

# La cimentación por arquerías invertidas en el edificio histórico de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla

*The inverted arches foundation of "la Fábrica de Tabacos", an University of Seville historic building*

C. González-García de Velasco<sup>(\*)</sup>, M. González-Vílchez<sup>(\*)</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo ratifica las conclusiones de un anterior trabajo nuestro publicado por la revista *Informes de la Construcción* (Vol. 63, nº 521, 2011), referente a la cimentación de la Real Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla. Por otra parte, este nuevo trabajo describe las investigaciones llevadas a cabo *in situ* posteriormente, durante la realización de galerías subterráneas bajo el edificio, y aporta nuevos datos sobre la cimentación de la Fábrica.

Las principales conclusiones del presente trabajo son la constatación de la inexistencia de restos arqueológicos anteriores a la construcción del edificio; y el descubrimiento de que la cimentación por zapatas de ladrillo aisladas se complementa con una cimentación reticular profunda, de arcos invertidos que ayudan a las zapatas prismáticas a ampliar sus áreas de contacto con el terreno, al tiempo que acodalan y conectan entre sí las citadas zapatas de ladrillo, evitando asentamientos diferenciales y reforzando la cimentación frente a movimientos sísmicos.

480-8

**Palabras clave:** Fábrica de Tabacos; cimentación histórica; arcos invertidos de ladrillo.

## SUMMARY

*This paper aims to ratify the conclusions of a work first published by the journal Informes de la Construcción (Vol. 63, issue 521, 2011), that described the existence of foundations made of brick, and ruled out the existence of archaeological remains under the foundations of the "Fábrica de Tabacos" of the University of Seville. This new work also describes the researches carried out "in situ" during the excavations of those galleries, which have increased the studied foundations knowledge.*

*The main conclusions of this study are two: the inexistence of underground archaeological remains; and the knowledge of the real foundation, formerly designed as isolated prismatic brick piles, but complemented by lattices of inverted arches that help prismatic foundations to expand their contact areas on the ground. This foundation system is also braced and connected by the brick arches, to avoid differential settlements, and to strengthen the building against earthquakes.*

**Keywords:** "Fábrica de Tabacos"; historical foundation; brick inverted arches.

<sup>(\*)</sup> Universidad de Sevilla (España).

Persona de contacto/Corresponding author: vilchez@us.es (M. González-Vílchez)

1. Plano de la Real Fábrica de Tabacos. Con línea de trazos se indica el trazado de las galerías ejecutadas.  
(Dibujo de los autores)

2. Sección del edificio de la Fábrica de Tabacos, en el que se indica la situación de la galería subterránea.  
(Dibujo de los autores)

## 1. ANTECEDENTES DEL PRESENTE TRABAJO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

El presente trabajo se constituye en la segunda parte del ya publicado el pasado año 2011 en esta Revista, titulado “La cimentación del edificio histórico de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla” (1). Dicho primer artículo se basaba fundamentalmente en las investigaciones históricas de los autores sobre el edificio de la Fábrica de Tabacos de Sevilla, así como en las prospecciones llevadas a cabo hasta entonces en los cimientos de dicho edificio. El nuevo trabajo de investigación se apoya en las excavaciones definitivas que se han realizado para construir las galerías de instalaciones bajo el edificio, y que han permitido conocer en profundidad la cimentación del edificio histórico de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla.

