

La cimentación de las torres de la Plaza de España de Sevilla: regionalismo e innovación tecnológica en los años 1920

Antonio Jaramillo Morilla
Luis Díaz del Río Martínez
Emilio Mascort Albea
José Enrique Povedano Molina
Jonathan Ruiz Jaramillo

La Plaza España, se erige como la obra de referencia de la Exposición Iberoamericana celebrada en Sevilla, en 1929. Vinculada al sector de expansión meridional de la ciudad, se ubica en el contexto del Parque de María Luisa, proyectado a principios del siglo XX. De este modo, la amplia plaza central, de forma semielíptica contiene una ría, y se encuentra cerrada de modo monumental por un edificio central y dos torres en sus extremos.

El arquitecto Aníbal González proyectó en 1923 las torres norte y sur de la misma. Ambas funcionan como elementos encargados de rematar el eje mayor de la semielipse y, asumen por su altura, la condición de nuevos referentes urbanos. Destaca la elección de una cimentación profunda a base de pilotes prefabricados de hormigón armado. Una solución avanzada para la época que contrasta con el tradicional lenguaje arquitectónico empleado para el diseño de las edificaciones. Desgraciadamente, la dimisión a la que se vio forzado el arquitecto en 1926 le impidió finalizar la ejecución completa de las mismas (figura 1).

La Plaza de España tenía como uso previsto tras la Exposición de 1929 convertirse en Universidad Obrera, Museo de la Industria, y otros usos culturales. Sin embargo, el edificio fue ocupado por los militares sublevados en Septiembre de 1936. Los documentos que hemos encontrado se limitan a una alocución del general franquista Queipo de Llano por radio el 15 de Septiembre y la transcripción en el periódico ABC de Sevilla el 16 de Septiembre (1936).

Dicha circunstancia ha provocado que la Plaza de España sufra la dicotomía de pertenecer a diversos propietarios: los edificios son de propiedad estatal mientras que la parte central pertenece al Ayuntamiento de la ciudad, lo que ha causado falta de uniformidad en las reparaciones y actuaciones.

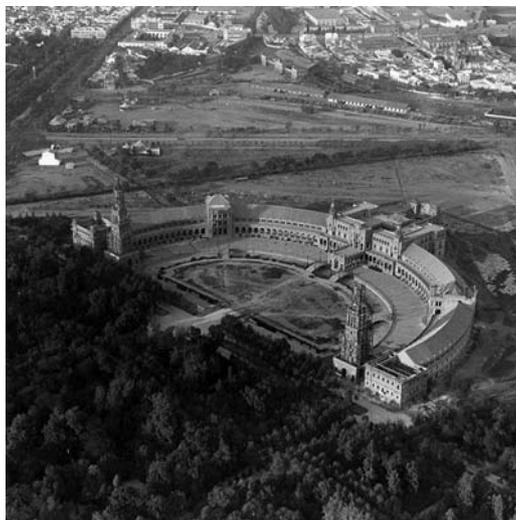


Figura 1
Vista aérea general de la Plaza España en el conjunto del Parque de María Luisa. (Servicio de Archivo, Hemeroteca y Publicaciones del Ayto de Sevilla)



Figura 2

Vista desde la ría anterior a la construcción de las torres, nótese la existencia previa de carruseles en lugar de las mismas. (Fondo Documental de la Universidad de Sevilla)



Figura 3

Dibujo de la «Tower of Jewels», proyectada para la Exposición de San Francisco de 1915. (<http://www.books-about-california.com/>)

En 2005, la ría de propiedad municipal, caracterizada por ser el primer elemento ejecutado, anterior al edificio elíptico y a las torres (los últimos elementos construidos) fue desecada para reparar los puentes peatonales (figura 2) y así permanece en la actualidad. Al poco tiempo del vaciado, comenzaron a aparecer daños en el pórtico perimetral de las torres que han requerido la colocación de arriostramientos en la torre norte. Actualmente han comenzado las obras de recalce en la misma mediante micropilotes en el pórtico perimetral.

A través de este artículo se pretende poner en valor la formación técnica de Aníbal González estudiando los cálculos y soluciones técnicas empleadas en la cimentación de las torres de la Plaza España. A su vez, este estudio supone una llamada de atención sobre la situación de deterioro actual en que se encuentran determinadas zonas de estas construcciones, sin las cuales sería imposible entender el paisaje urbano de la ciudad de Sevilla.

EL AYER

La torre. Antecedentes

Podemos encontrar un antecedente notable en la Exposición de San Francisco de 1915, con la Tower of Jewels (figura 3). Aníbal González cita como antecedentes con el mismo sistema de rampas y mesetas de descanso entre muros, los alminares de las mezquitas almohades de Qutubiyya (Marrakech), la Torre Hassan de Rabat y la Giralda, así como otros modelos: la torre de San Marcos y la de Santa Catalina en Sevilla.

