

Las Torres de la Luz en la Bahía de Cádiz

The Towers of the Light in the Bay of Cadiz

Nicolás J. Carbajal-Ballell^(*), Alba Peláez Pozo^(**)

RESUMEN

Las Torres de la Luz de la Bahía de Cádiz son obras civiles de gran valor técnico, estético y paisajístico que sólo recientemente la crítica especializada ha descubierto considerándolas como un ejemplo destacado que trasciende más allá del momento preciso de su ejecución. La investigación plantea cuáles debieron ser sus precedentes proyectuales y contribuye a dar a conocer información sobre su planificación, estructura y modo de ejecución, así como aporta planimetrías inéditas de su implantación en el territorio, sus detalles constructivos y alzados (hasta ahora mal representados en las escasas publicaciones que las incluyen). Finalmente realiza una lectura de la imbricación de esta infraestructura eléctrica en el paisaje y su vínculo con la cultura edificatoria local.

Palabras clave: Torres de la Luz; Bahía de Cádiz; infraestructuras eléctricas; Alberto Mario Toscano; Remo Sacala; Alberto Santi.

ABSTRACT

The Light Towers of the Bay of Cádiz are civil works of great technical, aesthetic and landscape value that specialized critics have only recently discovered, considering them as an outstanding example that transcends beyond the precise moment of their execution. The investigation raises what its project precedents should have been and contributes to publicize information about its planning, structure and mode of execution, as well as provides unpublished planimetry of its implantation on the territory, its construction details and elevations (until now poorly represented in the few publications that include them). Finally, it makes a reading of the integration of this electrical infrastructure in the landscape and its link with the local building culture.

Keywords: Towers of the Light; Bay of Cadiz; electrical infrastructures; Alberto Mario Toscano; Remo Sacala; Alberto Santi.

^(*) Doctor Arquitecto, Universidad de Sevilla (España).

^(**) Arquitecto, Barcelona (España).

Persona de contacto/Corresponding author: ncarbajal@us.es (N. Carbajal-Ballell)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0423-2605> (N. Carbajal-Ballell); <https://orcid.org/0009-0000-8870-8190> (A. Peláez Pozo)

Cómo citar este artículo/Citation: Nicolás J. Carbajal-Ballell, Alba Peláez Pozo (2023). Las Torres de la Luz en la Bahía de Cádiz. *Informes de la Construcción*, 75(571): e510. <https://doi.org/10.3989/ic.6386>

Copyright: © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 16/12/2022
Aceptado/Accepted: 14/06/2023
Publicado on-line/Published on-line: 17/08/2023

1. CONTEXTO Y RAZÓN DE SER TERRITORIAL

La ciudad no sería posible sin su abastecimiento. Cualquier asentamiento por pequeño o primario que fuere debió procurarse en sus inicios de agua y recursos alimenticios, hoy además de esto, de energía y comunicaciones para ser viable. Y para proporcionarlas y darles el sostén necesario, desde los inicios de la civilización se ha utilizado la técnica. La obra civil ha jugado en papel decisivo en este objetivo. Obras que tienen una innegable importancia territorial, pero que frecuentemente conllevan también una incidencia urbana notable condicionando o propiciando sus crecimientos y significándose como hitos destacados de la ciudad. Acueductos y canales de agua, las vías y sus puentes, túneles o viaductos, redes y tendidos eléctricos, faros y torres de señalización o de telecomunicaciones hoy, son simples ejemplos que evidencian la colonización del territorio y también la relación directa que las infraestructuras tienen con la estructura de la ciudad. Son obras que articulan el territorio añadiendo un estrato antrópico a los sustratos naturales, que establecen dinámicas particulares de relación y aprovechamiento del medio y suponen una expresión del avance tecnológico de una sociedad. Se trata de proyectos de una escala cuya planificación requiere de una aproximación entre disciplinas varias que aportan sus conocimientos para resolver la multitud de retos que suponen en cada caso (1).

Un ejemplo de ello es este de Las Torres de la Luz en la Bahía de Cádiz (Figura 1), uno de los grandes desafíos constructivos que se llevó a cabo en España en la década de 1950. Un país que con las políticas autárquicas de la dictadura trata desde hace años de superar las cruentas consecuencias de las guerras y su aislamiento internacional estableciendo planes de desarrollo en los que el Instituto Nacional de Industria (INI), instaurado por Juan Antonio Suanzes a semejanza del italiano Ente Nazionale Idrocarburi (ENI), es decisivo. Así se interviene en sectores estratégicos como el de la minería, los

transportes y la automoción, la construcción naval, las petroquímicas y altos hornos, o como es el caso que nos interesa, en la generación y distribución de energía eléctrica. En concreto, en el sur peninsular existía un déficit de potencia notorio y especialmente precaria era la situación de la ciudad de Cádiz, inmersa desde hacía años en disputas y reclamaciones continuas con la compañía Sevillana de Electricidad, suministradora de aquella área. El Plan Eléctrico Nacional de 1953 trataba de paliar esta situación con actuaciones específicas para varias ciudades andaluzas. En ellas podemos situar el origen de este proyecto que es debido concretamente a la intención de reforzar los suministros de Sevilla y Málaga con sendas líneas a 132 kV desde una central térmica en la Bahía de Cádiz, ese singular espacio geográfico -pero también político y social- caracterizado por su morfología policéntrica, en el que sus núcleos urbanos son en gran medida interdependientes al no tener suficiente densidad de población ni dotaciones en sí mismos. Gracias a las presiones realizadas desde la alcaldía de la ciudad se situaría en la Zona Franca de Cádiz -que cedería los terrenos- lo cual suponía una ventaja añadida: su cercanía tanto al muelle como a las instalaciones de CAMP-SA para abastecerse de combustible. Con esta instalación se potenciaba aquella periferia que reunía un gran número de industrias y talleres que dependían de la red eléctrica en una ciudad arruinada por la devastadora explosión de un polvorín de la Base de Defensas Submarinas de la Armada de 1947 (2).

El contrato de las obras para la construcción de la central suponía contar con ayuda de mano de obra especializada y tecnologías provenientes de Estados Unidos. Recordemos que precisamente en esos momentos se firman los Pactos de Madrid con los que España permitía al gobierno norteamericano instalar cuatro bases militares en su territorio a cambio de un importante paquete de ayudas para el desarrollo, una de cuales sería la naval de Rota, puerto situado en el extremo opuesto de la bahía. Además, se contemplaba la construcción de una subestación en Puerto Real y la línea que la uniría a la central



Figura 1. Las Torres de la Luz. Fuente: Diario de Cádiz.

térmica, donde posteriormente, las torres del cruce de la bahía serían protagonistas. Más tarde, en 1955, se aprobó también la mejora del trazado eléctrico de la propia ciudad para que pudiera asumir el creciente abastecimiento y junto a la central se construyeron viviendas para sus empleados que pasarían a formar parte del arrabal histórico de Puntales, un asentamiento obrero surgido a partir del castillo del mismo nombre.

Pero aquella ubicación partía de una decisión política que forzaba, como decimos, la necesidad de conectar con la Subestación de Puerto Real, situada al otro lado de la bahía. ¿Qué trazado sería entonces el más idóneo? Cabía plantearlo por mar, por aire o por tierra. Una de las opciones consideradas por el Centro de Estudios Técnicos de Electricidad (CETE) perteneciente al INI, fue precisamente esta, proyectar el tendido eléctrico circunvalando la bahía a través del largo tómbolo arenoso que une Cádiz a San Fernando. No obstante, la densidad de redes que se concentraban en ese estrecho brazo para el suministro de los servicios urbanos e infraestructuras (como la carretera nacional o el ferrocarril), unido a las costosas cimentaciones necesarias en ese firme y el cruce sobre multitud de caños navegables y salinas para conseguir enlazar con Puerto Real, lo desaconsejaban. A estas muchas razones se unía la idea que sobrevolaba en las expectativas de desarrollo urbano para ampliar la ciudad (multiplicando su población por cinco) prolongando el Paseo Marítimo, la Segunda Aguada y La Laguna edificando esta barra arenosa, el denominado Plan

Cádiz-3, para lo cual este nuevo tendido eléctrico podía ser un obstáculo. Un plan inmobiliario que preveía el relleno de una franja en el saco de la bahía y edificar más de 12.000 viviendas a lo largo de la Playa de Cortadura siguiendo otros modelos de desarrollo turístico del momento que afortunadamente fue descartado años más tarde por sus afecciones ecológicas, paisajísticas y sobre el uso público de esos espacios (3).

