

## AEROPUERTO DE MADEIRA

# Maravilla de la ingeniería aeroportuaria.

### Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es:  
evidaud@mail.imcyc.com

### Ingrid N. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Doctorado en Ciencias.

Su correo electrónico es:  
ingrid@fco.uo.edu.cu

**M**adeira es un archipiélago de 741 km<sup>2</sup> que pertenece a Portugal y la Unión Europea, ubicado al sudoeste de la Península Ibérica, en medio del océano Atlántico (Fig. 1). Está formado por dos islas habitadas: Madeira y Porto Santo, y tres islas menores no habitadas, que responden al nombre de Islas Desertas. Estas islas, junto con las Islas Salvajes, forman la Región Autónoma de Madeira, región autónoma portuguesa que se encuentra a menos de 400 km de Tenerife, 860 km de Lisboa, y a unos 900 km en línea recta horizontal hacia el este de la ciudad marroquí de Casablanca (la ciudad continental costera más cercana al archipiélago).

Madeira es la mayor de las islas del archipiélago, cuya principal actividad económica es el turismo; recibiendo durante todo el año muchos visitantes fundamentalmente de Europa, los que buscan el disfrute de su clima y de la belleza natural. La capital de Madeira es la ciudad de Funchal que se encuentra situada en la costa meridional de la isla; sus magníficas playas y el clima templado hacen de la ciudad un centro turístico invernal.

Conocido como el Aeropuerto de Funchal o de Santa Catarina, el aeropuerto internacional de Madeira se encuentra situado a 16 km de la ciudad capital de la isla, Funchal, que a su vez se ubica en la costa sur; se destaca entre sus similares a nivel mundial por ubicarse entre los más peligrosos al realizar aproximaciones y aterrizajes.

Su particularidad constructiva y sorprendente ingeniería, llevan también a considerarlo entre las más importantes obras en infraestructura aeroportuaria en Europa; razones que motivan esta crónica.



Figura 1

Foto 1



20

Ubicación geográfica de la isla de Madeira.



**Fuente:** Adaptado de <http://en.wikipedia.org/wiki/Madeira#mediaviewer/> y de <http://codigopostal.ciberforma.pt/regiao/ilha/ilha-da-madeira>

Aeropuerto original de Madeira.



**Fuente:** Díaz Lorenzo J. C. (2010).

Inaugurado el 8 de julio de 1964, el aeropuerto era ampliamente conocido por su corta pista de aterrizaje, que, rodeada de altas montañas por un lado y el mar por el otro, hacía bastante difícil los aterrizajes; incluso para los más experimentados pilotos (Foto 1). Entonces el largo original de la pista era sólo de mil 600 metros. La apertura del aeropuerto propició la apertura de Madeira al continente; posibilitando un aumento considerable del turismo; aunque el transporte marítimo seguía siendo preponderante.

Hacia 1972, se evidenciaban las limitaciones operativas de la pista de aterrizaje y con ello el desarrollo del turismo; razones que hicieron pensar en una ampliación que permitiera no sólo ampliar el flujo de turistas, sino también la posibilidad de que en Madeira se realizaran escalas de vuelos internacionales. El ingeniero de puentes portugués Edgar Cardoso fue el encargado entonces del proyecto con el que un año más tarde se inauguraría una nueva terminal aeroportuaria en Madeira.

En 1977 se convirtió en el tristemente famoso Aeropuerto de Madeira, pues el 19 de noviembre ocurrió en su pista el peor accidente en la historia de la aeronáutica portuguesa; cuando el vuelo 425 de TAP Air Portugal, procedente de Bruselas en Bélgica, se salió de la pista durante el aterrizaje y cayó al mar. La nave se precipitó unos 130 metros bajo el nivel del aeropuerto y en su caída golpeó un puente, estallando en llamas. En el trágico suceso perecieron 131 personas con 33 sobrevivientes; hecho lamentable que dejó al descubierto las limitaciones del aeropuerto.

Madeira necesitaba entonces de un aeropuerto más grande; sin cambiar la localización del original. Esta fue la razón por la cual entre 1982 y 1986 se aumentaron las dimensiones de la pista a mil 800 metros; ampliándose al mismo tiempo la plataforma de estacionamiento de aeronaves. Posteriormente, el ingeniero angolano-portugués Antonio Segadães Tavares (Luau, Angola 1944) trabajaría sobre las anteriores propuestas del Ing. Cardoso, en el proyecto de ampliación de la pista, con la problemática adicional de que quedaban pocas alternativas debido a la carencia de espacio disponible para la ampliación; de ahí que era necesario ampliar la pista ganándole terreno al mar.

