. Esta resolución se consideró suficiente para identificar los cambios bruscos y los picos de presión locales, así como para permitir la integración de las cargas procedentes de la medición simultánea de la presión en la envolvente. Dadas las dimensiones de la sección de ensayo del túnel de viento, la escala geométrica del modelo se seleccionó para permitir efectos de bloqueo despreciables. A la

escala seleccionada, el bloqueo máximo del modelo es inferior al 2.9 % del área de la sección de ensayo, por debajo del límite del 5 % impuesto por la norma ASCE.



**Figura 2. Vista del modelo de presiones.
Oritia&Boreas**

La simulación correcta de las características del campo de flujo en el túnel de viento se basa en tres componentes fundamentales:

1. El modelo rígido (modelo de presión) del hangar, construido mediante tecnología de prototipado y expuesto anteriormente.
2. El modelo de proximidad, que reproduce todos los detalles aerodinámicamente significativos en un radio aproximado de 600 m alrededor del hangar.
3. Modelos genéricos del terreno aguas arriba, modelizados mediante el establecimiento de alturas adecuadas de bloques genéricos de rugosidad y mediante espiras generadoras de turbulencia para producir características del viento representativas de las del emplazamiento del proyecto.

3.2 Ensayos en túnel de viento de capa límite

La herramienta básica utilizada para el estudio es el túnel de viento de capa límite.

El modelo fue ensayado en condiciones de flujo turbulento de capa límite para 36 direcciones de viento en intervalos de 10° con objeto de determinar las presiones locales.

El modelo del edificio y el modelo de proximidad se rotan para simular las diferentes

direcciones del viento, modificándose el terreno a barlovento según convenga.



Figura 3. Modelo de presiones en túnel de viento de capa límite. Oritia&Boreas

Los datos aerodinámicos del túnel del viento se analizaron y combinaron con el modelo estadístico del clima de viento utilizando el “Método Upcrossing” para obtener predicciones de cargas y efectos del viento para un rango de periodos de retorno.

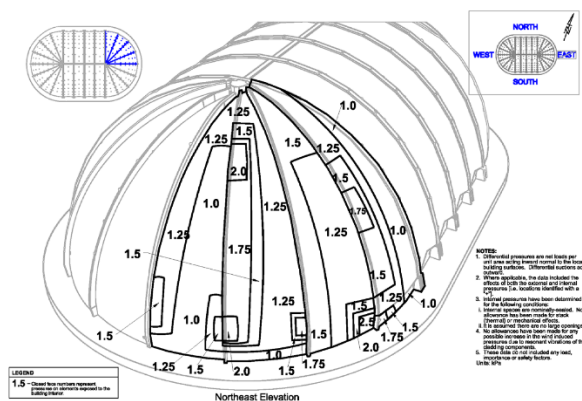


Figura 4. Ejemplo de diagrama de zonas para la predicción de las succiones diferenciales pico para un periodo de retorno de 200 años. Vista noreste.

3.3 Resultados de presiones locales

Se obtuvieron resultados numéricos y de diagramas de zonas que resumen la predicción de presiones y succiones diferenciales actuantes sobre la fachada del edificio para un periodo de retorno de 200 años. La mayor presión diferencial (actuando hacia la superficie sobre la que actúa) es de 2.0 kPa y la mayor succión

diferencial (actuando desde la superficie) es de 3.5 kPa, y tiene lugar en el lado noroeste del hangar, cerca del nivel del suelo.

4. Ensayos de carga en muestra a escala real

4.1 Introducción

A partir de una muestra prototipo del sistema de revestimiento de fachada del hangar se dispuso para su ensayo en banco diseñado para este propósito en laboratorio. Las pruebas se llevaron a cabo para verificar el diseño bajo las presiones de viento previstas. La muestra tenía 6 m de largo por 2.2 m de ancho y un espesor variable de 0.51-0.69 m. Se colocó un marco de acero debajo de la muestra para proporcionarle la conexión adecuada con el banco de ensayos fabricado por Oritia & Boreas. Este marco metálico se fijó al banco de pruebas, de acuerdo a lo prescrito por el diseñador del sistema.



Figura 5. Fotografía de la muestra de fachada a escala real situada sobre el banco de ensayos desarrollado. Oritia & Boreas.