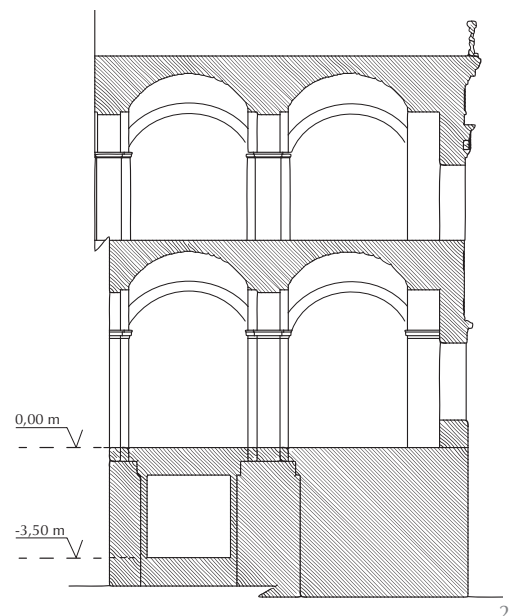
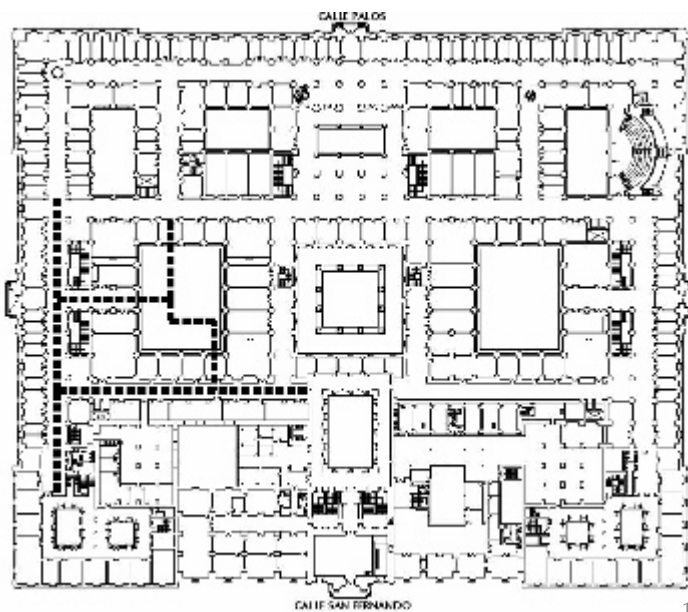
El resumen del trabajo anterior es el siguiente:

- a) La excavación del solar se había llevado a cabo en el siglo XVIII con un vaciado total de la parcela de una profundidad superior a 3,00 metros, lo que había permitido la ejecución al aire de la totalidad de los cimientos, habiéndose labrado las zapatas de abajo a arriba como grandes pilares de fábrica de ladrillo, y rellenado después la totalidad de la parcela con tierra hasta la rasante acordada, a salvo de riadas.
- b) La cimentación de los pilares interiores del edificio estaba ejecutada con zapatas cuadradas aparejadas en fábrica de ladrillo macizo, cuya dimensión en planta iba en aumento de arriba a abajo. Así, hasta 1,55 m de profundidad, la dimensión en planta del cimiento era de 2,00 x 2,00 m,

aumentando hasta los 2,30 x 2,30 m entre esa rasante y los 3,05 m de profundidad. A partir de ahí y hasta una profundidad no evaluada, las pilas de fábrica de ladrillo se iban ensanchando, aparentando conformarse como una figura parecida a un tronco de pirámide, con una base final estimada en 2,70 x 2,70 m.

- c) Todo lo anteriormente descrito implicaría la total desaparición de restos arqueológicos, de haber existido, hasta una cota estimada en -4,00 m desde la actual rasante de planta baja del edificio. Ello permitiría por tanto a la Universidad de Sevilla ejecutar bajo la rasante del mismo las pretendidas galerías de instalaciones, con la seguridad de no encontrar restos arqueológicos anteriores a la construcción de la Fábrica de Tabacos.

Como explicaremos más adelante, el principal hallazgo del presente trabajo, sin duda propiciado por la excavación de las galerías, ha sido el encontrar bajo el edificio una cimentación reticular por arquerías invertidas, sistema éste extraordinariamente raro, si bien era conocido desde la antigüedad y es citado en algunos de los tratados escritos por prestigiosos arquitectos. Así, León Battista Alberti en su trabajo titulado *De Re Aedificatoria* (2), escrito en 1450, hace referencia a la existencia de cimentaciones ejecutadas mediante arcos y bóvedas invertidas en terrenos deficientes. También Andrea Palladio, en 1570, en su trabajo titulado *I Quattro Libri dell'Architettura* (3), menciona los cimientos de arcos invertidos, de los que dice “para minorar el gasto se hacen a veces, especialmente en sitios pantanosos y en que los edificios han de llevar columnas, los cimientos no continuados sino con arcos, y se construye sobre ellos”.



## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO

Durante el año 2011, la Universidad de Sevilla ha iniciado las obras de ejecución de una serie de galerías subterráneas (Figuras 1 y 2), con un proyecto aprobado en su día por la Consejería de Cultura y el Ayuntamiento de Sevilla (4), enmarcado en las directrices que había establecido el Plan Director previamente redactado y tramitado ante dichos organismos (5). Estas galerías han profundizado hasta  $-3,50$  metros y han permitido establecer cómo es la cimentación real que existe bajo el edificio, aún cuando se ha excavado sólo en una pequeña parte del mismo, dadas su modulación regular y su ejecución bajo la dirección de los mismos artífices (Figura 3).

Los objetivos de la investigación que constituye el presente trabajo han sido pues los siguientes:

- a) Comprobar durante la ejecución de las galerías subterráneas si los supuestos iniciales se cumplían para la generalidad de la cimentación, y muy especialmente el de constatar la inexistencia de restos arqueológicos anteriores a la ejecución del edificio, ya que la excavación y retirada de gran cantidad de terreno permitiría conocer por observación directa la posible existencia o no de dichos restos.
- b) Conocer mediante las excavaciones necesarias para ejecutar las galerías, qué materiales y sistemas constructivos se emplearon en la construcción de los cimientos del primitivo edificio de la Fábrica de Tabacos.
- c) Constar *in situ* la tipología y la profundidad efectiva de las fundaciones.

Todo ello se recoge en el presente trabajo de investigación que complementa al anteriormente publicado, constituyéndose en una información definitiva sobre el caso.

## 3. PARTE EXPERIMENTAL

La ejecución de las galerías ha arrojado la definitiva luz sobre la cimentación del edificio. Dado que al llegar a la cota de  $-3,50$  m, fijada en proyecto para la solera de las galerías, no se alcanzaba la cota de arranque de las zapatas, se decidió llevar a cabo en algunos sectores del subsuelo del edificio una excavación de mayor profundidad, llegándose con ello a descubrir el estrato inferior de la cimentación del edificio y comprobándose que los supuestos troncos de pirámides bajo las zapatas de ladrillo, constituían en verdad los arranques

de unas arquerías invertidas enterradas, las cuales conferían a la cimentación del edificio la apariencia de una estructura reticular, de gran superficie de apoyo y enorme fortaleza frente a posibles asientos diferenciales y movimientos sísmicos (Figura 4).



3



4



5

3. Ejecución de galería de instalaciones.

(Fotografía de los autores)

4. Fotografía de un módulo excavado, en el que se observan las arcadas invertidas de cimentación.

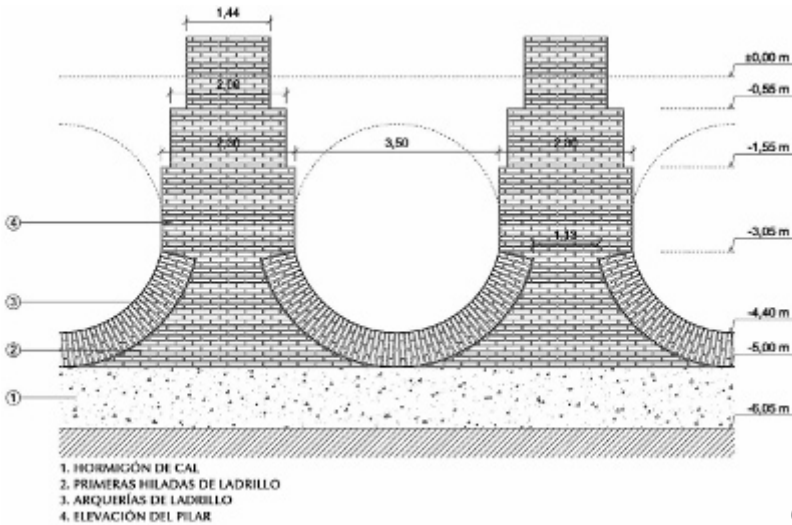
(Fotografía de los autores)