Las torres tienen un perfil escalonado con tres capas de fábrica de ladrillo concéntricas en el primer tramo, que tiene una altura de 11 m y un núcleo macizo que llega hasta la Terraza de las Palomas. Sobre esta se dispone la Galería de las Flores, con muros de más de 1,5 m de espesor y con un hueco central. El núcleo exterior continúa hasta el Mirador de los Azulejos a 44,82 m de altura, mientras que el central sube hasta el Balcón de las Pilastras (51,15 m), donde llegan las rampas (figura 4). Este núcleo de fábrica de ladrillo es el único elemento estructural a partir de la cota 44,82.

Además disponían de un ascensor que iba desde donde terminaban las rampas hasta la parte superior. Fueron suministrados por la casa Boeticher y Navarro a última hora (Comité de la Exposición Hispano

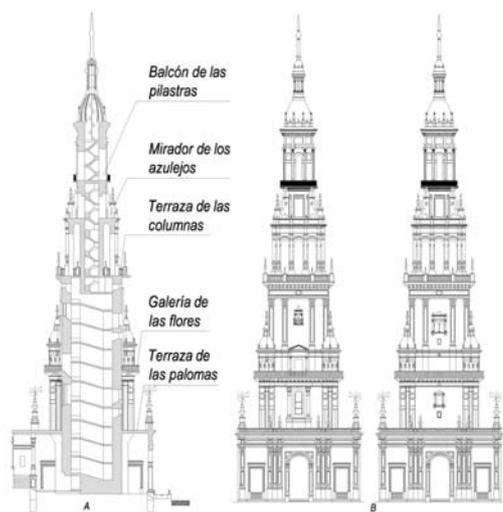


Figura 4
Levantamiento de las torres: (a) Sección tipo con indicación de las terrazas; (b) Alzados tipo (Fuente documental propia)

Americana de Sevilla. 1927). De hecho el de la Torre Sur fue encargado y suministrado después de la inauguración de la Exposición. Las dimensiones de los ascensores eran de 2×1 m aproximadamente y tenían las cabinas de madera de caoba. Los dos parecen haber desaparecido.

La cimentación de las dos capas de fábricas interiores es profunda, mediante pilotes hincados. La cimentación de la zona más exterior y baja es superficial (zanja corrida).

Las torres fueron polémicas en su día ya que competían en altura con la Giralda. La Academia de Bellas Artes de Santa Isabel de Hungría las consideró «costosas, innecesarias y poco bellas», y que simbolizaban la arrogancia de los nuevos tiempos.

Para su construcción se utilizó principalmente el ladrillo y la cerámica vidriada. El ladrillo aparece tallado en muchas partes, como si fuesen ebanistas los que labraron las ornamentaciones.

Las características principales de las torres son: Altura total de 74,10 m, más el pararrayos.

Lado del cuadrado de planta 10 m (torre interior), y del núcleo interior 3,92 m.

Anchura de las rampas 1,50 m.

Grueso del muro exterior 1,54 m y núcleo central 1,50 m.

Las torres, aun siendo parte del patrimonio de Sevilla nunca han sido objeto de inspecciones periódicas ni sistemáticas (Instituto Tecnológico Geominero de España 1991, 3).

El terreno. Estudio geotécnico realizado por Aníbal González

Previamente a la construcción de las torres, Aníbal González encargó un estudio del terreno. Se realizaron dos sondeos en la ubicación de cada una de las torres, detectando que el terreno en la torre sur tenía mejores condiciones resistentes que la torre norte. Deducimos por el croquis que el material utilizado para el sondeo fue una sonda de barrena helicoidal (figura 5).

En la torre norte, las arcillas en el sondeo de los años 20 llegan a los 16–18 m, mientras que en la torre sur, debajo de las arenas y gravas se localizaron arenas compactas.

Por el croquis parece que llegó a realizarse un pozo de grandes dimensiones para ubicar la cimentación de la Torre norte, eliminando buena parte de los rellenos. Los pilotes se realizaron desde una plataforma a 2,4 m de profundidad, y por debajo de esa cota existen rellenos en lugar de material seleccionado.

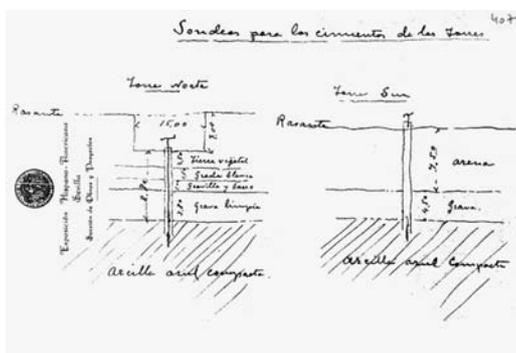


Figura 5
Sondeos para los cimientos de las torres. (Archivo de la Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura, Sevilla)

El terreno. Estudios geotécnicos posteriores

Se han realizado dos estudios geotécnicos posteriores. El primero (Instituto Tecnológico Geominero de España 1991), se concentró en la Torre norte. Se realizaron mediciones de los niveles freáticos, tanto en los sondeos realizados como en un pozo para aire acondicionado, situado a 40 m de la torre norte.