El resultado del proyecto del Ing. Segadães, no se hizo esperar, y en el año 2000, en la pista del flamante aeropuerto de Madeira, comenzaron a operar aeronaves tipo Boeing 747, Airbus A-340 y eventualmente A-380; esta vez ampliada hasta los 2,871 metros (Foto 2).



Foto 2

Aeropuerto de Madeira.



Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/17751375/Los-aeropuertos-mas-peligrosos-del-mundo.html>

Foto 3



Carretera que cruza por debajo de la zona ampliada de la pista del aeropuerto de Madeira. .



Fuente: <http://www.pakwheels.com/forums/aircrafts-trains/190965-worlds-most-dangerous-airport>.

Este proyecto (Madeira Airport Extension) le fue reconocido al Ing. Segadães en el año 2004 con el máximo premio en el mundo de la Ingeniería Estructural (Outstanding Structures Award), que auspicia la Asociación Internacional de Puentes e Ingeniería Estructural (IABSE por sus siglas en inglés).

Debido a la falta de espacio físico en la isla, la construcción de la extensión de la pista tuvo entonces que adentrarse océano adentro, lo que distinguió la obra por el espectacular movimiento de tierras y los 480 mil metros cúbicos de concreto usados en su construcción, con casi 42 mil toneladas de acero de refuerzo.

Con una moderna y funcional terminal, se aprovechó al máximo el espacio disponible. Debajo de la ampliación de la pista se ubicaron áreas deportivas, estacionamientos y hasta una carretera (Foto 3).

Para solucionar el problema del terreno ganado al mar fue necesario soportar los casi mil metros de ampliación de la pista sobre 180 pilas de concreto de 70 m de altura (Foto 4), en un proceso constructivo complejo e ingenioso que costó más de 500 millones de euros. Para que se tenga una idea, en la construcción se usaron casi 25 kilómetros de pilotes; utilizándose pilotes de 1.2 m y de 1.5 m de diámetro.

El proceso constructivo de la ampliación de la pista consistió en primer lugar en un engorroso movimiento de tierra, de 3.5 millones de metros cúbicos de excavaciones y 3.4 millones de metros cúbicos de rellenos. Posteriormente se construyeron los pilotes de la cimentación; sobre los cuales se apoyaron las pilas, que a su vez soportan el tablero de la superestructura.

Los trabajos se dividieron en dos etapas. La primera comenzó en la cabecera de la antigua pista, separada de ella por una junta de expansión y un puente de 546 m de longitud; la segunda fase de la construcción se separó de la primera con otra junta y cubrió los 457 m restantes. Mediante las juntas de expansión térmicas, se pueden absorber los esfuerzos que se generan debido a las variaciones de temperatura en la estructura.

La estructura de la ampliación de la pista tiene un ancho de rodamiento de 178 m, con altura de 50 m por encima de las aguas poco profundas de la bahía; quedando formada por un conjunto de 31 marcos transversales al eje de la pista (Fig. 2), separados uno de otro a 32 metros y con 5 pilas (Fig. 3). Los marcos brindan soporte a una losa de concreto presforzado, que constituye el tablero de rodamiento, con un espesor que



Foto 4

Figura 2



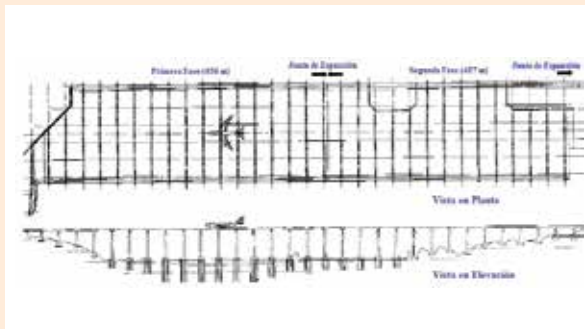
22

Pilas de apoyo de los tableros de la superestructura en la longitud ampliada de la pista del aeropuerto de Madeira.



Fuente: <http://blogs.lainformacion.com/futuretech/files/2012/11/funchal1.jpg>

Planta y elevación de la estructura de la ampliación de la pista.