Otra alternativa, en principio más económica y con menos implicaciones urbanas, planteaba -como se hacía en muchos casos parecidos- tender unos cables submarinos para cruzar la Bahía de Cádiz. El ahorro que supondría motivó que se impulsaran varios informes técnicos en este sentido, estudios a los que se unía la necesaria cautela por preservar los probables restos arqueológicos resultado de siglos de uso como fondeadero natural. Pero la realidad del fondo fangoso y movedizo de la laguna salina, las fuertes corrientes y la navegación continua relacionada con los astilleros la desaconsejaron pese a que esta solución resultaría económicamente beneficiosa.

La elección del tendido aéreo no era ni menos costosa ni sencilla ya que suponía salvar una luz superior al kilómetro y medio y mantener una elevación considerable sobre el mar para el paso de entre otros buques, del Juan Sebastián de Elcano, que acude frecuentemente a La Carraca de San Fernando. El cableado que sufriría el corrosivo ambiente marino estaría sometido además a los fuertes vientos de la zona que exigían

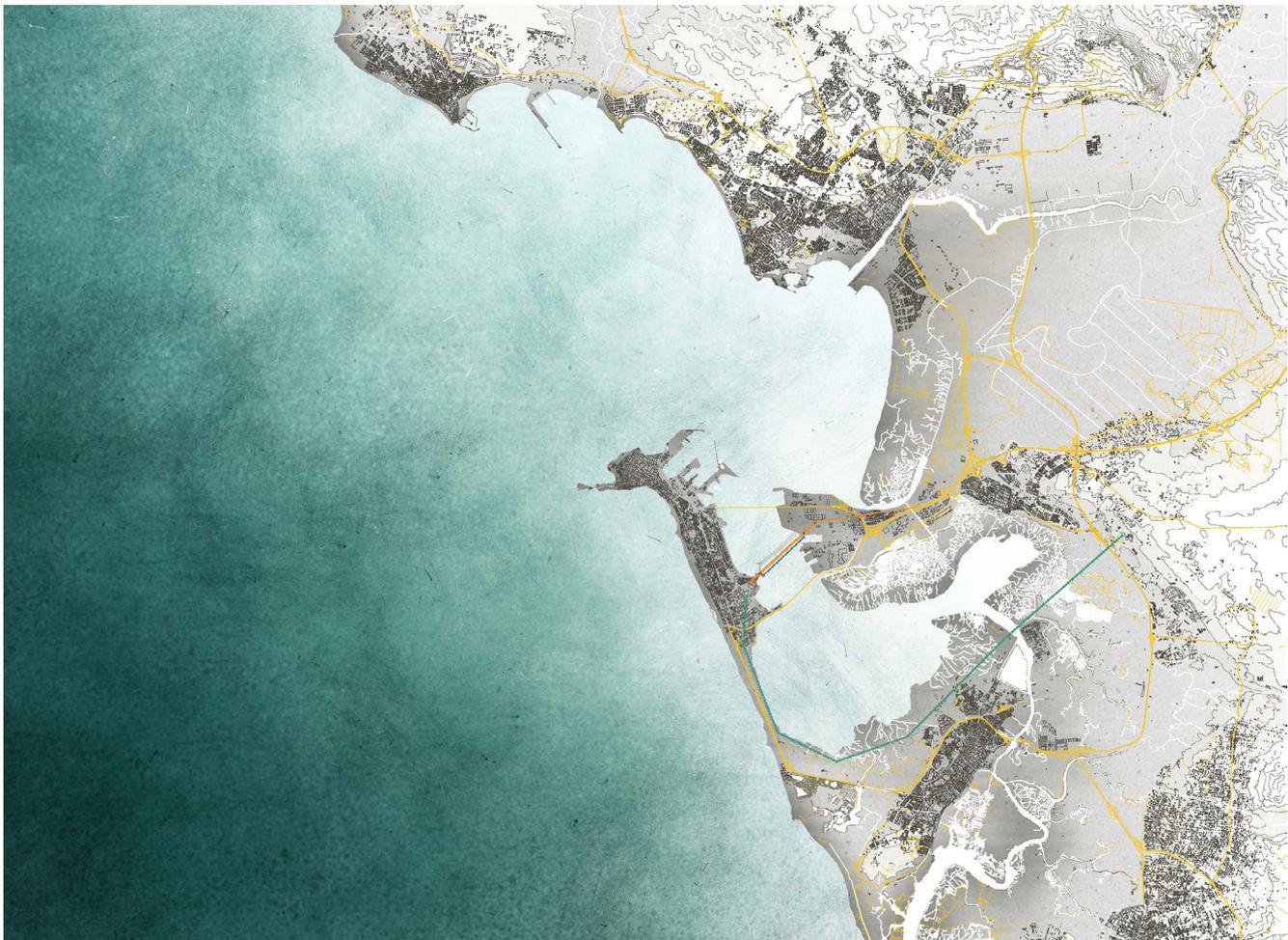


Figura 2. Trazados estudiados para la conexión con la subestación de Puerto Real (aéreo naranja, submarino azul, terrestre verde).
Elaboración propia.

condiciones especiales de resistencia mecánica y de igual modo, las enormes torres que serían necesarias para sustentarlo a cada lado de la bahía.

¿Dónde situarlas? Decididos a sobrevolar la bahía el lugar más indicado es el Estrecho de Puntales. Este punto que cerraba la bahía interior y la ensenada del mismo nombre donde históricamente podían fondear las naves sobre aguas tranquilas y protegidas de ataques, estaba defendido por el Castillo de San Lorenzo del Puntal -cuyas primeras construcciones datan del siglo XVII- en el flanco occidental y por los fuertes de San Luis y Matagorda en el lado oriental. Así, la torre oeste se cimentará sobre la explanada anterior al mencionado castillo cuyo frente defensivo, con glacis y foso que lo separaba de tierra firme, hubo de ser modificado con la pertinente autorización de la Marina Española que administraba el bastión en ese momento. La otra torre se construirá en el extremo de la Península de los Toruños -punta que estrangula la bahía en los dos lóbulos- junto a la Factoría de Matagorda situada entre las desembocaduras del río de San Pedro y el Caño del Trocadero.

Estas torres de alineación precisarán de sus respectivos pórticos de amarre, el primero llamado San José se situará próximo a la Central Térmica y junto a un antepórtico que facilite la conexión a las celdas del parque de intemperie de la central. El segundo, denominado Cabezuela, va a quedar ubicado en el límite terrestre del Bajo de Cabezuela y desde allí, la línea continúa con apoyos convencionales hasta la Subestación de Puerto Real (4).

Se aclara así la confusión habitual que tiende a suponer, por la condición de istmo de Cádiz, que estas torres traían la electricidad a la ciudad cuando su propósito era precisamente el contrario. Hoy, pese a las nuevas construcciones, representan la referencia más destacada en el perfil de la bahía y sin duda despiertan en el imaginario el recuerdo de las míticas Columnas de Hércules que daban fin al mundo conocido en este paisaje de gigantes gaditano (Figura 2).