5. Máquina ejecutando el sondeo en una de las arquerías invertidas.

(Fotografía de Elabora S.L.)

Para conocer la anchura y profundidad de estas arquerías, así como su sistema constructivo, se llevaron a cabo excavaciones más profundas, hasta encontrar el fondo de las cimentación, que se descubrió a la cota  $-6,05$  metros, habiendo aparecido el nivel freático a la cota de  $-6,39$  m.



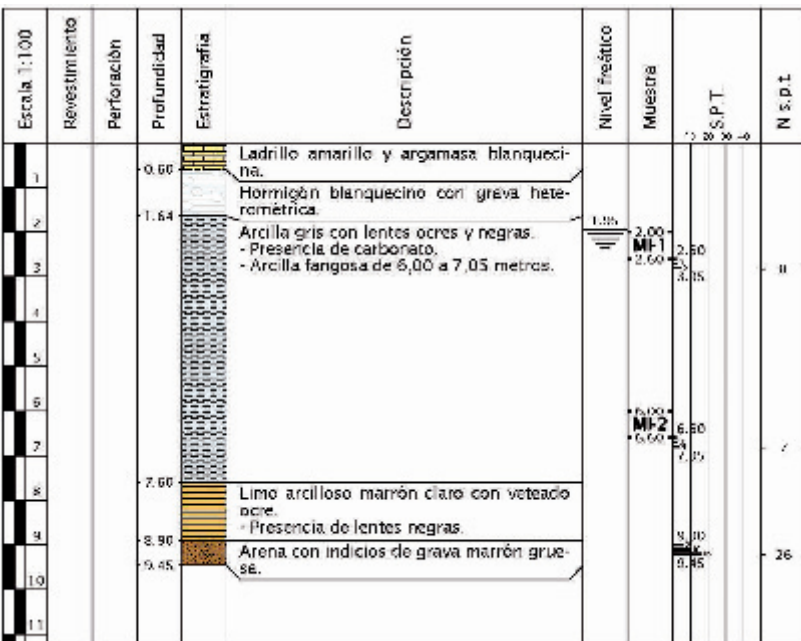


6. Alzado de un módulo de cimentación con arquerías invertidas. (Dibujo de los autores)

7a. Sección geotécnica del terreno. Las cotas del sondeo toman como nivel 0 el intradós de la arquería, que está a cota real de -4,40 m. (Gráfico de Elabora S.L.)

También se ordenó llevar a cabo un sondeo en la clave de uno de los arcos (6), para determinar su espesor y configuración, así como la naturaleza del terreno bajo las zapatas, su profundidad, y las características portantes del nivel de apoyo (Figura 5).

El sondeo se completó con determinaciones geotécnicas de toma de datos y análisis, para conocer la naturaleza y características resistentes del subsuelo. Estos trabajos geotécnicos no tenían por objeto investigar que hubiera o no otros restos más profundos (la excavación de los cimientos de la Fábrica no podía haber bajado del nivel freático), sino conocer las características geotécnicas del subsuelo sobre el que descansaba la cimentación del edificio. La constatación de la existencia o no de restos arqueológicos surgía por la oportunidad de excavar las galerías citadas ejecutando grandes vaciados.