El coeficiente de permeabilidad del terreno es de $5,6 \times 10^{-2}$ cm/s. El terreno en la parte Norte es: Relleno de 3,5 a 8 m según zona, en la zona del sondeo más próximo a la torre parece que es de 3,5 m. Arcillas (marrones, orgánicas grises y arenosas). Parte de estas arcillas pueden considerarse como rellenos también. El espesor en el sondeo es de 2,60 m, las marrones, de 1,8 las plástica marrón. El espesor total de las arcillas es de 4,40 m. Arenas arcillosas con un espesor de 2,2 m. Gravas con espesor de 6,6 m, y finalmente Margas azules.

Los sondeos actuales se parecen bastante al sondeo realizado por Aníbal González, tanto en la torre norte como en la sur.

Los ensayos de bombeo que se realizaron en 1991 indicaron que podía existir una fuga importante de la ría en la cara sur de la torre norte, donde de hecho se

han producido los mayores daños con la desecación. Recordemos que las torres fueron construidas cuando la ría ya estaba llena de agua.

Las cimentaciones

La cimentación del pórtico que rodea la torre es una zanja corrida de hormigón que tiene una profundidad de 2,75 y una anchura de 1,2 m (González Álvarez-Ossorio 1925). Sobre esta zanja se echó un mortero de cal y arena con una altura de 1,95 en la fachada a la avenida de las Palmeras (calle con tráfico del parque), 2,15 m de relleno en la fachada opuesta y 1,95 en la zona de la ría. Sobre este mortero se colocó una fábrica de ladrillo para regularizar las cotas y de arranque y posteriormente la fábrica de ladrillo estructural.

Se realizaron tres diseños de cimentación para la torre (Díaz del Río 1990). El primer diseño corresponde a una solución tradicional mediante pozo lleno con mortero, aumentando la superficie a medida que profundiza. Es el tipo de solución utilizada en monumentos en altura como la Giralda o la torre de Pisa. Se realizó un segundo diseño donde aparecen ya los pilotes hincados de 10 m de longitud con un encepado en forma de losa escalonada de 3 metros de altura total. La tercera es la realmente ejecutada: «Es de hormigón armado y consta de pilotes y



Figura 6
Imagen histórica de la ría. (Servicio de Archivo, Hemeroteca y Publicaciones del Ayuntamiento de Sevilla)

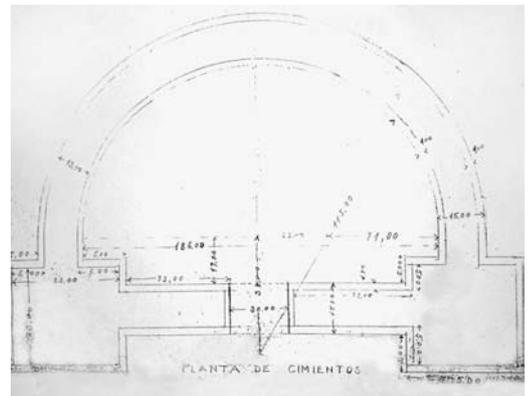


Figura 7
Planta de cimientos de la ría de la Plaza de España. (Archivo de FIDAS, Sevilla)

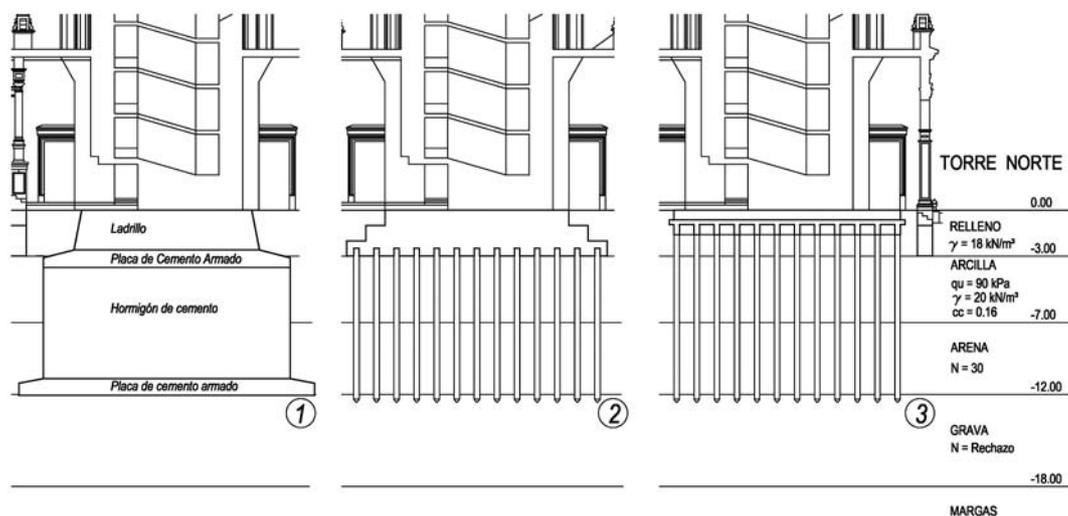


Figura 8
Estudio de los diseños de posibles cimentaciones para las torres y corte tipo del terreno. (Fuente documental propia)