2. LA SOLUCIÓN TÉCNICA Y SUS REFERENTES

¿Cómo plantear su estructura? Sobrevolar la Bahía de Cádiz salvando un vano de 1.639 m con la línea eléctrica y con una altura libre sobre el mar de 50 m suponía un reto técnico. Su resistencia y estabilidad ante los fuertes vientos que las azotarían y la agresividad del ambiente marino ya mencionados, o la elección idónea del material, del tipo de cimentación y estructura necesarios o del mismo modo, la forma de montaje y medios para construirlas que requerían cada uno de ellos, serían aspectos decisivos del proyecto de las torres. Estos condicionantes determinaban en gran medida una construcción en forma de mecano a partir de piezas replicables y manejables que pudieran ensamblarse progresivamente y que hiciera uso del acero como material más adecuado para soportar los esfuerzos de estructuras tan esbeltas. Una problemática en realidad semejante a la que se acababa de afrontar sobre el Estrecho de Messina y que tendrá cierta influencia en este caso, un precedente concluido apenas unos años. Entre 1948 y 1956 la Società Generale Elettrica della Sicilia (SGES), con proyecto del insigne ingeniero Arturo Danusso -especialista entre otras construcciones en estructuras en altura- y con la colaboración del también ingeniero Alberto Mario Toscano, había tendido una línea eléctrica de alta tensión de 220 kV que cruzaba de Calabria a Sicilia suspendida desde dos enor-

mes torres de celosía metálica. Esta línea duplicaba la distancia que se había de salvar en este caso si bien en Cádiz no se contaba con la ayuda que había supuesto la topografía de la costa calabresa. El apoyo siciliano, llamado Pilone di Torre Faro tiene 224 m de altura, más los 8 m de la base de hormigón armado que la soporta. El pilón de Calabria, situado sobre la cima de la colina de Santa Trada, es idéntico, pero se eleva 393 m sobre el mar por los 169 m de promontorio en el que descansa.

El éxito de este ejemplo unido al primer inconveniente que se deberá afrontar, la escasez del material necesario -un acero cuya importación resultaba difícil debido a las políticas autárquicas que imperaban en el país-, a lo que se unía el hecho de que la industria siderúrgica española empezaba a despegar de nuevo y sus acerías no tenían aún la capacidad para producir grandes piezas (5), propiciará que el INI -ente promotor- firme un acuerdo con el ENI que solvante estas limitaciones y que incluye la elaboración del proyecto¹. Un convenio a partir del cual será en este caso Toscano -con la colaboración de Remo Scala y Alberto Santi, ingenieros que se harán cargo de las obras- el que plantee en Cádiz un proyecto que superará a aquel por su refinamiento. Todos ellos habían trabajado en Italia y aquella experiencia conjunta permitió mejorar el diseño tanto desde un punto de vista técnico como formal, cuidando los detalles y procesos constructivos.

El proyecto de las Torres de la Luz comenzaría a finales de 1957 y concluyó en 1960 (6). Pese a que líneas como las de Voerde o Duisburg-Rheinhausen se habían trazado con torres en celosía semejantes que superaban el centenar de metros en la década de 1920, o que sobre río Elba se está construyendo simultáneamente el famoso primer cruce (1959 -1962) con torres de 189 m de altura siguiendo un modelo similar al de los pilones italianos, en este caso se elige otro planteamiento estructural que tiene relación con las características del firme de la bahía gaditana. Este factor fue decisivo en la elección del tipo de torre; tanto en Puntales como en Matagorda la inestabilidad del terreno, con un gran banco de arenisca en el subsuelo y rellenos que habían sido ganados al mar, requería una cimentación profunda y monolítica. Las torres anteriores, como las convencionales de distribución, disponen de cuatro apoyos con cimentación independiente, pero en este caso, el tratar de unificar estas cimentaciones para evitar asentamientos diferenciales la sobredimensionaría extraordinariamente. La transmisión de esfuerzos debía producirse de forma uniforme por toda la estructura y en el terreno, por ello su particular entramado estructural tubular y su cimentación monolítica de planta circular sobre dos anillos concéntricos de pilotes que permitían esta continuidad.

En esencia se trata de sendos mástiles en forma de medio hiperboloide de una hoja cuya superficie reglada permite ser construida ensamblando segmentos rectos fabricados con perfiles galvanizados para trazar las hipérbolas verticales, que, a su vez, son arriostradas por un entramado de perfiles horizontales y diagonales. Así, las acciones de las cargas se dirigen hacia esa corona de cimentación circular por numerosos puntos repartidos por su superficie favoreciendo una transmisión más homogénea. De igual modo, el fuste hiper-

1 El INI había designado al CETE el estudio del tendido y su cruce y a la SEMI (Sociedad Española de Montajes Industriales) la posterior ejecución de las obras según sus normas.

bólico resulta una estructura más adecuada -por su isotropía- ante estados tensionales variables como consecuencia de la considerable variación en intensidad y dirección de los fuertes vientos. Están coronadas con una enorme cruceta de perfil romboidal que sostiene el cableado de alta tensión, disponen de aparatos elevadores adosados exteriormente a un montante (para 750 Kg y hoy en desuso) y escaleras helicoidales en el interior del fuste. La torre situada en Puntales tiene 156 m de altura y la de Matagorda alcanza los 160 m dibujando un elegante perfil de suave curvatura.

Al caso gaditano cabría encontrarle otros precedentes tipológicos más directos que los italianos o germánicos, por ejemplo, en lo concerniente a su geometría o apoyos. Estas magníficas estructuras tienen en realidad algunos rasgos que las aproximan al tipo estructural desarrollado -llegándolo a patentar- por el ingeniero ruso Vladímir Shújov. Por ejemplo el depósito de agua realizado para la Exposición Industrial y de Arte de Rusia de 1896 en Nizhny Novgorod (de 37 m de altura), el Faro de Adziogol del estuario del Dnieper en Ucrania, otra estructura hiperboloide construida en 1911 que alcanza una altura de 64 m o la Torre de Radiodifusión de Moscú -la Torre Shábolovka- paradigma de las nuevas formas constructivas que la modernidad ofrecía, terminada en 1922 y cuyo diseño inicial alcanzaba los 360 m pero cuya altura se redujo a 160 m por la escasez de acero que existía en Rusia en esos momentos. Lo destacado de estas torres era su sencilla forma de ejecución a partir de perfiles rectos metálicos que conformaban la superficie de revolución dibujando sus generatrices y unos anillos horizontales que los ataban internamente. Para dar una idea de la innovación que implicaban, baste mencionar el peso de estas estructuras en relación a otras semejantes en su envergadura; de acuerdo con el proyecto inicial la Torre Shábolovka tenía un peso de 2.200 t, mientras que la Torre de Eiffel con esa misma altura pesa 7.300 t. Las magníficas Torres en el río Oká de 128 m y construidas en 1929 son otro referente esencial. Sus fustes consisten en cinco secciones que forman hiperboloides de revolución superpuestos que descansan sobre una cimentación circular de 30 m de diámetro. La extrema ligereza del tipo estructural desarrollado magistralmente por Shújov resulta ser muy eficaz para este tipo de construcciones en altura por la relación tan favorable que supone entre esbeltez, estabilidad y consumo de material. Y por ello se ha seguido utilizando, cabe citar la Torre Port Kobe en Japón, un hiperboloide en celosía de acero de 108 m de altura o la torre de telecomu-

nicaiones multiusos Canton de Guangzhou que es la estructura hiperboloide más alta del mundo hasta la fecha con 600 m de altura.