6

7a

De estas pruebas se dedujo lo siguiente:

- a) Los arcos de ladrillo eran ligeramente rebajados, con un espesor de 60 cms. Tanto los pilares como la fábrica de ladrillo de las arquerías estaban apoyados en un cimiento corrido, ejecutado en hormigón ciclópeo de cal y canto, de sección rectangular de 2,30 m x 1,05 m. Los riñones de los arcos se habían hecho descansar en triángulos de fábrica de ladrillo aparejada, que conectaba los arcos con el citado cimiento corrido de hormigón (Figura 6).
- b) Según los ensayos llevados a cabo (Figura 7a), el terreno bajo la cimentación era de arcilla fangosa natural de color gris oscuro, en un manto de espesor de 7,60 m a partir de la cota -6,05 m, llegando por tanto a la cota -13,05 m. Este manto se describe en los ensayos como arcilla gris aluvial, de alta plasticidad y consistencia blanda, con resultado de 88,70 kPa de resistencia a compresión simple (Tabla 1), pudiendo calificarse como arcilla media según tabla D3 del CTE DB.SE.C. Por debajo de esta capa se encontraba otra de limos marrones y, bajo ellos, arena. Se adjunta asimismo cuadro de resultados del ensayo de corte del terreno e imagen de las secciones del corte a una probeta de terreno (Figura 8).
- c) No han aparecido en la perforación geotécnica restos de materiales pétreos, cerámicos ni de otras características. Tampoco han aparecido dichos restos en las excavaciones del conjunto de las

Tabla 1. Ensayos de laboratorio sobre muestras de terreno extraídas.

RECONOCIMIENTO		S-1	S-1
MUESTRA		MI-1	MI-2
PROFUNDIDAD		2,00-2,60	6,00-6,60
<b>ENSAYOS DE CAMPO</b>			
SPT	N <sub>SPT</sub> máximo	8	
	N <sub>SPT</sub> mínimo	7	
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			
Granulometría	% pasa tamiz 5	98,0	100,0
	% pasa tamiz 0,08	96,0	99,6
Plasticidad	Límite líquido	51,6	75,9
	Límite plástico	25,0	34,1
	Índice plasticidad	26,6	41,8
<b>ESTADO</b>			
Humedad natural, w (%)		23,84	37,04
P. específico aparente, γ (KN/m³)		20,40	18,05
<b>RESISTENCIA</b>			
Res. compresión simple, q <sub>u</sub> (kPa)		88,70	88,09
Corte Directo	Cohesión, c <sub>u</sub> (kPa)	91,20	
	Áng. rozamiento, f <sub>cu</sub>	15,76	
<b>EXPANSIVIDAD</b>			
Pres. hinchamiento edómetro (kPa)		34,32	
Hinchamiento libre edómetro (%)		0,70	
<b>CONTENIDO QUÍMICO</b>			
Acidez Baumann - Gully (ml/kg)		2	
Sulfatos (%)		0,00	
<b>CLASIFICACIÓN</b>		CH	CH

Tabla: Elabora S.L.

Número Acta: 17092  
 Código: 5836  
 Obra: SONDEO DE RECONOCIMIENTO EN CIMENTACIÓN  
 ANTIGUA FÁBRICA DE TABACOS  
 Localidad: SEVILLA  
 Procedencia: S-1 MI-1 (2,00 - 2,60)m  
 Descripción: ENSAYO DE CORTE DIRECTO (UNE 103-401-98)

DATOS DE LA CÉLULA	Diámetro (mm)	50	Sección (cm <sup>2</sup> )	19,64
	Altura (mm)	20	Velocidad (mm/min)	0,5
PROBETA	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
P-1	21,59	24,50	2,01	1,66
P-2	20,16	22,82	2,03	1,69
P-3	20,10	22,45	2,01	1,68



8

galerías, comprobándose que la tierra de relleno aportada, tras ejecutar la cimentación, hasta alcanzar la cota sobre riadas (un manto de unos 4 m de espesor) era terreno arcilloso, libre de restos de otros materiales, y que toda la parcela fue excavada a una profundidad que eliminó, si los hubo, cualesquiera restos arqueológicos preexistentes.

