

# CONSTRUCCION DE UN RADIOFARO (DVOR/DME) PARA LA NAVEGACION AEREA EN ARTA, MALLORCA (ESPAÑA)

(CONSTRUCTION OF A RADIO BEACON (DVOR/DME) FOR AIRCRAFT TRAFFIC  
IN ARTA/MALLORCA/SPAIN)

Miguel Angel Duque Renilla, Ingeniero autor del proyecto  
Carlos Ceballos Díaz, Ingeniero Director de la Obra  
Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones

Víctor Ríos Berrazueta, Jefe Departamento de Estructuras  
Luis Casas Alvarez, Ingeniero Cálculo de Estructuras  
Antonio Ruiz de la Torre, Ingeniero Jefe de Obra  
Dragados y Construcciones, S. A.

548-3

## RESUMEN

*Un radiofaro es sencillamente un punto de referencia, que mediante la emisión de señales eléctricas, sitúa y ayuda a la navegación aérea, principalmente en su orientación hacia los aeropuertos.*

*Para ello, se requiere la construcción de una plataforma circular de 40 metros de diámetro, que se sitúa generalmente en cimas de montaña o puntos suficientemente despejados de interferencias.*

*En este artículo se describe el radiofaro recientemente construido en Artá, extremo Noreste de la isla de Mallorca, por Dragados y Construcciones S. A. haciendo especial desarrollo de los aspectos más representativos de la construcción de la obra, como son la ejecución de la estructura de hormigón y el montaje de la estructura metálica, dadas las características tan singulares, en cuanto a forma y dimensiones, de la misma.*

## SUMMARY

*A radio beacon is just a reference point, a station that sends out radio signals to help planes to find their way.*

*This station requires the construction of a platform of 40 metres diameter, generally sited in mountain heights or in places free from interferences.*

*In this work, the radio beacon recently built in Artá, at the Northeastern end of Mallorca by Dragados & Construcciones S. A. is described, developing the most representative of the construction: the concrete structure and the setting of the iron structure because of its special characteristics of form and dimensions.*

## INTRODUCCION

Dentro del Plan General de construcción de nuevas instalaciones, de la Dirección General de Aviación Civil, dependiente del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, para mejorar las condiciones de navegación aérea en España, figuraba la instalación de un radiofaro en la Zona Noreste de la isla de Mallorca, en las proximidades de Artá. (Figura 1)

Se eligió para ello la cumbre denominada S'Atalaya en el término municipal de Capdepera, de 240 metros de



Figura 1. Vista general del radiofaro

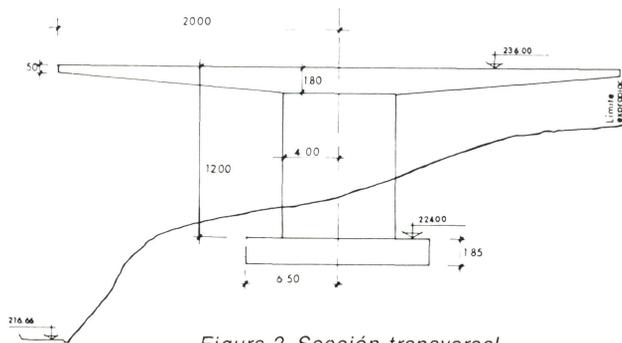


Figura 2. Sección transversal

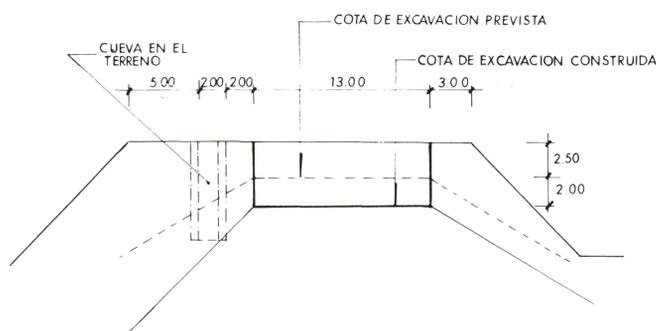


Figura 3. Sección de excavación de zapata

altitud sobre el nivel del mar, lo que equivale a decir que había que construir una carretera de acceso a la cumbre de más de 200 metros de desnivel.