La serie de boyas, puntos de anclaje de barcos y faros de estructuras ligeras (faros de esqueleto) desarrollados en el s.XIX a partir del invento de los pilotes roscados del ingeniero británico A. Mitchell, en zonas en las que no era posible cimentar una torre tradicional, son un punto de origen de estas estructuras en celosía (7). Precisamente en Cádiz se conserva un faro de este tipo, el del Castillo de San Sebastián, una estructura de 38 m de altura construida en 1912 mediante montantes y anillos en celosía -semejantes a los de las Torres de la Luz- en torno a un fuste central también de acero que aloja una escalera de helicoidal. También pueden considerarse otros casos que construyen no tanto una referencia tipológica directa para la estructura como un imaginario constructivo del momento y que indudablemente conformaba el espectro de conocimiento técnico y formal con el que trabajarían estos ingenieros. Explorar las posibilidades resistentes de los materiales, en concreto del acero -pero también de los hormigones armados para sus cimientos- desde el punto de vista técnico o el manejo de formas derivadas de un proceso de abstracción y depuración vinculado a la industrialización y la tecnología desde el punto de vista del diseño, eran preocupaciones inherentes a los ingenieros y arquitectos desde hacía años. Es clave comprender que en estos momentos y en particular en estas obras, ambas inquietudes estaban indisolublemente unidas. Un vínculo entre forma y función especialmente visible en estas obras civiles y que resulta evidente si recordamos que idea proviene del latín *idēa*, y esta a su vez del griego *ἰδέα*, que significa forma, apariencia, subrayando esta correlación -desde el mismo origen etimológico- entre una función y la forma que requiere su puesta en práctica.

El Monumento a la Tercera Internacional de Tatlin de 1920 podría entonces proponerse como precedente a considerar para estas torres. Una colosal estructura en espiral que se ha convertido en icono de la modernidad. Incluso también podría añadirse a ese imaginario un curioso referente local, el Faro de Colón del arquitecto Casto Fernández-Shaw proyectado como una gigantesca hélice cónica para el famoso concurso en la isla de Santo Domingo (1929) y que en aquellos años había desarrollado una intensa actividad profesional en la provincia de Cádiz (8) (Figura 3).



Figura 3. De izquierda a derecha: Torres de Messina, Torres del río Oká, Faro de Cádiz y Faro de Colón. Fuente: wikipedia.org.

Toscano se inspiró en las obras de Shújov como también resulta probable que conociera estos otros ejemplos. El propio Remo Scalla reconoció que el proyecto de Cádiz partía de la concepción general y los sistemas y detalles constructivos que empleaba el ingeniero ruso, pero podría añadirse que el proyecto de Toscano perfecciona el modelo evitando los anillos que dividen el fuste de las torres de Shújov. Su aportación es que construye mediante un sólo tronco de hiperboloide los 150 m altura, es decir, se eleva de manera continua a diferencia de los modelos soviéticos que utilizaban varios anillos dividiendo la torre en segmentos. Se trata de una estructura original, más robusta pero no por ello menos elegante, cuyo peculiar y avanzado diseño permite repartir los esfuerzos mediante un gran número de piezas, fáciles de galvanizar y de montar y cuya cualidad destacada es que el fallo de un elemento en esa tupida maya encuentra la colaboración de otros contiguos que pueden asumir este quebranto con la consiguiente disminución del riesgo real en el conjunto de la estructura. Las Torres de la Luz gaditanas serían así una combinación decantada a partir de todas estas experiencias, una estructura diferente que significaba una evolución sobre las que acaba de ejecutar aquel equipo en el estrecho de Mesina cuya solución estructural es en realidad bien distinta (Figura 4).



Figura 4. Las Torres desde Matagorda. Autor: Joaquín Hernández.

3. SU ESTRUCTURA

El conveniente reparto uniforme de esfuerzos sobre la cimentación da origen a su planta circular y su elevación como un hiperboloide de una hoja. Este fuste está formado por vigas

de acero galvanizado de alas dobles, rectas como en los modelos soviéticos pero divididas en tramos de pequeña longitud y armadas en este caso. Unas vigas que dibujan no su generatriz como hacen aquellos, sino las ramas, y se arriostran con anillos horizontales formados también por vigas trianguladas del mismo canto conformando una cuadrícula que se rigidiza en ambas caras con otros perfiles simples en aspa.



Figura 5. Interior del fuste de las Torres. Autor: Joaquín Hernández.

Este tipo de estructura encuentra un compromiso entre firmeza estructural y ligereza material persiguiendo una menor resistencia al viento, un factor de importancia relevante en nuestro caso. En concreto, en la Bahía de Cádiz el viento dominante es de Poniente cuya velocidad media ronda los 18 km/h, pero el de Levante, de mayor intensidad y que la azota 150 días al año, sopla de forma sostenida alcanzando los 50 km/h y rachas que superan los 100 km/h (9), frente al mes más ventoso del año en el caso de Messina que es diciembre, con una velocidad promedio de 20,4 km/h.

En detalle, las vigas armadas mencionadas anteriormente están formadas por cuatro perfiles en ángulo unidos dos a dos por medio de pletinas empresilladas para crear sendas alas (con los angulares mirando hacia dentro en la cara exterior y a la inversa en la interior) y angulares en diagonal y horizontal para formar el alma en celosía (Figura 5). Unos montantes de canto constante 750 mm dispuestos de forma concéntrica al fuste y con ángulo variable con la vertical para dibujar la silueta hiperbólica. Se unen entre ellos con las otras celosías horizontales conformadas con pletinas en sus alas y angulares soldados formando rombos en el alma resultando una cuadrícula con profundidad que se arriostra con otros angulares pareados trazando cruces para tejer la superficie interior y la exterior del fuste. Lo forman en definitiva una serie de montantes unidos por 18 anillos poligonales de 24 lados en su tramo inferior y 25 anillos de 12 lados en el superior (Figura 6).

Un conjunto de elementos de dimensiones y peso moderados que se elevaban soldados y galvanizados en una pieza y se atornillan fácilmente con remaches de seguridad (91.000 fueron utilizados para la unión de los distintos elementos) (10). Este mecano con vigas armadas que oscilaban entre los 600 kg y 1.150 kg favorecía también el montaje en altura dado que el peso que podían elevar las grúas era limitado (11).

Por su parte, la cruceta que sostiene los conductores en capa de las 6 catenarias separadas entre sí 12 m (disposición más

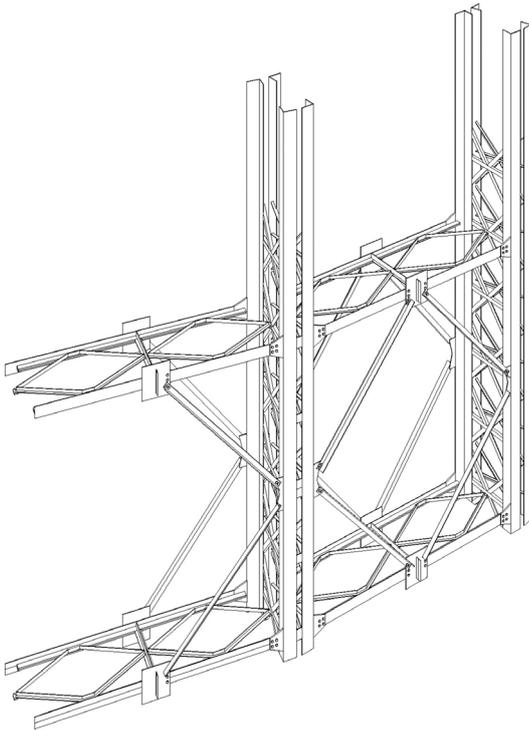


Figura 6. Detalle del fuste. Elaboración propia.

segura para evitar colisiones en caso de fuerte viento), es una viga de sección romboidal de 71 m de longitud que se apoya centrada en el fuste por medio de una cuna hexagonal. Conviene señalar la originalidad de este elemento ya que, tanto en los ejemplos italianos como en los alemanes, esta cruceta era múltiple. Decir no obstante que el caso del río Elba, presenta una interesante singularidad estructural en contraste con la construcción habitual de estas torres de celosía: la dirección de la línea pasa diagonalmente sobre la planta cuadrada del pilón, lo que revierte en ahorro de acero en las secciones de la torre al utilizarse mejor su inercia. En nuestro caso las catenarias se disponen colgando de unos aisladores de triple cadena suspendidos desde la cruceta (Figura 7).