de plataforma general. Los pilotes se hallan distribuidos en 13 filas de 13 unidades o sea en total 169 pilotes. La plataforma de planta cuadrada tiene 17 m de lado y se halla construida con nervios que se apoyan sobre las cabezas de los pilotes y losas que abarcan toda la superficie» (González Álvarez-Ossorio 1924b art. 3).

La cimentación fue ejecutada por el constructor D. Domingo de Casso y Romero. La cimentación de cada torre se realizó sobre una losa pilotada de 13×13 pilotes hincados (169 en total). El pliego de condiciones se realizó en Enero de 1923, por tanto se ejecutaron los pilotes entre Febrero y Septiembre de 1923 donde se pasa la certificación final. Las torres, fueron posteriormente levantadas, por la empresa Vías y Riegos de Zaragoza. El informe de Aníbal González sobre la adjudicación fue realizado en Diciembre de 1924.

Los pilotes de hormigón hincados son cuadrados de 35 cm de lado y construidos de 10 m de longitud. Las armaduras principales son 4 redondos en toda su longitud y 4 redondos de refuerzo en los 6 metros centrales del pilote para su transporte en obra. Todos los redondos longitudinales eran de 20 mm. Los cercos de redondo de 5 mm espaciados 20 cm.

Los pilotes se hincaron para obtener un rechazo de 40 mm en una andanada de 10 golpes con una maza de 3.000 kp con una caída de 70 cm. Debemos de decir que este rechazo es elevado, dado que los criterios actuales son de 10 a 15 mm.

La cimentación de pilotaje fue calculada y dirigida antes de disponer de un proyecto definitivo por el ingeniero de caminos D. José Luis de Casso, con un coste de 53.104,60 pesetas, (33.597,80 la Torre norte y 19.506,80 la Torre Sur).

Se enceparon con un emparrillado de vigas de $1,00 \times 0,25$ m de sección unidas en cabeza por una losa de 30 cm de espesor.

No todos los pilotes llegaron a los 10 m. En la Torre Sur quedaron muy por encima. En la Torre norte algunos no pudieron hincarse más de 6 m.

Cálculos de viento. Resistencias

En Mayo de 1991, según el informe realizado por el I.T. Geominero de España: «No existe ningún peligro ni estructural ni funcional para la Torre (Norte) en un futuro relativamente lejano». El citado informe también recomendaba instalar en la Torre una estación climatológica con registro de velocidades y

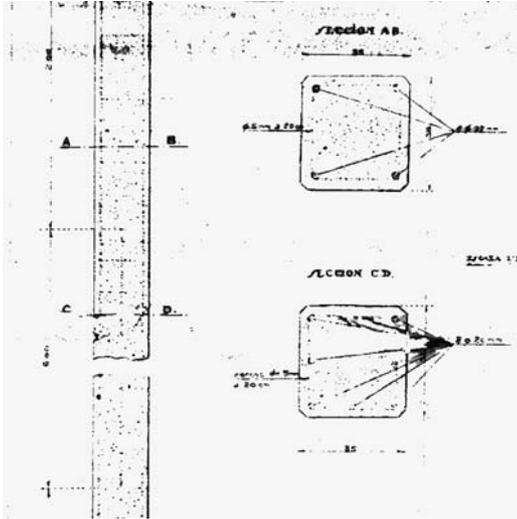


Figura 9
Detalle de los pilotes utilizados para la cimentación profunda de las torres. (Archivo FIDAS, Sevilla)

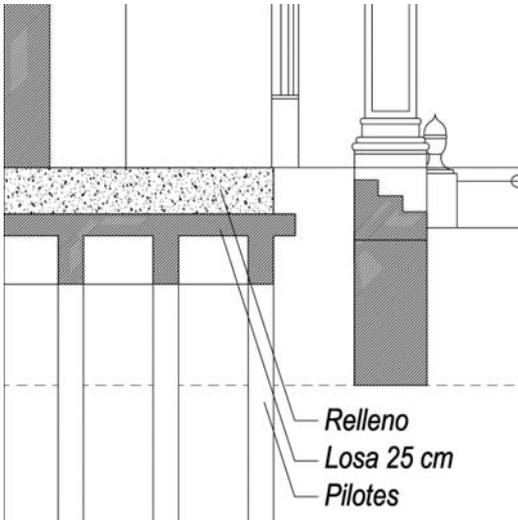


Figura 10
Detalle del encuentro de la losa, el relleno y las cabezas de los pilotes en el modelo de cimentación ejecutado. (Fuente documental propia)

orientación de vientos, así como de temperaturas. También aconsejaba instalar acelerógrafos en la Torre. Nada de lo anterior se realizó.