La estructura del radiofaro consiste fundamentalmente en un edificio circular de 10 metros de altura y 8 metros de diámetro, coronado por una plataforma circular horizontal de 40 metros de diámetro. La plataforma circular de 40 metros se compone de 20 vigas radiales de 16 metros de voladizo cada una, sobre las que apoya una losa con una malla metálica que sirve de contraentena para los aviones, estando en el interior del edificio alojados los equipos de emisión e interpretación de señales eléctricas. (Figura 2)

Dado lo expuesto de la situación topográfica de la contraentena, se ha calculado para una velocidad del viento de 175 km/h, necesiándose para su estabilización al vuelco de una zapata circular de 13 metros de diámetro y 1,85 metros de canto.

El total de la estructura metálica alcanza las 150 t.

### Carretera de acceso

Los trabajos de construcción de la carretera de acceso a la cumbre de S'Atalaya, se prolongaron durante cuatro meses (algo más del tiempo en principio supuesto) debido fundamentalmente a lo abrupto del terreno y a la dureza de los materiales calizos que componen la zona de la montaña. Se emplearon explosi-

vos y se consiguió que el trazado fuera lo suficientemente bueno para permitir la subida de camiones en el transcurso de la obra, no superándose desniveles superiores al 15%.

### Cimentación

El emplazamiento de la estructura corresponde a una zona, que desde el punto de vista geotécnico está formada por escamas imbricadas de materiales calizos y dolomíticos, cuyos niveles han sido afectados por movimientos terciarios. Esta composición del terreno, bastante frecuente en toda la zona este de la isla, es propensa a la formación de fenómenos kársticos y cuevas.

Iniciada la excavación de la zapata, apareció tangente a la posición de la misma, una cueva de aproximadamente 2 metros de ancho y 11 metros de largo que obligó a bajar la cota inferior de la zapata, dos metros más de lo previsto, con el fin de garantizar el buen asiento de la misma sobre el terreno. Asimismo, con esta medida, se aumentaba el resguardo de la zapata respecto al talud de la carretera de acceso. (Figura 3)

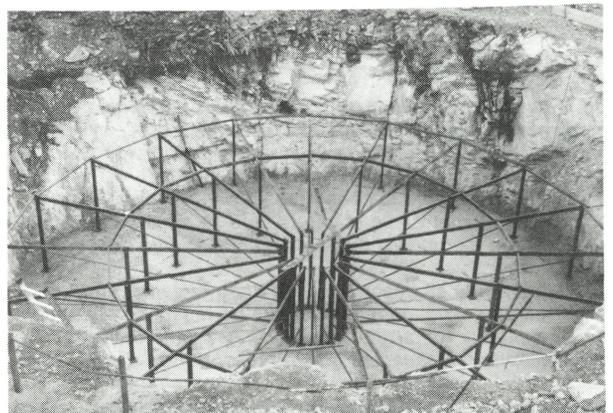


Figura 4. Excavación de zapata y bastidor soporte de la armadura superior



Figura 5. Disposición radial de la armadura de cimentación y placas de anclaje de pilares

Además, y una vez llegado a la cota inferior de zapata, se realizaron sobre el mismo fondo una serie de trece sondeos de catorce metros de profundidad con el fin de evitar la presencia de nuevos huecos de karstificación, debajo de la posición de la misma, que pudieran afectar a la estabilidad de la cimentación.

Debido al gran canto de la zapata (1,85 metros), fue necesario disponer una verdadera estructura metálica, que sirviera de soporte de la armadura superior de la zapata. Se consideró como más idóneo el que dicha estructura estuviera formada por una serie de pórticos radiales, por lo que la armadura se dispuso también en dirección radial y transversal. (Figura 4)

Debajo de la posición de los pilares se dispuso una segunda malla, con el fin de aumentar la resistencia al arrancamiento del hormigón, ya que éstos debido a la acción del viento están sometidos alternativamente a esfuerzos de tracción y de compresión. Este efecto hacía especialmente importante el diseño y cálculo de los anclajes, que se componen de dos placas metálicas: una de asiento en contacto con la zapata, de  $500 \times 500 \times 15$  mm, anclada a la misma con cuatro horquillas  $\varnothing 16$ ; y una segunda, de base de los pilares, de