4.2 Pruebas de carga

4.2.1. General

Se definieron los siguientes tipos de pruebas de carga:

1. Carga puntual.
2. Máximo pico de presión diferencial previsto para un periodo de retorno de 200 años.
3. Pruebas de carga de succión.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio LACIAD de Oritia & Boreas en Escúzar, Granada, España.

Se diseñó y construyó específicamente un banco de pruebas para desarrollar los ensayos. El sistema constaba de una estructura inferior sobre la que se apoyaba perimetralmente el bastidor, y un puente de carga superior para la aplicación de cargas de succión. Se instaló un sistema hidráulico con 36 depósitos de 150 L para aplicar las cargas de forma progresiva y controlada sobre la muestra a escala real. El caudal bombeado era controlado mediante un caudalímetro. El procedimiento de carga se inició llenando uniformemente los distintos depósitos para transportar el volumen necesario para la carga prevista.

La superficie total de la muestra era de 13.73 m^2 divididos en tres niveles diferentes: un nivel completo de 10.19 m^2 y una porción de los niveles inferior y superior de 1.56 m^2 y 1.98 m^2 , respectivamente. La chapa exterior de aluminio estaba formada por una costura alzada de doble cierre, formando costillas longitudinales de 53 cm cada una. Los niveles inferior y superior incluyen cinco costillas que forman cuatro superficies completas, mientras que el nivel intermedio incluye cuatro costillas y, por tanto, tres superficies completas. Las cargas de presión y succión se aplicaron a las tres superficies completas del nivel intermedio (7.78 m^2) y a las dos superficies centrales de los niveles superior e inferior (0.95 m^2 y 0.75 m^2 , respectivamente). Se colocaron placas de distribución de cargas para repartir las fuerzas sobre las superficies de muestra.

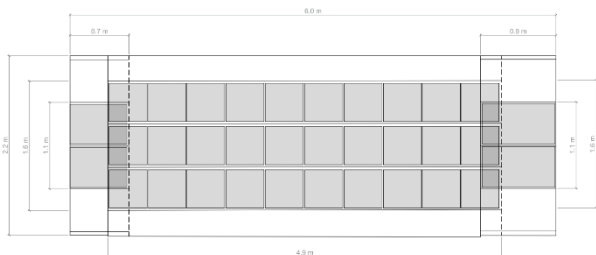


Figura 6. Superficies de carga para los ensayos.

La acción del viento es de naturaleza dinámica, y genera fuerzas de inercia sobre las

estructuras. Sin embargo, las cargas de presión y succión se aplicaron en los ensayos de forma progresiva hasta alcanzar el valor establecido. Las cargas aplicadas sobre la muestra fueron estacionarias y, por consiguiente, sin contribución de fuerzas de inercia. Esto puede resultar adecuado suponiendo que el sistema sea suficientemente rígido con frecuencias modales locales claramente superiores a 1 Hz.

Además, no se aplicó ningún factor de reducción de la presión o la succión basado en la escala del área tributaria, como es práctica habitual en las normas de carga de viento.

4.2.2. Carga puntual

Este ensayo se basó en la aplicación de una masa de 150 kg sobre una superficie de 5 cm x 5 cm en el borde de la ménsula de la muestra. El objetivo era evaluar el comportamiento en la zona más desfavorable debido a una carga concentrada durante los trabajos de construcción y mantenimiento de la fachada.

Se observó un desplazamiento máximo de aproximadamente 9 mm, presumiblemente dentro del rango elástico, recuperando de nuevo la posición original una vez retirada la carga. No se observó ningún fallo ni ningún tipo de deformación plástica local.



Figura 7. Fotografía de los ensayos de carga concentrada.

4.2.3. Presiones diferenciales pico

El pico máximo de presión diferencial previsto para un periodo de retorno de 200 años fue de 2.0 kPa como se ha expuesto anteriormente (obtenido de los ensayos en túnel de viento de

capa límite). Estos valores se alcanzan a una altura relativamente baja del edificio, donde los componentes de la fachada están instalados verticalmente. Este valor de presión se aplicó sobre las superficies mostradas en la Figura 6, con la muestra colocada horizontalmente. La carga se aplicó llenando los depósitos de agua, que descansaban sobre la superficie superior de la muestra. La figura siguiente muestra la configuración del ensayo.



Figura 8. Ensayos de presiones diferenciales.