Aníbal González realizó un magnífico documento titulado: «Apéndice a la memoria: datos sobre la estabilidad y resistencia» (González Álvarez-Ossorio 1924a). En este documento calcula exhaustivamente tanto el peso de la torre completa (4.609.500 kp), 46 MN, así como el empuje del viento que lo estima en 141.480 kp a una altura aproximada de 29,80 m. Parece que en sus cálculos, solo estimó el peso hasta la cota 0. Según nuestros cálculos hasta esa cota es de 52 MN, incluyendo la parte de las terrazas que carga sobre el núcleo.

Aníbal González calcula de puño y letra el paso de la resultante por el núcleo central de la torre. Todo esto, para un viento que él estimó que podía llegar a ejercer una presión de 270 kp/m², en una ciudad donde existen antecedentes de muros derribados por el viento.

Cálculos con la normativa más reciente nos hacen pensar en una carga de viento de 300 kN, a una cota resultante de 23 m de altura. El momento volcador de la torre es de 6.900 mkN aproximadamente, debido al viento. El momento volcador con el que Aníbal González calculó la torre era de 4.216 mt es decir 42.160 mkN. Las cargas calculadas fueron muy superiores. La presión transmitida por la fábrica es de 4,6 kp/cm², y en caso de fuerte viento la presión llegaría a 7,37 kp/cm².

Resulta también muy interesante que Aníbal González calcule las presiones transmitidas por diferentes monumentos en las fábricas. De este modo las presiones en kp/cm² que corresponden a los diferentes edificios históricos estudiados por el arquitecto son las siguientes: San Pedro de Roma (16,36); San Pablo de Londres (19,36); Los Inválidos de París (14,76); Catedral de Milán (29,44); San Pablo de Roma (40,00); Torres Plaza España (4,6, siendo 7,37 si se considera una fuerte presión del viento).

La fábrica de las torres presenta un aparejo dispuesto a soga y tizón. No existen huecos en la parte baja del núcleo. El ladrillo utilizado exteriormente es de color rojizo de 25 × 12,5 × 4,5 cm con un rebaje de 0,5 cm. Parece que los ladrillos fueron fabricados por la empresa Roisa. El espesor de las llagas y tendeles del mortero es de 0,5 cm. El ladrillo interior de la fábrica por los ensayos se muestra diferente, tipo

coriano, amarillento, de $25 \times 12,5 \times 4,5$ cm y mortero entre 0,5 y 2 cm.

Hemos realizado varias mediciones de la fábrica de ladrillo exterior y nos ha sorprendido la exactitud de la obra. Podemos sacar la altura y medidas de todas las partes de las torres, ya que el conjunto de ladrillo y llaga mide exactamente 5 cm pudiendo despreciar el error.

Los ensayos de la fábrica de la caña de la torre norte dan de 9,00 a $10,63 \text{ N/mm}^2$ a compresión. A tracción la fábrica presenta resistencia de $1,27$ a $1,75 \text{ N/mm}^2$. La fábrica de la cimentación da valores muy similares a compresión y algo inferiores a tracción (de $1,02$ a $1,1 \text{ N/mm}^2$). El peso específico de la fábrica es de $17,2$ a $17,4 \text{ kN/m}^3$ (Instituto Tecnológico Geominero de España 1991).

Si comparamos estas medidas de resistencia de la fábrica de ladrillo con las cargas transmitidas, vemos que el coeficiente de seguridad es superior a 15. Aníbal González sigue la regla fundamental de la arquitectura de que el coeficiente de seguridad a la rotura debe de ser mayor de 10–15. Regla que se cumple en múltiples catedrales como la de Milán, San Pedro, pero curiosamente no se cumple en los pilares de la catedral de Sevilla.

EL HOY

Daños en las torres

En el informe del Instituto Tecnológico Geominero de España (1991) se detectaron fisuras en centro de dinteles planos, grietas longitudinales en el contacto de las bóvedas que soportan las rampas y el núcleo central, y el asiento del pórtico perimetral inferior respecto al núcleo de la torre. Las reparaciones y refuerzos que aparecieron eran de distinta época, y las grietas aparecían selladas con mortero de cemento. Sin embargo, no se apreciaron entonces movimientos de la torre respecto al pórtico.

Tras las mediciones realizadas, se comprobó entonces que el núcleo de la torre no se encuentra en movimiento ni presenta ninguna inclinación apreciable, situación que se mantiene en la actualidad. Por tanto, los movimientos detectados en 1991 obedecían a dilataciones térmicas a similitud de otras torres medidas como la de Pisa (Rodríguez Ortiz et al. 1983).