Figura 6. Semi-sección de estructura



Figura 7. Disposición de vigas, correas y chapa metálica

$450 \times 450 \times 25$  mm, anclada asimismo a la zapata con 8 pernos  $\varnothing 25$ , de 1,60 m de longitud roscados en sus 20 cm superiores. Finalmente ambas placas se soldaron en todo su contorno. (Figura 5)

## Estructura

El hecho de tener que construir una estructura de 40 metros de diámetro, en la cima de una montaña, cuya anchura en coronación era incluso inferior al diámetro de la estructura, planteaba una serie de problemas que era necesario resolver.

El primero era hormigonar unas vigas y una losa en unas condiciones topográficas de difícil acceso, además de alejadas de núcleos importantes de población y sin posibilidad de instalación de una planta de hormigonado. Este primer problema nos llevó a plantear una solución a base de vigas prefabricadas.

El segundo problema era subir hasta la cima, por una carretera sinuosa, unas vigas de 16 m de longitud. Había que estudiar vigas que se unieran de forma sencilla in situ, para que el transporte pudiera realizarse en piezas de más corta longitud.

Y finalmente, el tercero era montar dichas vigas en la estructura, con unas limitaciones de superficie y accesibilidad muy grandes. Era necesario pensar en vigas ligeras, que se montaran fácilmente, sin necesidad de grandes medios auxiliares, con grúas ligeras y en número lo más reducido posible.

Estos tres problemas se resolvían proyectando vigas metálicas, que se fabricaran en taller y se unieran a pie de obra.

Se trata de vigas metálicas armadas, de canto variable entre 1,80 m y 0,50 m cuyas alas superior e inferior se unen entre sí todas ellas en la parte superior del edificio circular, formando un tambor de 8,00 m de diámetro rigidizado interiormente por las alas de las vigas, que se prolongan en su interior hasta 1,00 metro del centro del mismo. Estos dos discos, superior e inferior del tambor, son los que absorben las tracciones y compresiones a que están sometidas las alas de las vigas. (Figura 6)

Estas vigas apoyan en veinte pilares también metálicos (uno por viga) situados según un círculo de 8,00 metros de diámetro, coincidiendo con la fachada del edificio soporte de la plataforma circular.

La plataforma se completa con una disposición de correas, transversalmente a las vigas, situadas cada 2,00 metros, sobre las que apoya una chapa grecada, que sirve de encofrado perdido de la losa de 3 cm y la malla metálica que hace la contraantena. (Figura 7)

La flecha máxima prevista en el extremo de las vigas es de 10 cm, por lo que previéndose que la plataforma tenga un 1% de pendiente de desagüe del agua de lluvia hacia el centro, las vigas se han construido con una contraflecha máxima en el extremo de 30 cm. Dicha contraflecha se ha conseguido con un corte no perpendicular del alma, sino formando un cierto ángulo en su unión con el disco central metálico.

Todo el acero empleado ha sido del tipo A-42.b, con controles de materiales, soldaduras, etc.

### Montaje de la estructura metálica

Una vez hormigonada la zapata circular y dejadas las placas para soporte de los 20 pilares metálicos que componen la estructura, fueron montándose éstos de una sola pieza, cada uno de 10,20 m de altura.

Van unidos entre sí a dos alturas, a la cota + 4,00 por unos perfiles en dirección tangente a la fachada y a la cota + 8,00 por un forjado metálico del edificio, de forma que se reduzca la longitud de pandeo. Estos pilares son HEB 240. Posteriormente se rellenó con tierras la zapata hasta la cota del terreno natural, con el fin de garantizar aún más la estabilidad de la estructura.

Terminado el forjado intermedio, se procedió al montaje de la plataforma superior circular, que era la parte de la estructura verdaderamente singular.