Fuente: Adaptado de Rodríguez J., Campos Costa A. (----)

oscila entre 1.0 m y 1.7 m dependiendo si su ubicación está en la faja central de 12 m de longitud, o en las uniones con las vigas de los marcos. Sobre los marcos se apoyan vigas prefabricadas presforzadas de concreto y de sección transversal "I" variable, con 5 espacios interiores de 32 m y dos voladizos laterales de 14.5 m.

Las pilas son de concreto armado, perfectamente alineadas y con 3 m de diámetro y altura variable; que puede ser de 50 m (en dependencia del relleno marítimo) o de menor altura en zonas donde la estructura se apoya en los acantilados (Fig. 3). La estructura de la cimentación se diseñó conforme a la complicada geología de la zona; desde la cimentación directa por zapatas (cuando se encontró suelo de buena resistencia a poca profundidad) hasta indirectas, por medio de pilotes de concreto armado colados "in situ" sobre la plataforma de relleno, o metálicos cuando apoyan en el acantilado.

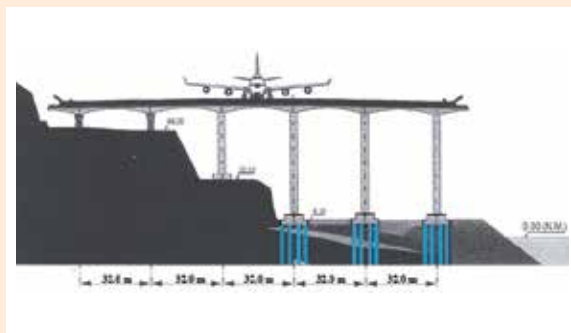
Las solicitaciones de cargas más importantes consideradas fueron: como cargas permanentes: el peso propio de los elementos estructurales y otros elementos fijos, como la barrera de seguridad. También se consideró el revestimiento del tablero con un espesor de 30 cm en la pista, bajando al mínimo de 15 cm en el borde de las márgenes. Entre las cargas variables se tuvo en cuenta la sobrecarga aérea característica impuesta según el peso máximo de un BOEING 747-400, con un tren de aterrizaje que descarga cerca de 400 toneladas. Por la importancia de la obra, también se consideraron la acción del sismo y del viento, del presfuerzo, así como de la retracción y de la fluencia del concreto, las variaciones de temperatura y los asentamientos diferenciales.

Con el premio otorgado por la IABSE en 2004, a las obras del aeropuerto de Funchal se le reconocieron no solo su notable envergadura y complejidad ingenieril; sino también su aportación tecnológica y social. La obra, inaugurada en el año 2000, constituye una de las mayores construcciones jamás ejecutadas en la región; ofreciendo a la isla de Madeira

**"Con el premio otorgado por la IABSE en 2004, a las obras del aeropuerto de Funchal se le reconocieron no solo su notable envergadura y complejidad ingenieril; sino también su aportación tecnológica y social".**

Figura 3

Corte transversal de la estructura.



Fuente: Adaptado de Segadães, T. A (2013).

#### REFERENCIAS:

- Díaz Lorenzo J. C. (2010), "El aeropuerto de Madeira, una obra de ingeniería singular". <http://mundodelaaviacion.wordpress.com/>
- Microsoft Encarta 2009, "Madeira (archipiélago)", 2008.
- Microsoft Encarta 2009, "Madeira (isla)", 2008.
- Rodríguez J., Campos Costa A. (---), "Dynamic tests of the structure for extension of the Madeira island Airport". <http://sem-proceedings.com/20i/sem.org-IMAC-XX-Conf-S19P03-Dynamic-Tests-Structure-Extension-Madeira-Island-Airport.pdf>
- Segadães, T. A (2013). "Ampliación del Aeropuerto de Madeira: Una verdadera Pista Aérea". Publicado en Noticreito 117, Marzo/Abril 2013.
- Wikipedia 2013, "Aeropuerto de Madeira".

una nueva imagen en el nuevo milenio, así como una capacidad de 3.5 millones de pasajeros al año.

Con el nuevo aeropuerto, los pasajeros han de estar más confiados cuando las aeronaves emprendan aterrizajes o aproximaciones sobre esta gran pista; atenuándose así el sentimiento de "pánico" que muchos llegaron a sentir, cuando estas maniobras se llevaban a cabo sobre la anterior pequeña pista rodeada de altas montañas y del mar. **C**