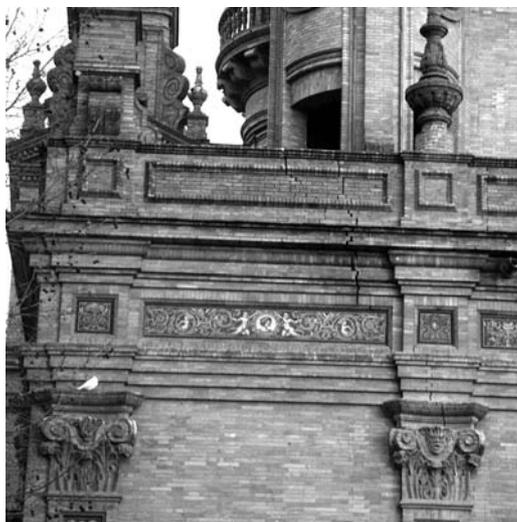


Figura 11

Imagen actual de las fisuras que presenta la fachada sur de la Terraza de las Palomas, en la torre norte. (Fuente documental propia)

Actualmente se detectan movimientos de más de 12 cm en el pórtico perimetral, movimientos en la cara sur de la torre que llegan a los 10 cm de desnivel entre las esquinas del pórtico perimetral y grietas de espesores superiores a los 5 cm.

Nivelaciones realizadas

En 1991 fue realizada una nivelación de la torre norte y se comprobó que presentaba una ligera inclinación del 2 por mil hacia el Norte y algunas fisuras de moderada importancia en claves de arcos y dinteles.

Las fisuras existentes se correspondían con el resto de la construcción de la Plaza de España. El profesor Rafael Esteve ha realizado una primera medición del pórtico de la Torre norte. No nos han permitido el acceso a las distintas terrazas de la altura, por lo que todas las mediciones se han realizado a partir de fotografías de alta resolución, corrigiendo la perspectiva y desde bases instaladas para este objeto en la misma Plaza de España.



Figura 12
Detalle actual de fisuras en la clave del arco en la Terraza de las Palomas, Torre norte, fachada oeste. (Fuente documental propia)



Figura 13
Imagen actual del arriostramiento de la Terraza de las Palomas. Torre norte, fachada Sur (Fuente documental propia)

Las nivelaciones realizadas en las tres esquinas visibles de la torre norte dan como resultado una diferencia de cota entre la esquina SE y la SW de 10 cm, y de 2 cm entre la esquina SW y la NW.

En la fachada oeste, el punto de máxima cota se encuentra aproximadamente entre 2 y 4 metros de la esquina S-W. La distorsión es de 1 cm para 2 m, es decir $L/200$. En la cara sur tenemos que la diferencia es de 3 cm en 2 m. Es decir $L/70$. La norma de ladrillo habla de distorsiones máximas de $L/1000$. Por tanto, la aparición de grietas es lógica para las deformaciones producidas. El nivel de distorsiones alcanza a la seguridad estructural, según el actual Código Técnico de Cimentaciones (CTE DB-SE-C 2006 art. 2.4.3.1 tabla 2.2). Los movimientos se han producido en el pórtico perimetral, no en la caña de la torre.

El sistema de arriostramiento se apoyó en el terreno exterior de la torre, donde el movimiento del terreno debido a la subsidencia puede llegar a los 20 cm. En el tiempo de 2 años en que ha estado el arriostramiento calculamos que se ha podido producir un asiento diferencial y que el mismo arriostramiento ha tirado del pórtico perimetral, produciéndole más daño. Actualmente estamos cuantificando esta hipótesis.

Pesos de las torres

Tenemos tres estimaciones del peso de las torres: la realizada por Aníbal González, la realizada por el Instituto Geominero en 1991 y la propia.

El terreno bajo la zanja corrida, según los sondeos realizados presenta un mínimo de $N=17$. Para una arcilla esto representa una presión admisible aproximada de 200 kPa. La carga transmitida por el pórtico perimetral es de 233 kN/m, con una presión media transmitida por la cimentación de 195 kPa. El peso total aproximado es de 18 MN.

También según nuestros cálculos el peso de la torre es de 69 MN considerando el peso propio de la cimentación sobre los pilotes. El peso de la caña de la torre hasta la cota 0, considerando también la parte proporcional de la terraza es de 52 MN.

El reparto sobre los pilotes supone una carga sobre cada uno de ellos de 411 kN. La carga admisible aproximada de cada pilote es de 800 kN, con un coeficiente de seguridad de 3, aplicando los criterios actuales del CTE. Aunque la carga por excentricidad y sismo aumentase al doble, el coeficiente de seguridad seguiría siendo 3.