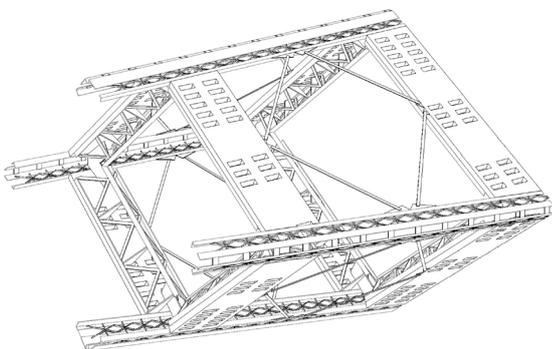


Figura 7. Detalle de la cruceta. Elaboración propia.

Cada uno de sus brazos piramidales se conforma con 19 marcos romboidales -que disminuyen progresivamente su tamaño- dispuestos en paralelo cada 4 m (las diagonales horizontal y vertical del mayor de ellos miden 11 y 7 m respectivamente). Los conductores cuelgan simétricamente del tercer, sexto y noveno de estos marcos contados desde el eje de la cruceta. Sus lados se

construyen como vigas de sección en 'T' formadas a partir de 6 angulares unidos por presillas y diagonales. Los vértices de estos marcos romboidales se rigidizan interiormente con cartelas y se cosen a los adyacentes con unas vigas de 8 m dispuestas en longitudinal sobre cada una de las aristas de las pirámides (vigas armadas de sección en 'V' coincidiendo con las angulaciones del marco romboidal constituidas a su vez por 4 angulares unidos dos a dos con diagonales). La estructura dibuja así en cada una de sus cuatro caras un entramado cuadrangular que es arriostrado con perfiles angulares conformando rombos truncados inscritos en él. El peso de las vigas colocadas como aristas era unos 1.200 kg en tanto el del mayor marco 2.000 kg, sumando la cruceta en su conjunto unas 50 t (Figura 8). Contiene en su interior una pasarela que la recorre de un extremo a otro y se utiliza para el mantenimiento de la instalación eléctrica, a la que se accede desde la plataforma situada en el extremo superior del fuste, una estructura tridimensional de unos 2,6 m de altura y planta hexagonal cuyos vértices enlazan tanto con la cruceta -verticalmente- como con el fuste -con perfiles a modo de jabalcones- y es accesible desde la escalera helicoidal, o bien, por el exterior desde el montacargas.



Figura 8. Vista del interior de la cruceta. Fotografía: Virginia León.

El fuste de la torre, al igual que una columna, toma contacto con el suelo a través de una basa. El ser rematada con una plataforma y la gran cruceta permite una lectura de estos elementos como capitel o arquitrabe que presenta analogías con los órdenes clásicos, un factor este añadido a su elegante percepción.

Como se apuntaba, la elección de su ubicación determinó el tipo de torre y de cimentación debido a los sustratos poco resistentes de ambos emplazamientos y a las características restrictivas que debían cumplir. Las 510 t que pesan estas estructuras descansan sobre un gran anillo de hormigón armado pretensado, basado en el sistema Freyssenet, de sección triangular hueca de 20 m de diámetro y 7 m de altura (8 m al cimiento), cuya losa inferior (de 29,8 m de diámetro) ata las cabezas de dos círculos concéntricos de 24 y 48 pilotes respectivamente de 630 mm de diámetro. Pilotes que trabajan en punta sobre la arenisca que se encuentra a unos 14 m bajo un terreno arenoso en Puntales, y a unos 16 m bajo fango en Matagorda. Los cables pretensados del anillo están unidos a 48 piezas que aseguran el anclaje de la estructura metálica a la base fijando los 24 montantes del fuste y los 24 puntos de su arriostramiento (12). Estas grandes placas de anclaje atadas por un potente zuncho quedaban integradas como parte del anillo al hormigonar el conjunto cuya perfecta nivelación era imprescindible a fin de evitar errores de aplomo que se incrementarían en altura. Presenta varios huecos a modo de ventanas siendo uno de ellos, mayor, el paso al interior de

este basamento que está rematado por una galería volada a la que se accede desde una escalera de servicio exterior.

Para el cálculo de las torres y su cimentación se aplicaron las Reglamentaciones de Industria y Obras Públicas vigentes en la combinación más desfavorable para cada caso. Los fustes se comprobaron en dos hipótesis normales con coeficiente de seguridad 3,75: la primera con las cargas verticales y viento transversal de 133 km/h (equivalente a 125 Kg/m² sobre superficies planas y 75 Kg/m² sobre superficies cilíndricas); la segunda con cargas verticales y viento longitudinal de la misma intensidad, exigida sólo en el caso de apoyos flexibles, pero estimada no obstante por la fuerte influencia de la superficie de la cruceta en sentido longitudinal. En una tercera hipótesis excepcional, con coeficiente de seguridad 3, se añadió a las cargas verticales y al esfuerzo igual a la tracción de un conductor roto (10 t) y sin reducción alguna por desplazamiento de cadena, el viento longitudinal, alcanzando así una hipótesis de cálculo sumamente severa. Para los anillos de cimentación se consideraron las mismas hipótesis con coeficientes de seguridad de 4,5 (normal) y 3,75 (excepcional), y de seguridad al vuelco de 2,25 y 1,875 para los casos normal y excepcional respectivamente. Finalmente, los pórticos de amarre se calcularon con iguales coeficientes que las cimentaciones de las torres bajo dos hipótesis normales: cargas verticales, tiro de 6 conductores sin reducción alguna y viento transversal y longitudinal respectivamente.

4. SU CONSTRUCCIÓN

¿Cómo construirlas entonces? Se trata de obras cuya complejidad obliga a atender a la construcción y su planificación como factores imprescindibles para concebir el proyecto de forma integral. Levantar una torre de 150 m resultaba un reto semejante al de determinar su estructura y por ello, para el procedimiento de izado se estudiaron varias soluciones que suponían un método y unos medios concretos a emplear en esta elevación.

En primer lugar, se simplificó la geometría del fuste unificando los 44 anillos y sus respectivos montantes de forma que se generaban troncos de base poligonal y alturas coincidentes, 8 m. Estos troncos, de diámetro 20 m en la base, se reducían según la curva cuadrática hasta 5,5 m en la coronación de las torres. Los 7 primeros tienen como planta un icositetrágono y sus aristas coinciden con los 24 montantes, mientras los 10 restantes reducen sus caras a la mitad con una planta en forma de dodecágono. Los primeros 3 troncos constan de 2 anillos separados 4 m entre sí al igual que ocurre del 8º al 11º, en cambio del 4º al 7º y del 12º al 17º son 3 los anillos arriostrados que abrazan a los montantes y su separación es de 2,66 m. El montaje de los fustes consistía así en ensamblar verticalmente una estructura constituida por sucesivos troncos poligonales (Figura 9).