El caso de carga considerado es el más desfavorable, siempre que el peso propio de la muestra se ejerza en la misma dirección de la presión aplicada.

Se observó un desplazamiento vertical de unos 16 mm hacia abajo en el vano medio de la muestra (capa inferior) para 2.0 kPa aplicados y sin carga de presión. Además, se observó un desplazamiento permanente de unos 7 mm en la muestra atribuido al peso propio. No se observaron colapsos ni fallos mecánicos en la muestra tras la aplicación o retirada de la carga.

4.2.4. Pruebas de carga de succión

Se llevaron a cabo seis pruebas de carga de succión para evaluar un posible fallo: 1.5 kPa, 2.0 kPa, 2.5 kPa, 3.0 kPa, 3.5 kPa y 4.0 kPa. Obsérvese que el pico máximo de succión diferencial previsto para un periodo de retorno de 200 años era de 3.5 kPa, alcanzado cerca del nivel del suelo. La inclinación de la fachada en esta zona es vertical, como ya se ha mencionado. Ya que las pruebas se realizaron horizontalmente, se añadió a la superficie de carga una succión adicional de 382.4 N/m²

debida al peso propio medio para compensar este efecto.

Las fuerzas se aplicaron llenando los depósitos conectados mediante un sistema de poleas y cables a las placas de distribución de la carga utilizando el puente de carga.



Figura 9. Sistema de aplicación de la carga de succión. Puente de carga Oritia&Boreas LACIAD

Las placas de distribución se pegaron a la superficie exterior de la muestra con un adhesivo específico convenientemente curado. Se llevaron a cabo varias pruebas específicas que garantizaron que el comportamiento del adhesivo era correcto para los niveles de succión previstos. Se tuvieron en cuenta diferentes reacciones químicas en los adhesivos, la metodología de aplicación y la atmósfera de curado para conseguir el rendimiento necesario. El diseño de las placas de distribución se seleccionó con el fin de distribuir la carga sobre la superficie ensayada de forma homogénea. Es decir, una vez que una zona determinada alcanzaba el valor esperado, comenzaba la carga de la zona consecutiva.

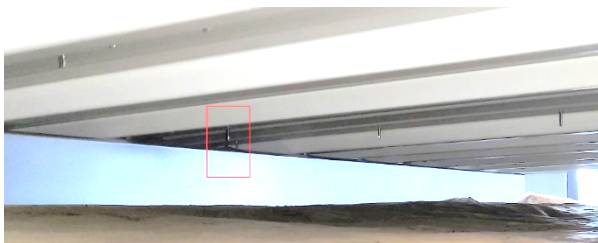


Figura 14. Fotografía de la muestra con una carga aplicada de 3.0 kPa.

Ensayo de succión: 3.5 kPa

La carga de 3.0 kPa a 3.5 kPa para los puntos 1-32 volvió a durar unos 35 minutos. Durante el proceso de carga, se observaron ligeros desprendimientos parciales de las roscas de algunos tornillos. Concretamente, los seis tornillos situados bajo las otras costuras de pie de doble cierre. Estos tornillos se han resaltado en amarillo en la Figura 13. De hecho, esta figura incluye en amarillo todos los tornillos parcialmente liberados durante todas las pruebas de succión. El desplazamiento vertical medido en esta prueba fue de unos 18.5 mm.



Figura 15. Fotografía de la muestra con una carga aplicada de 3.5 kPa. Oritia&Boreas LACIAD

Ensayo de succión: 4.0 kPa.

Las zonas 1-32 se cargaron primero de 3.5 kPa a 4.0 kPa. Posteriormente, las zonas 33-36 se cargaron de 2.5 kPa a 4.0 kPa. Este ensayo duró unos 45 minutos. Se volvieron a identificar desprendimientos parciales de tornillos, como los cuatro tornillos situados entre las dos costuras de pie centrales (véase la Figura 13). La deformación de la capa superior de la muestra es significativa. Este valor de succión se aplicó durante una hora más, sin que se observara ningún otro fallo. El desplazamiento vertical medido para esta prueba fue de unos 21 mm.