EL MAÑANA

El recalce previsto

Para reparar el pórtico perimetral está prevista la realización de un micropilotaje de la cimentación superficial. En base a los mismos datos de partida, hemos comprobado la falta de precisión en los cálculos.

En el proyecto de reparación se destaca la pérdida total de capacidad portante del suelo subyacente. Sin embargo, se entra en contradicción ya que en el cálculo de los micropilotes se tiene en cuenta la resistencia del terreno en 2 metros del nivel 3 y 3 metros del nivel 4. Es más, la pérdida de humedad significa un aumento de resistencia del terreno.

Corte geotécnico:

$$Q_{\text{hund}} = \pi \cdot \sum D_{\text{si}} \cdot L_{\text{si}} \cdot q_{\text{si}} = \\ = \pi \cdot 0,15 \cdot \sum (2 \cdot 80 + 3 \cdot 220) = 386,42 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{adm}} = Q_{\text{hund}} / F = 386,42 / 3 = 128,80 \text{ kN}$$

Si comparamos esta carga con la admisible de los micropilotes según el cálculo de la empresa asesora (157,7 kN) vemos que está muy por debajo.

Además, no se ha considerado el rozamiento negativo del terreno superior. El proyecto dice que ha respetado el CTE. Sin embargo, en los cálculos está bajando el nivel freático. Recordemos lo que dice el CTE sobre cómo debe calcularse el rozamiento negativo (CTE DB-SE-C 2006 art. 5.2.2). Si lo calculamos para un descenso de nivel freático de 4 metros, es decir, bajando el nivel freático colgado al definitivo:

$$F_{\text{s,neg}} = \sum (i = 1) \beta_i \cdot \sigma_i$$

$$F_{\text{s,neg}} = \pi \cdot 0,15 \cdot 4 \cdot m \cdot 0,25 \cdot (4 \cdot 9,81) = 18,49 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{adm}} = 128,80 - 18,49 = 110,31 \text{ kN}$$

Asimismo, los micropilotes están inclinados un ángulo de 15° con la vertical, por lo que la componente sobre el eje del pilote será:

$$Q_{\text{adm}} = (110,31 \cdot \cos(15)) = 106,55 \text{ kN}$$

En cuanto a la adherencia entre los micropilotes y la construcción existente, el proyecto redactado dis-

tingue dos zonas: fábrica de ladrillo y zahorra. A la primera le asigna la máxima tensión de adherencia: 400 kPa, considerándola una fábrica de ladrillo de alta calidad con mortero de buenas características. Con la longitud de 80 cm que atraviesa la cimentación, vemos que la resistencia es:

$$Q_{\text{adm}} = (\pi \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot m \cdot 400) / 1,6 = 94,25 \text{ kN}$$

De este modo, los resultados calculados en el proyecto de reparación de la carga admisible por rotura del terreno (157,7 kN) y de tope por adherencia (182,6) kN resultan mayores que los procedentes de un cálculo propio: 106,55 kN de carga admisible por rotura del terreno y 94,25 de tope por adherencia.

No se han tenido en cuenta las acciones sísmicas, ya que según el plano la aceleración de cálculo es 0,07 y por tanto, inferior a 0,08: «Si la aceleración sísmica básica es igual o mayor de 0,08 g e inferior a 0,12 g, las edificaciones de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, o similares, poseerán un máximo de cuatro alturas, y si dicha aceleración sísmica básica es igual o superior a 0,12 g, un máximo de dos.» (Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, 2002 art. 1.2.3). Consideramos que la fábrica de ladrillo tiene bastante más de cuatro plantas.

En cuanto a la sismicidad, desde que se construyeron las torres se han producido varios terremotos que les han afectado. La máxima intensidad sentida en Sevilla ha sido de VI y corresponde al terremoto del 28 de Febrero de 1969. El periodo de retorno, según las tesis doctorales de Jaramillo (1983) y Gentil (1984) en Sevilla depende del grado sísmico del terremoto con períodos de retorno de 6 y 10 años para seísmos de grado mayor que IV y V respectivamente, habiéndose registrado 6 terremotos de grado IV, y 6 de grado V. No se han registrado terremotos de grado VII u VIII en la ciudad.

Proceso

Recordemos que las torres se construyeron después de la ejecución de la ría: siempre hubo agua e incluso fugas, dado el material (fábrica de ladrillo) y los medios con que se construyó. La eliminación de la lámina de agua en la ría no tuvo en cuenta este efecto de subsidencia.

El agua bajo la torre llegó a estar prácticamente al mismo nivel que la cota de la ría, y va bajando a medida que nos alejamos. En el centro de la torre se encuentra a 3,10 m respecto a la solería de la torre, 2,10 m bajo la cota del terreno del parque. La cota de la ría se encontraba aproximadamente a 50 cm a nivel de la calle y por tanto a 1,50 m bajo la solería de la torre en el contacto de la cara sur. En el centro, a 2,10 m bajo la solería.