El tambor central de 8,00 m de diámetro y 1,80 metros de altura, venía de taller fabricado en 10 gajos (a cada uno de los cuales se soldarán posteriormente dos vigas) los cuales, a pie de obra, se fueron soldando de dos en dos, con el fin de reducir el número de elevaciones con la grúa y el número de soldaduras de los mismos en altura. (Figura 8)

Estos cinco trozos del tambor fueron izados sucesivamente con una grúa automovil, soldándose entre sí y a los pilares de la estructura. De esta forma quedaba completada toda la zona central, a excepción de los dos discos centrales del mismo (de 2 m de diámetro cada uno, inferior y superior) que fueron posteriormente soldados el tambor, el cual de esta forma quedaba completo.

El montaje de las vigas se resolvió con una sola grúa automovil, que izaba cada viga suspendida de su centro de gravedad, presentándola contra el tambor para soldarla a él a través de soldadura de sus alas superior e inferior, así como del alma de la misma. Aunque la estructura vuela en uno de sus laterales sobre una de las vertientes de la montaña, al no ser necesaria la utilización de puntales para su montaje, era la propia

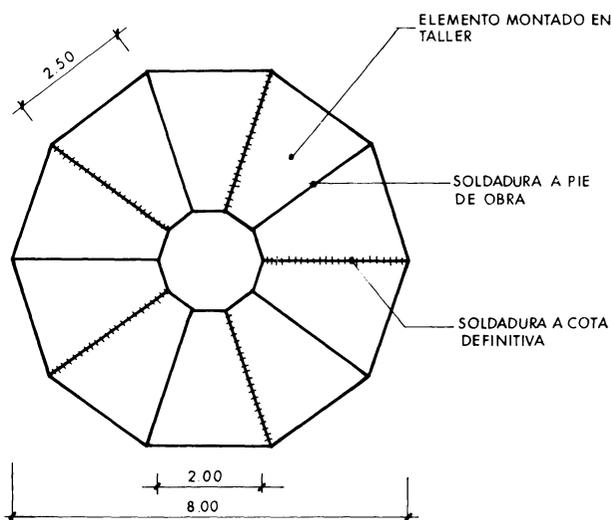


Figura 8. Planta de despiece de gajos del tambor central

grúa la que con su pluma llevaba la viga hasta presentarla en su posición definitiva al resto de la estructura para su soldadura.

La secuencia de montaje fue el ir alternativamente montando vigas opuestas, con el fin de equilibrar lo más posible las cargas sobre el tambor central. (Figura 9)

Además, cada nueva viga montada quedaba unida a la anterior por dos correas (una extrema y una intermedia) con el fin de evitar su desplazamiento lateral. Toda esta fase del montaje se realizó en tres semanas.

Finalizado el montaje de las veinte se procedió al de las correas transversales y la chapa grecada superior.

### Hormigonado de la losa

Sobre la chapa metálica se colocó un mallazo electro-soldado y posteriormente se hormigonó una losa de 3 cm de espesor, mediante bombeo del mismo.

El hormigonado se efectuó maestreado con reglas de madera, guías en sentido radial, separadas 3 m entre sí (5 m en el exterior y 1 m en el interior de la plataforma) con otras a su vez en sentido transversal, para formar una retícula.

El hormigonado se efectuó entonces rellenando dicha retícula al tresbolillo, para posteriormente quitar las reglas de madera, y hormigonar las restantes contra el propio hormigón. De esta forma se consiguió un hormigonado uniforme, evitando juntas radiales que pudieran haberse producido. (Figura 10)