Las alternativas estudiadas para apilarlos fueron varias, una de ellas consistía en el empleo de plumas de 15 m de altura que adosadas sobre los montantes inicialmente colocados, permitirían la elevación de los del tronco superior deslizándose sobre aquellos en un proceso sucesivo. Este procedimiento fue desechado por el enorme tiempo que exigía el desplazamiento de todas estas pequeñas grúas. Otro procedimiento estudiado planteaba desplazar verticalmente una gran pluma por el eje de la torre a la que se fijaría por medio de un conjunto de cables (método empleado en las torres de cruce del Estrecho de Messina). Mediante el acortamiento o alargamiento de los cables de fijación de la cabeza de la grúa se daba a ésta la posición e inclinación correspondiente para el izado de cada uno

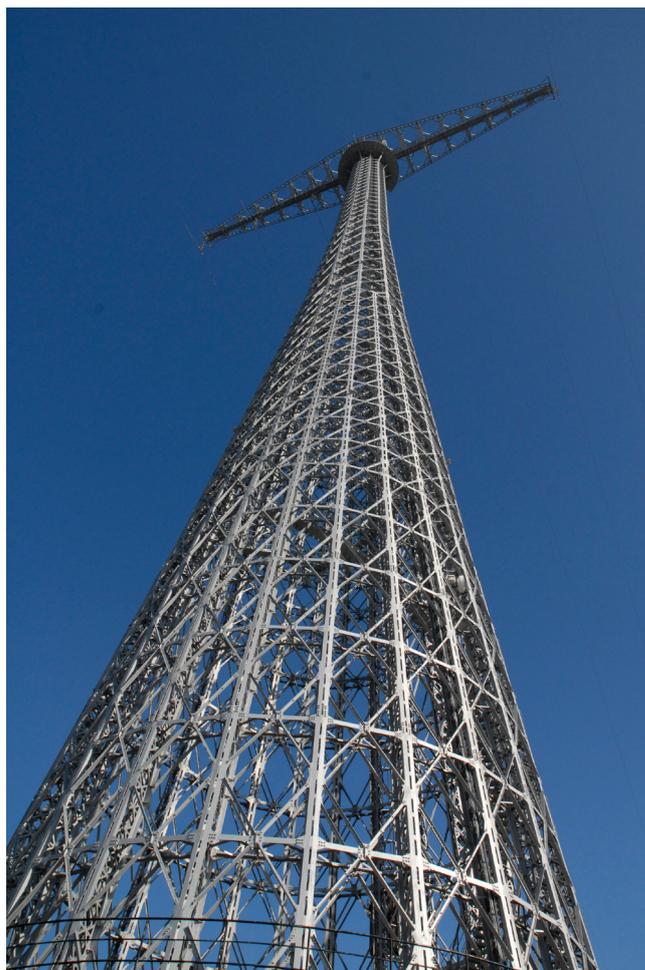


Figura 9. Fuste y cruceta de las Torres. Autor: Joaquín Hernández.

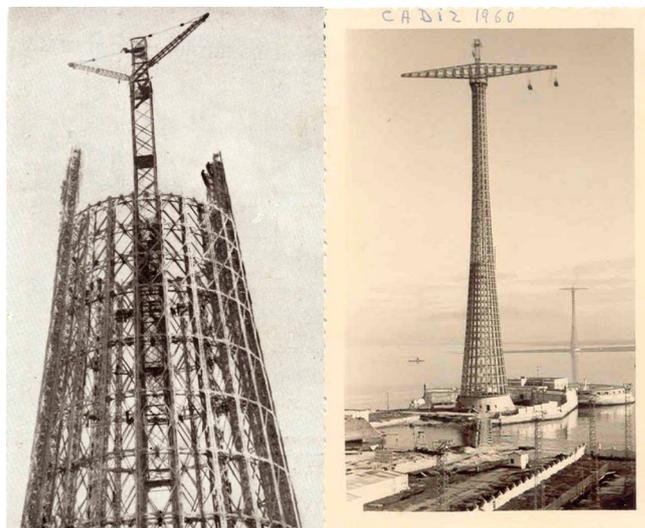


Figura 10. Montaje. Fuente: Boletines SEMI.

de los montantes. Este sistema, aunque por las dimensiones y peso de la pluma parecía en un principio práctico, fue también desechado dado el elevado número de montantes y que los movimientos de inclinación de la pluma necesarios para colocarlos -maniobra delicada- eran muy numerosos y consumían en esta operación auxiliar más tiempo que en el propio izado de los elementos. La solución finalmente adoptada por la SEMI consistió en el empleo de una grúa de 40 m de altura, con dos brazos móviles de 7,5 m de alcance y 180º de movimiento hori-

zonal cada uno (brazos que podían acortarse hasta 3,5 m para adaptarse al menor diámetro de la torre en su cúspide). Disponía de dos cabrestantes accionados por motores eléctricos de 15 CV y 7.500 r.p.m. para un tiro máximo de 3.500 Kg con una velocidad de elevación de 10 y 18 m/min y cables de acero de 18 mm. Esta pluma se desplazaba verticalmente por el eje de la torre apoyándose en tres puentes telescópicos fijados horizontalmente a su fuste y sobre los que podía deslizar el cuerpo de la grúa. Estaban formados por tramos de 1,5 m de forma que se montaban los necesarios en función de la altura en la que operaran. Así la grúa era capaz de adaptarse a la posición e inclinación de cada uno de los 24 montantes de la estructura. El conjunto de los medios de elevación alcanzaba los 8.000 kg (Figura 10).

Los cuatro tramos inferiores de la torre, que sumaban una altura de 32 m, se levantaron con la grúa apoyada en el suelo y sujeta por cuatro vientos anclados a la cimentación. Una vez izados estos cuatro troncos, se deslizaron sobre el cuerpo de la grúa los tres puentes hasta su posición correspondiente, y una vez fijados interiormente a la torre, se subió la grúa desliziéndola a su vez sobre los puentes hasta la altura necesaria para colocar dos tramos más de la estructura. Una vez completados, se elevaban los puentes de nuevo desliziéndolos sobre la grúa, y posteriormente y una vez fijados estos a la torre en la nueva posición, se elevaba la grúa verticalmente preparándola para el izado de los montantes de dos nuevos troncos; así sucesivamente hasta completar el fuste en 8 operaciones similares. A partir de estos primeros tramos, el montaje se hizo en conjuntos ensamblados en tierra que comprendían un montante y también las diagonales y anillos de unión al montante contiguo, siendo de esta forma la carga máxima a elevar unos 2.000 kg. Con este sistema, el tiempo empleado en movimiento de la grúa y puentes resultaba aproximadamente un 15% del total invertido para el izado de la torre, un lapso asumible en este caso (Op. cit 11). Un proceder establecido como repetición de tareas idénticas y continuas, que permitían el habituarse a un modo de ejecución concreto que además era favorecido por la maniobrabilidad de los medios auxiliares y el diseño de las piezas a ensamblar.

En diciembre de 1959 se habían alcanzado ya los 100 m de altura y un año más tarde la cruceta estaba prácticamente finalizada. La seguridad también fue un requisito indispensable para su colocación. Inicialmente se pensó en el izado de elementos independientes que se elevarían con ayuda de pequeñas plumas que deslizarían sobre las piezas que fueran disponiéndose y se ensamblarían in situ, pero el gran número de maniobras necesarias, su peligrosidad ante los fuertes vientos y la falta de elementos arriostrados, lo descartó. También se barajó la posibilidad de montar una gran pluma tangente a la arista superior de la cruceta que fuera deslizando sobre ella a medida que se fueran izando y ensamblando tramos completos (es decir, dos rombos y las aristas de unión) sobre el voladizo que se iría formando a cada lado del fuste. El cabestrante estaría fijado sobre él, pero este sistema -de por sí caro- requería del montaje previo de los 16 m centrales de la cruceta, operación que presentaba dificultad, y el inconveniente de tener que desplazar la pluma de un lado a otro de la torre alternativamente. Por ello se determinó izar los primeros 8 m de la estructura a cada lado del fuste haciendo uso de la grúa que había sido utilizada para su construcción y el resto con la ayuda de un pescante -atirantado a la torre con cables de 18 mm- con un brazo extensible, que se prolongaba a medida que se ampliaba la cruceta hasta alcanzar los 30 m

de longitud. Ello permitió izar en tramos alternativos a cada lado de la torre los rombos completos y cada una de las vigas que formaban los brazos piramidales para rigidizar la estructura. Inicialmente se ejecutó la mitad de un brazo y luego el opuesto, pero en la construcción de la segunda torre se optó por un sistema de bisagra del pescante que permitió elevar por tramos alternativos los brazos de la cruceta ahorrando con ello varias maniobras de alargamiento de la grúa (13).

Un verdadero prodigio geométrico el de este proyecto en su conjunto, que permitió preparar las piezas en taller utilizando sencillos perfiles en ángulo y pletinas a modo de cartelas y presillas y montarlas sin error en obra.