Si el nivel freático ha descendido hasta su posición en equilibrio sin la ría, el agua tiene una cota aproximada de 5–6 m. El secado de la ría ha supuesto un descenso del nivel freático colgado producido por las fugas entre 3,5 a 4,5 m en la zona arcillosa.

Aplicando una simple expresión de asiento en terreno arcilloso tenemos un movimiento entre 12 a 20 cm en función de las características edométricas de la arcilla, y un tiempo estimado de 10–15 años para que se produzca el 90%. Significaría que si el proceso de vaciado de la ría se produjo en el 2004–2005, todavía no se ha llegado a la consolidación de la arcilla, y el recalce con micropilotes sufrirá el rozamiento negativo de la situación creada desde el año 2004–2005, considerando un coeficiente de consolidación de 0,0002 cm²/s y espesor de la arcilla de 4 m con drenaje en ambas caras.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente la colaboración, información y apoyo prestado por el Dr. Aníbal González Serrano que nos ha facilitado copias del fondo documental del arquitecto Aníbal González.

También agradecemos la colaboración del personal de la Fundación para la Investigación de la Arquitectura de Sevilla que nos ha facilitado el acceso a todos los documentos depositados allí por la familia del arquitecto Aníbal González, por D. Luis Díaz del Río, y por los diferentes técnicos que han realizado proyectos relacionados con la Plaza de España.

Nuestro reconocimiento también a Rafael Esteve y los alumnos del Máster Erasmus Mundi de Rehabilitación y Reparación de Edificios que han trabajado desinteresadamente en la recopilación de datos de las torres.

Lamentamos también la prohibición que hemos sufrido de visitar las dependencias de Capitanía General

por parte de los militares y con origen en la Subdirección General de Edificaciones Administrativas.

LISTA DE REFERENCIAS

- Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, 2002. *Norma de Construcción Sismorresistente*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Comité de la Exposición Hispano Americana de Sevilla. 1927. *Acta de la sesión celebrada por la comisión permanente del comité el día 23 de diciembre de 1927*. Sevilla: Archivo FIDAS.
- Comité de la Exposición Hispano Americana de Sevilla. 1923. *Construcción de pilotes de hormigón armado. Cementación de las Torres de la Plaza de España*. Sevilla: Archivo FIDAS.
- Diario ABC de Sevilla 1936. Sevilla: Hemeroteca Municipal de Sevilla.
- Díaz del Río, Luis. 1990. *Desarrollo Histórico Constructivo. Proyecto de Rehabilitación Integral y consolidación de las Torres Norte y Sur. Plaza de España*. Sevilla: Archivo FIDAS.
- Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda con la colaboración del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC. 2006. Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos. *Código Técnico de la Edificación*. Madrid: Ministerio de Vivienda, Gobierno de España.
- Gentil Govantes, Pilar 1984. *Tesis Doctoral: El riesgo sísmico de Sevilla*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla.
- González Álvarez-Ossorio, Aníbal. 1919. «Basamento de las edificaciones de la Plaza de España». *Cuaderno de hule de trabajo de la Exposición Iberoamericana de Sevilla*. C.E.I.A. Sevilla. Fondo documental familiar del arquitecto Aníbal González, 6: 103–111.
- González Álvarez-Ossorio, Aníbal. 1920. «Pisos de hormigón armado de las galerías de la Plaza de España». *Cuaderno de hule de trabajo de la Exposición Iberoamericana de Sevilla*. C.E.I.A. Sevilla. Fondo documental familiar del arquitecto Aníbal González 7: 12–18.
- González Álvarez-Ossorio, Aníbal. 1924a. «Apéndice a la Memoria». *Proyecto de torres del norte y del sur de la Plaza de España de Sevilla*. Sevilla. Archivo FIDAS.
- González Álvarez-Ossorio, Aníbal. 1924b. «Pliego de Condiciones del concurso de obras de las Torres del Norte y del Sur de la Plaza de España». *Cuaderno de hule de trabajo de la Exposición Iberoamericana de Sevilla*. C.E.I.A. Sevilla. Fondo documental familiar del arquitecto Aníbal González 8: 10–48.
- González Álvarez-Ossorio, Aníbal. 1925. *Certificaciones de obra de la Plaza de España*. Sevilla: Archivo FIDAS.

- Instituto Tecnológico Geominero de España. 1991. *Estudio geotécnico sobre la Torre norte de la Plaza de España (Sevilla)*. Madrid.
- Jaramillo Morilla, Antonio. 1983. *Método probabilístico de estimación de las acciones sísmicas*. Tesis doctoral. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla.
- D.G. de Carreteras, Ministerio de Fomento. 2005. *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*. Instrucciones de construcción. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento.
- Rodríguez Ortiz et al. 1983. La cimentación. *Curso de Rehabilitación*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, vol. 4.