d) El nivel freático se encontraba a -6,39 m.

e) Hemos efectuado unas comprobaciones de los pesos propios y sobrecargas que se transmiten a través de cada pilar hasta la cimentación descrita, incluido el peso propio de la citada cimentación y el de las tierras que gravitan sobre ella. Estos cálculos dan como resultado una carga total por pilar de 2.560 kN. La superficie de cimentación correspondiente a cada pilar, incluida la proporcionada por las arquerías y su subbase, es de 20,70 m<sup>2</sup>, de lo que resulta una presión sobre el subsuelo de 123 kPa, similar a la presión admisible del terreno a corto plazo, con un coeficiente de seguridad de 3. Es de considerar que la construcción de la Fábrica de Tabacos de Sevilla duró 40 años, tardándose en la cimentación 9 años (desde 1728 a 1737) y 33 más (desde 1737 a 1770) en terminar el edificio, habiendo transcurrido posteriormente otros 242 años más de uso del inmueble. Estas circunstancias han producido consolidaciones del subsuelo que sin duda lo han mejorado en su capacidad portante, como lo acredita la ausencia de asientos diferenciales en el edificio a lo largo de toda su historia.

#### 4. HECHOS DEMOSTRADOS POR EL PRESENTE TRABAJO

De lo expuesto en el presente trabajo se deducen los siguientes hechos:

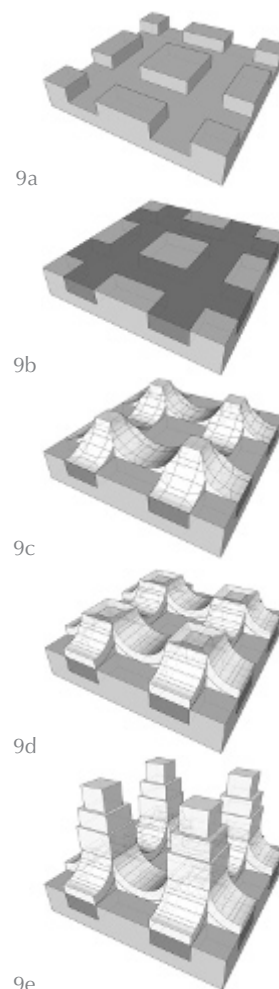
a) La implantación del edificio se llevó a cabo excavando en primera instancia la

totalidad del solar hasta la cota de -3,05 m de la rasante actual. Desde esa profundidad de excavación, y ante la falta de resistencia del terreno, se excavaron de nuevo 1,95 metros más de profundidad en la totalidad de la planta, llegándose a la cota de -5,00 m bajo rasante. En este plano se excavó todavía una retícula de zanjas de 2,50 metros de anchura y 1,05 m de profundidad (Figura 9a), alcanzándose la profundidad final de -6,05 metros en el fondo de las zanjas. Se rellenaron estas zanjas con un hormigón de cal y canto (Figura 9b), quedando preparadas para la ejecución de los trabajos en fábrica de ladrillo.

b) Sobre los cimientos de hormigón, en los nudos de la cuadrícula, se labraron las pilas cuadradas de ladrillo, de 2,30 m de lado (Figura 9c), así como las fábricas de apoyo o encofrado de los futuros arcos (Figura 9d) ejecutadas como hiladas menguantes de fábrica de ladrillo, iniciándose posteriormente la ejecución de los citados arcos invertidos, de sección total de rosca, 2,30 x 0,60 metros, que ampliaban enormemente la superficie de apoyo del edificio, quedando acodados y empotrados en las citadas pilas (Figura 9e).

c) Toda esta cimentación se enterró una vez ejecutada (7), elevándose el nivel del relleno hasta colocar el pavimento de la planta baja del edificio a la cota actual de acceso al mismo desde la calle San Fernando, cota por encima de las riadas.

d) En los trabajos ejecutados para construir las galerías subterráneas, así como en las prospecciones diversas llevadas a cabo, no ha aparecido el menor vestigio de restos pétreos, cerámicos, óseos ni de ninguna otra especie, lo que confirma nuestra teoría de que las excavaciones previas a la ejecución de la cimentación del edificio hicieron desaparecer, si



8. Resultados de ensayo de corte del terreno. Discos de arcilla extraída en el sondeo. (Tabla y Fotografía de Elaboración S.L.)