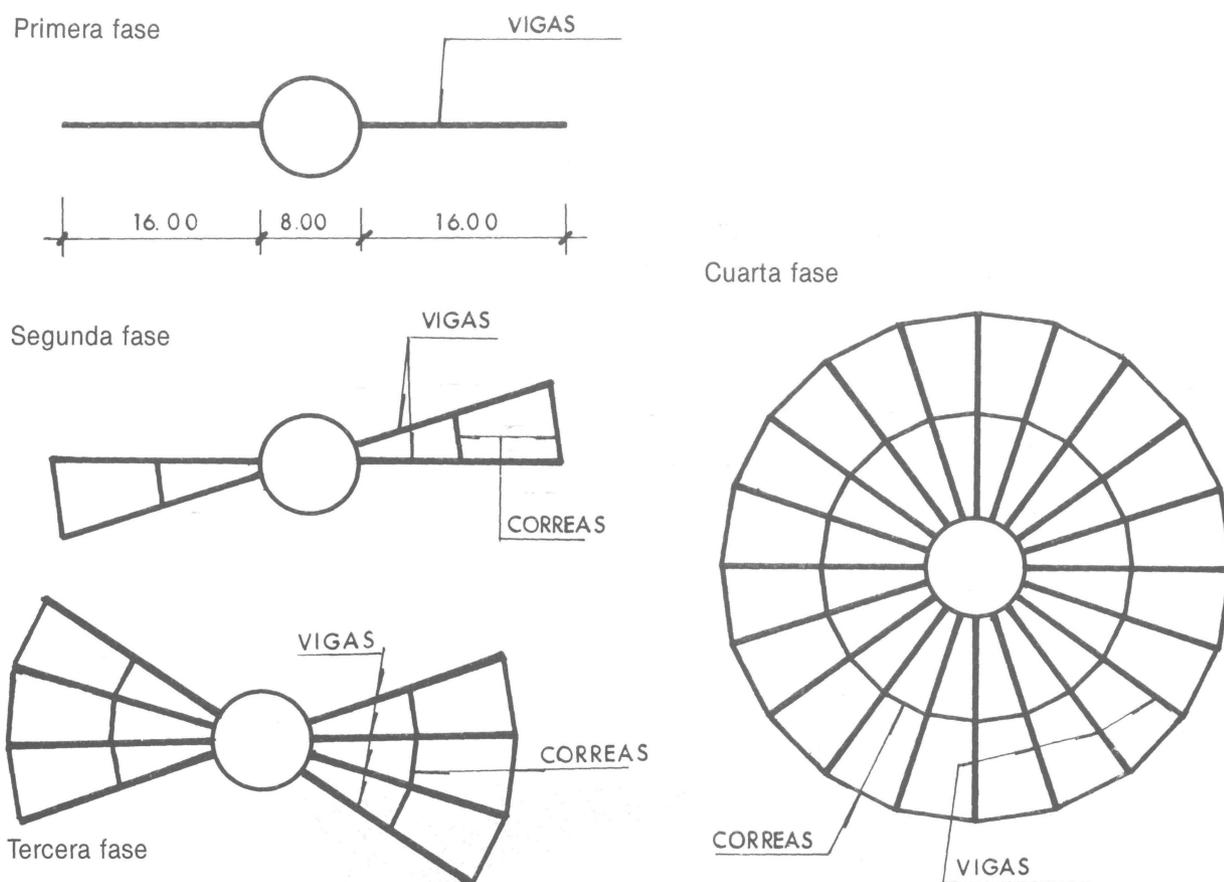


Figura 9. Planta de estructura fases de montaje de vigas

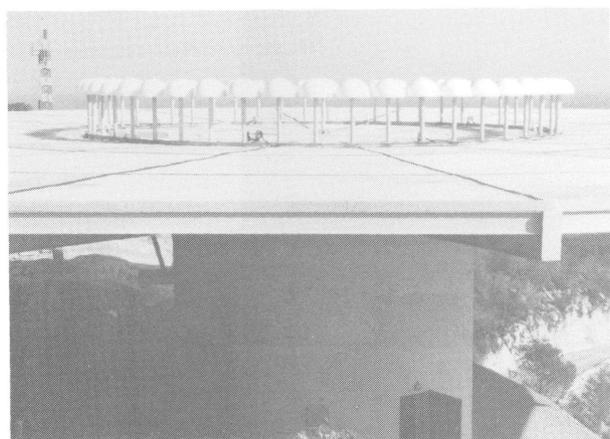


Figura 10. Losa de hormigón terminada y aparatos de control de navegación

### Tratamientos, pinturas y acabados

Finalmente, pueden reseñarse diversos aspectos de la estructura que no hemos señalado.

Toda la estructura metálica se sometió al chorro de arena hasta el grado Sa 21/2.

La pintura se compone de cuatro capas de la siguiente composición: a) dos capas de imprimación de pintura epoxi y b) dos capas de pintura colmasol de acabado.

Asimismo se efectuó un control intenso y exhaustivo de todas las soldaduras, tanto en taller como en obra, a base fundamentalmente de líquidos penetrantes y radiografías.

\* \* \*