Una vez terminada la ejecución de las torres, se procede a la colocación de las catenarias también según proyecto de Toscano de fecha octubre de 1959. Todos los sistemas llevaban implícita la condición de no tocar el agua con el conductor -necesaria para evitar la corrosión dada la composición aluminio-acero del cable empleado- y entorpecer lo menos posible la navegación marítima en la Bahía. Otra operación compleja que fue llevada a cabo con ayuda de embarcaciones y cables guía.

En las obras intervinieron empresas como: Agroman, Aluminun Wire Cable and Company, Boeticher y Navarro, Cimentaciones Rodio, Material Auxiliar de Electrificaciones, Societa A. Salvi&C y Porcelainfabriken Norden (Op.cit. 6).

5. OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

Los pórticos de anclaje que soportan el tiro del tendido constan de 6 pilares apantallados en forma de trapecio irregular con su cara inclinada buscando la ortogonalidad al tendido eléctrico (a ellos se anclaron la polea de reenvío y trócola tensora durante la colocación de las catenarias). Están unidos sobre una viga horizontal que los ancla al suelo con una cimentación profunda. Cada pilar cuenta con un encepado de tres pilotes, uno de los cuales está alineado con la vertical del pilar y otros dos -desplazados hacia la torre y atados por una segunda viga arriostrante que crea una patilla antivuelco- se clavan en el terreno formando un ángulo de 15°. Las cabezas de los pilares están arriostrados también por una viga de canto que permite apoyar una pequeña losa que hace las veces de pasarela de mantenimiento de los conductores y es accesible por una ligera escalera de hormigón en el extremo de los pórticos. El de San José conducía las 6 catenarias del doble circuito desde la Central Térmica de Cádiz hacia la torre de Puntales, siendo indispensable para conseguir la altura y alineación correcta de los conductores, mientras que el Pórtico de Cabezuela realizaba la misma función entre la Torre de Matagorda y la línea de tendido que distribuía al territorio.

El conductor por su parte debía ser capaz de ofrecer una serie de requisitos como eran la alta resistencia mecánica para soportar la vibración eólica o su propio peso, un buen comportamiento ante la corrosión originada por el ambiente marino y una buena conductividad para evitar sobrecalentamientos que dañasen la red, ya que la reparación de esta sería costosa y con riesgos. Por ello se eligió un conductor de aluminio con núcleo de acero con mayor Sección que en los tendidos convencionales a fin de saldar estas exigencias (25,4 mm de diámetro). El aluminio se coloría exteriormente en dos capas concéntricas (la exterior con hilos de diámetro superior) y el núcleo de la catenaria sería de acero galvanizado. El engrasado de los hilos

se hizo uno a uno y durante el cableado se repitió entre capas con grasa Shell Corbula C de alto punto de gota.

Los aisladores están formados por cadenas paralelas en suspensión tipo “Motor” Nordem nº 30719-S y herrajes especiales Salvi (Op.cit. 4). Para mantener la misma altura y separación de conductores dispone de dos tipos diferentes, de tres o cuatro cadenas, dependiendo de la posición del conductor respecto al eje de la cruceta (de dimensiones 4.485 y 6.685 mm respectivamente).

Para la señalización aérea se colocaron balizas dobles rojas en los anillos nº 4, 7, 11 y 14 del fuste, así como en la cruceta.

6. LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL PROYECTO

Cabe pensar que en lo concerniente al proyecto, el dibujo esbozado -el croquis- es un medio de comprobación, de ensayo y plasmación instantáneo de la idea; el dibujo figurativo por su parte sirve más como medio de trasmisión que como me-

dio de decisión, pero en cambio, el dibujo técnico es el instrumento de desarrollo gráfico de sus contenidos, de su corroboración, dimensionado y definición y por tanto, de su precisión depende en gran medida el éxito de la obra. De ahí la pulcritud gráfica de estos proyectos y el dominio de la geometría descriptiva que caracterizaba a estos técnicos (Figura 11).

Los levantamientos publicados, los últimos divulgados (14), incluso los de la época, son erróneos. Todos ellos dibujan el fuste de las torres a partir de formas trapezoidales -que representan la proyección plana de los troncos poliédricos- de manera más o menos fidedigna, pero los arriostramientos de cada uno de los marcos que los conforman, se disponen equivocadamente pues en lugar de atar los centros de sus lados como ocurre en la estructura, dibujan erróneamente una triangulación de la superficie que une sus vértices. Una estructura por tanto de funcionamiento completamente distinto al real (Figura 12).

7. LAS TORRES EN EL PAISAJE DE LA BAHÍA

En aquel paisaje plano, de difícil precisión pues sus límites son difusos y variables en una constante mutación de mareas, las torres puntúan un territorio aparentemente ilimitado e indiferenciado, sólo comprensible desde la cartografía. Son atalayas que permiten a sus habitantes imaginar la visión de un horizonte infinito dominado por las aguas y el viento y al tiempo, parecen seguir la tradición de Cádiz como la Ciudad de las Torres ilustrada por las crónicas y la iconografía. “Se diría que la estrechez del recinto invitó a la elevación como anhelo de la mar” en palabras de Julio Malo de Molina (Op.cit. 6) (Figura 13). Es sabido que durante los siglos XVI al XVIII su perímetro fortificado obliga a sus habitantes a construir atalayas para observar el tráfico portuario sorteando la muralla que custodiaba el puerto bajo control gubernamental. Como tipo arquitectónico, el caserón del comerciante, con su estrecha fachada en relación al fondo del solar, presenta una torre mirador cuyas esbeltas proporciones definen el perfil de la ciudad. Con el tiempo también adquieren una función simbólica como elemento de distinción de la casa y presiden un mundo de azoteas soleado y oreado por brisas marinas en contraste con el abigarrado de las estrechas calles y callejones. No cabe definición más exacta y hermosa de Cádiz que la de este arquitecto describiéndola como una especie de gran palacio que flota sobre el mar, en el que las calles hacen el papel de corredores y las plazas son sus patios. Metáfora seguramente sugerida por la extraordinaria maqueta de la ciudad encargada por Carlos III.

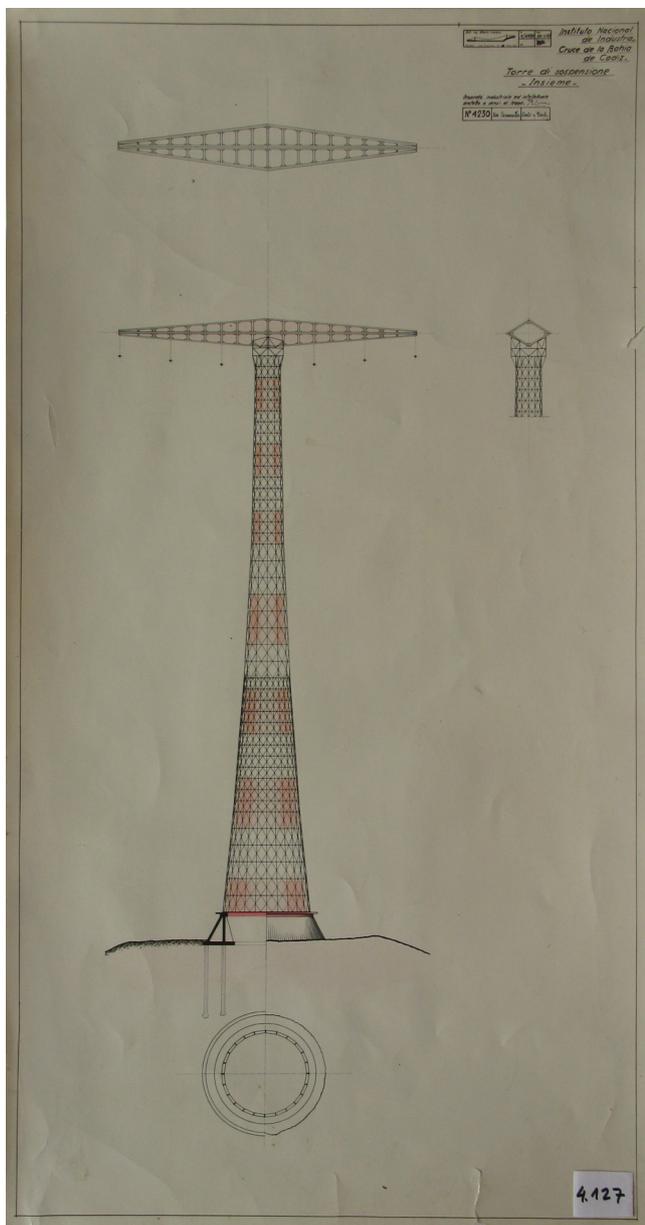


Figura 11. Único plano existente en el Archivo Municipal de Cádiz y 1ª vez reproducido. Autor: Dott. Ing. A. Toscano (4/4230. 25-1-1957).