9a. Fase 1 de la cimentación del edificio.  
 9b. Fase 2 de la cimentación del edificio.  
 9c. Fase 3 de la cimentación del edificio.  
 9d. Fase 4 de la cimentación del edificio.  
 9e. Fase 5 de la cimentación del edificio.  
 (Dibujos de los autores)

algún día los hubo, los restos arqueológicos de civilizaciones anteriores.

## 5. CONCLUSIONES FINALES Y APORTACIONES DEL PRESENTE TRABAJO

Como apartado final establecemos las siguientes conclusiones y aportaciones que se desprenden del trabajo expuesto.

- a) Con este trabajo se aclaran definitivamente las características del sistema de cimentación de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla, desconocido hasta la fecha, y se aporta al conocimiento el descubrimiento del empleo por los artífices del edificio de una cimentación por arquerías invertidas, método muy poco frecuente entre las tipologías de cimentaciones de edificios a lo largo de la historia, documentándose en el trabajo las características del sistema constructivo empleado.
- b) Se aclara definitivamente asimismo la imposibilidad de existencia de restos arqueológicos bajo el edificio, dado que se llevó a cabo la excavación total de la parcela para ejecutar la cimentación descrita, llegándose con la excavación hasta alcanzar el nivel freático.

- c) Se aporta asimismo al conocimiento el comportamiento de la extraordinaria fortaleza de esta cimentación frente a posibles asientos diferenciales, como lo demuestra el hecho de que no se haya producido la menor fisura en el edificio a lo largo de más de 250 años, a pesar de la relativamente baja capacidad portante del subsuelo arcilloso. También la resistencia de esta cimentación reticular frente a esfuerzos sísmicos se demostró en el año 1755 con el terremoto de Lisboa, que arrasó gran parte de Andalucía Occidental y que no produjo daños conocidos en el edificio, todavía en construcción en aquella época. Otros terremotos posteriores tampoco han causado daño alguno al inmueble.

## AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestro agradecimiento a los Arquitectos D.José Angel García Gutiérrez y D.José Silvestre León, y al Arquitecto Técnico D.Alfonso Gámez Lovillo, por su colaboración en la toma de datos necesarios para elaborar el material gráfico que se aporta en el presente trabajo, durante la ejecución de las obras de las galerías subterráneas en el edificio de la Real Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla.

## REFERENCIAS

- (1) González García de Velasco, C., González Vílchez, M. (2011). La cimentación del edificio histórico de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla. *Informes de la Construcción*, 63 (521): 5-11. doi: 10.3989/ic.10.029.
- (2) Alberti, L. B. (1450). *De Re Aedificatoria*, Roma.
- (3) Palladio, A. (1570). *I Quattro Libri dell'Architettura*, Roma.
- (4) García Gutiérrez, J. A. (2011). *Proyecto básico y de ejecución de galerías subterráneas para instalaciones en el edificio de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla*, Archivo de la Universidad de Sevilla.
- (5) González Vílchez, M. (2009). *Plan Director de Remodelación de la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla*. p. 15. Archivo de la Universidad de Sevilla.
- (6) Elabora S.L. Agencia para la Calidad de la Edificación. (2012). *Informe geotécnico 5836.11. Reconocimiento de cimentación antigua en la Fábrica de Tabacos de la Universidad de Sevilla*, Archivo de la Universidad de Sevilla.
- (7) Morales, J. (1991). *La Real Fábrica de Tabacos. Arquitectura, territorio y ciudad en la Sevilla del siglo XVIII*. p. 230, Sevilla.

\* \* \*