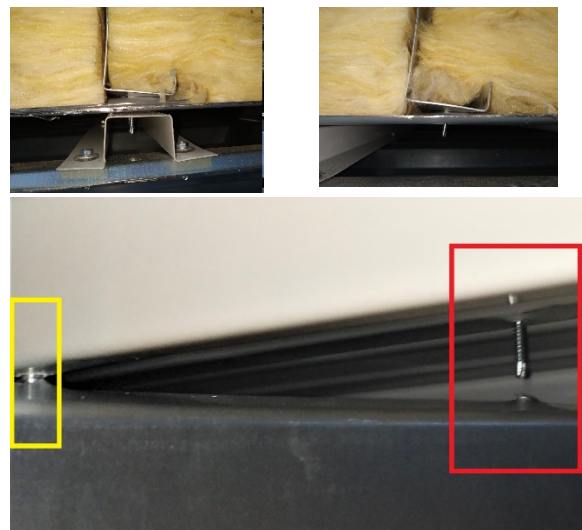


Figura 16. Fotografía de la muestra con una carga aplicada de 4.0 kPa. Desprendimiento de tornillos.

4.3 Resultados y conclusiones

Los resultados del ensayo de carga puntual mostraron un comportamiento elástico de la muestra en la zona de carga. No se observó ningún fallo ni ningún tipo de deformación plástica local.

Para la presión pico máxima prevista para un período de retorno de 200 años tampoco se observó ningún fallo ni deformación plástica.

Sin embargo, las pruebas de succión mostraron el colapso de la junta atornillada en cuatro puntos entre la lámina corrugada y los perfiles Z para una succión dentro del rango de 2.5-3.0 kPa, inferior a la succión pico máxima prevista para un periodo de retorno de 200 años. El mecanismo de fallo se basó en la plastificación del orificio de los perfiles Z. Los tornillos liberados resultaron estar situados longitudinalmente bajo una de las costuras de doble cierre de la chapa superior de aluminio. Por esta razón, la mayor parte de la carga de succión se transfiere sobre esta fila. Sin embargo, la otra costura permanente tiene dos filas más espaciadas de tornillos por debajo, por lo que la carga de succión se distribuye entre un mayor número de tornillos. Por lo tanto, la tensión mecánica en estos puntos es menor. Estos otros tornillos se liberaron parcialmente con una succión ligeramente inferior a 3.5 kPa.

Los cuatro tornillos que unen los perfiles en Z y la chapa ondulada, situados en el centro de las dos juntas planas centrales, también se soltaron parcialmente antes de alcanzar niveles de 4.0 kPa. Los tornillos que se soltaron totalmente aparecen resaltados en color rojo en la Figura 13, y los que se soltaron parcialmente aparecen resaltados en color amarillo.

Obsérvese que los resultados que aquí se ofrecen se refieren exclusivamente a las pruebas específicas desarrolladas. Por tanto, no se han tenido en cuenta condiciones distintas de las ensayadas, por ejemplo fenómenos de fatiga o posibles efectos de la temperatura en los materiales.

La velocidad del viento que se espera que dé lugar a succiones diferenciales de 4.0 kPa es de 26.6 m/s a 10 metros de altura para la dirección del viento de 220°.

En cuanto a la velocidad máxima del viento registrada en la estación meteorológica durante el periodo de datos disponibles, se observó una velocidad media horaria del viento a 10 m de altura de 19.9 m/s en el rango de direcciones del viento de 270° (18/01/2007 a las 23 h). Específicamente para el rango de dirección de viento de 220°, la velocidad media horaria máxima del viento registrada a 10 m de altura fue de 13.0 m/s (13/03/1994 a las 14h).

Referencias

- [1] Terrés-Nícoli JM, Lopez Collantes, JM (2021) Estudio de los efectos del viento en la cubierta del Tropical Island Resort, Berlin, Alemania. ART01
- [2] BLWT, Wind Tunnel testing: A general outline, Western University, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory. General Outline Report, May 2007.
- [2] CEN (European Committee for Standardization), Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions. EN 1991-1-4:2005/AC. 2010, pp. 1–21.
- [3] Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten. DIN EN 1991-1-1-4/NA, 2010.
- [4] Davenport, A.G., Isyumov, N. "The Application of the Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading", International Research Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Canada, September 1967, University of Toronto Press, 1968.
- [5] Surry, D., Isyumov, N. "Model Studies of Wind Effects -A Perspective on the Problems of Experimental Technique and Instrumentation", Int. Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities, 1975 Record, pp. 76-90.
- [6] ASCE, Wind tunnel testing for buildings and other structures. ASCE/SEI 49-12. 2012, pp. 1–50.