Figura 13. Vista de la Torre de Puntales con la de Matagorda al otro lado de la bahía. Autor: Joaquín Hernández.

Las Torres de la Luz son elementos dimensionados a la escala de la Bahía que producen una afectación sobre el medio físico real y palpable, también socioeconómica debida a las actividades y usos del suelo que potencian y condicionan como infraestructura, pero cabe incluso considerar su huella social tras varias generaciones o la que genera su percepción subjetiva si las analizamos en términos de paisaje. Actuaciones como esta nos enseñan que deben plantearse con la voluntad de aportar valores añadidos al paisaje para no devenir en una acción acrítica de utilidad pública cuando no incluso, meramente explotadora de recursos naturales. En ellas, la intervención medida del hombre tiene el potencial de modificar la realidad revelando nuevos rasgos de su belleza y singularidad. Las Torres de la Luz son testimonio de un paisaje antropizado, auténticas señas identitarias del paisaje de la Bahía. Hoy, acompañadas en aquel horizonte por los pórticos de Astilleros y el nuevo Puente de la Constitución de 1812, son consideradas por la crítica especializada piezas destacadas de la mejor obra civil del siglo XX. Por ello, desde diciembre de 2005 están incluidas en el Catálogo del Patrimonio Histórico Andaluz y en guías de arquitectura (15) (Figura 14).



Figura 14. Torre de Puntales en construcción. Fuente: Archivo Municipal de Cádiz.

8. CONCLUSIONES

Pese a sus precedentes, deben entenderse como un caso original, sus soluciones constructivas ligadas a su concepto estructural y forma de montaje lo atestiguan. Unas estructuras definidas en función de criterios de resistencia, pero también de seguridad, economía y tiempo, que son la forma de la construcción en sí misma y se reivindican desnudas con

auténtico valor plástico. Están dotadas de un rigor conceptual que asigna a cada elemento el soporte de las acciones de la manera más eficaz y en consecuencia hermosa, según ese concepto platónico de la Estética que identifica la belleza con lo auténtico. Deben su forma a la deficiente resistencia de un firme que implica una cimentación circular para tratar de repartir homogéneamente los esfuerzos sobre el terreno y sus soluciones constructivas tienen una relación directa con las posibilidades de montaje del entramado y son acordes a los medios técnicos disponibles.

Unas estructuras que son hoy un hito técnico y también paisajístico. A sus pies y al amparo de la instalación de otras industrias como la fundición Heynes, Construcciones Aeronáuticas C.A.S.A. o Tabacalera, creció el barrio obrero de Puntales, lo cual interesa señalar para evidenciar la convivencia urbana que plantean hoy las infraestructuras con el tejido de la ciudad. Se trata de elementos que forman parte de su paisaje, fenómenos de la ciudad contemporánea que al igual que murallas o campanarios caracterizaban ciudades en el medioevo o eran motivo de orgullo de sus villas, también lo son hoy estas grandes obras civiles.

Este ejemplo permite entender que el proyecto nace con el lugar y que este normalmente orienta, si no condiciona, las decisiones que contempla; lugar con el que debe establecer una relación de integración por mimetismo o significación, pues ambas posturas son en principio lícitas; que el proyecto es un proceso de maduración de una idea, resultado de sopesar sus variables en un intenso proceso reflexivo y creativo; que esas ideas deben nacer teniendo presentes el modo de llevarlas a la práctica, contemplando cómo construirlas; que el proyecto contemporáneo obliga a ejercer una transversalidad disciplinar que afianza su validez y enriquece sus contenidos o que tiene un potencial transformador de la realidad notable y que ello requiere un entendimiento dual del Territorio, como Geografía (óptica productiva) y como Paisaje (óptica contemplativa).

La descripción de su estructura y proceso de montaje, el levantamiento realizado que define correctamente su estructura por primera vez con dibujos ciertos y detallados o los apuntes realizados sobre su importancia paisajística, pueden contribuir hoy a sentar las bases de su conservación patrimonial, cualificación que permitiría entre otras acciones, el hacer visitable la Torre de Puntales para dar máxima expresión a esa tradición tan gaditana de otear el horizonte.

Las Torres de la Luz son hitos que afianzan en su lejanía la construcción continuada de un paisaje que refrenda un medio físico tan singular como el de la Bahía de Cádiz.

REFERENCIAS

- (1) Carbajal-Ballell, N.J. (2016). El Salto del Jándula. Génesis de un paisaje. Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente.
- (2) Moreno Tello, S. (2014). El contexto histórico-social. El barrio de Puntales como eje clave de la obra. Fundación Endesa.
- (3) Hidalgo J.A. (2019). La ciudad de los 625.000 habitantes. (3 de marzo 2019). Recuperado de https://www.diariodecadiz.es/cadiz/Urbanismo-Vivienda_o_1332766969.html.
- (4) Cruzando la Bahía. (2006). Boletín informativo del COPITI de Cádiz, 32.
- (5) Spada, G. (2014). Arquitectos italianos en España, relaciones y contexto. Zibaldone. Estudios italianos, 2(1), 49-65.
- (6) Malo de Molina, J. (2013). Dos atalayas metálicas sobre la Bahía de Cádiz. Fundación Endesa.
- (7) González Vílchez, M., González García de Velasco, C. (2010). El faro de Cádiz, un testimonio tardío de los faros metálicos del siglo XIX. Presentado en Jornadas Andaluzas de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública, 1ª. 2010. Sevilla.
- (8) Secretaría General Técnica, Ministerio de Cultura. (1981). Poesía. *Revista Ilustrada de Información Poética*, 11.
- (9) Junta de Andalucía (1998). Guía del Parque Natural. Bahía de Cádiz. El Medio Físico.
- (10) Compañía Sevillana de Electricidad (1988). Las Torres de Cádiz. *Revista Guadalquivir*, 9.

- (11) Sociedad Española de Montajes Industriales (1958). Cruce de la Bahía de Cádiz con líneas eléctrica de 132kV. *Boletín SEMI*, 17, diciembre 1958. Madrid.
- (12) Sociedad Española de Montajes Industriales (1958). Izado de las Torres de Cruce de la Bahía de Cádiz. *Boletín SEMI*, 16, julio 1958. Madrid.
- (13) Sociedad Española de Montajes Industriales (1959). El Cruce de la Bahía de Cádiz. Izado de la cruceta y tendido de los conductores. *Boletín SEMI*, 19, diciembre 1959. Madrid.
- (14) Scala, N., Malo de Molina, J. Las Torres de la Luz. Bahía de Cádiz. Nero Scala 1955-1961. *Tectónicablog*. Recuperado de https://pro-tectonica-s3.s3.eu-west-1.amazonaws.com/cadiz_1553244236.pdf.
- (15) Jiménez Mata, J., Malo de Molina, J. (1995). Guía Arquitectónica de Cádiz. Junta de Andalucía, C.O.P.T.