

# SE PUEDEN COMPLETAR LAS TORRES DE LA CATEDRAL DE LA PLATA

*Un análisis geotécnico.*

ING. SILVANO J. TREVISÁN \*

**R**ecuerdo que transitaba como alumno los pasillos de la Facultad de Ingeniería de La Plata cuando oí decir por primera vez “la Catedral no se puede terminar porque el suelo no resiste”. Ya graduado y dedicado a la Ingeniería Geotécnica afanosamente busqué los estudios y antecedentes que avalaran aquella aserción, pero nunca los hallé. Quedó flotando, entonces, la duda: ¿era ello verdad, o simplemente, una leyenda popular?.

Recientemente la incógnita ha sido elucidada, gracias a la preocupación y esfuerzo de la Fundación Catedral de la Plata que, al comienzo del año 1993, impulsó una seria investigación de suelos que permitió acercarnos a la verdad. Anticipemos el final: desde el punto de vista geotécnico las torres pueden concluirse. Aquello, era sólo leyenda...

Lo que sigue es apenas una síntesis de la citada investigación, que realizamos conjuntamente con el Ing. Eduardo Nuñez, Profesor Titular de Mecánica de Suelos y Fundaciones de la UBA.

## 1.- HISTORIA BREVE

La Catedral de La Plata, de estilo neogótico, responde a un anteproyecto del mismo diseñador de la ciudad, Ing. Pedro Benoit, y de su eficiente colaborador, el Arq. E. Meyer. (Fig. 1).

Las excavaciones para albergar los cimientos se iniciaron el 18 de noviembre de 1885, tres años después de fundada la nueva capital. El basamento se ejecutó íntegramente en mampostería masiva de ladrillos, en su mayor parte fabricados en una zona aledaña, hoy llamada por esa razón Los Hornos. En el período 1914-18 también se utilizaron ladrillos genoveses que los barcos traían en sus bodegas, como lastre.

Por falta de recursos las taças fueron discontinuadas en diversas ocasiones. Al inicio del S. XX el monumental edificio llegaba a la altura de los dinteles. En 1912 los trabajos adquirieron gran impulso. Expertos albañiles y picapedreros – la mayoría procedente del Friuli y la Venecia Giulia – comenzaron a labrar la piedra marplatense con la que cubrieron las columnas internas cuya médula es de ladrillos. Al concluir la década

del '20 se emplazaron las cabriadas de hierro que sostienen el techo y la estructura, también metálica, que soporta la aguja de la linterna central, procedimiento ya utilizado por Viollet-le-Duc en Notre-Dame de París. Luego se colocaron los 3.500 m<sup>2</sup> de planchas de cobre que cubren la nave central y el crucero. Por fin, el 19 de noviembre de 1932 –en el cincuentenario de la ciudad–, el templo se inauguró precariamente, sin concluir aún la linterna cuya cruz de bronce fundido recién se instaló en 1941.

Fue también en 1941 que, bajo la dirección del experto triestino Bruno Blason – curiosamente, paisano de mi padre –, se inició la colocación de más de 2.000 placas de granito rosado de Olavarría que conforman el piso actual, con sus guardas negras de Calamuchita y grises de San Luis, todo pulido a espejo.

Así “la Catedral neogótica más grande y bella de América” adquirió su aspecto y dimensiones actuales: largo exterior 120 m; ancho exterior 76 m; cruz 97 m; altura exterior linterna 76 m; altura actual de torres laterales inconclusas 43 m (altura proyectada: 111/120 m); superficie cubierta total 5.300 m<sup>2</sup> (Fig. 2).

## 2. ALCANCE DE LA INVESTIGACION

Las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo sobre el que apoya la Catedral se investigaron mediante:

a) **Trabajos de campo:** perforaciones hasta 20m de profundidad; calicatas adyacentes a cada torre; perforaciones desde el

interior de las torres; extracción de muestras representativas e inalteradas; valoración de la compacidad relativa in situ mediante el Standard Penetration Test; relevamiento planialtimétrico; observación del comportamiento estructural; etc.

b) **Ensayos de laboratorio:** humedad natural; límites de consistencia; índice de plasticidad; fracción limo + arcilla; materia orgánica, carbonatos y concreciones calcáreas; relaciones gravimétricas en estado natural y seco; compresión triaxial no-drenada; determinación de la Cohesión, el Angulo de Fricción Interna, y el Módulo Tangente Inicial; etc.

Estas tareas se completaron en gabinete con la evaluación e interpretación de los datos obtenidos; el cálculo de la presión de contacto actual estructura-suelo; la estimación de la carga máxima de rotura; la determinación de los coeficientes de seguridad disponibles, actuales y futuros, para los distintos tipos de solicitaciones o cargas; el análisis de la factibilidad de completamiento de las torres; las medidas correctivas que fuesen necesarias; las soluciones alternativas, etc.

## 3.- VALORES E HIPOTESIS DE CALCULO

El peso actual de cada torre se estima en 7.000 Tns. Su terminación elevaría este valor a 9.000

Figura 1



Tns. La acción del viento, actuando normalmente sobre una de las caras de la torre completa, se considera del orden de las 100 Tns.; fuerza esta que se supone aplicada a 75 m sobre el plano de cimentación, lo que genera un momento volcador de 7.500 T. Excentricidad de la resultante: menor de 1m. Cota de fundación promedio: -5.50. Área de contacto cimiento-suelo: 164 m<sup>2</sup>, para cada torre. (Fig.3).

#### 4.- CARACTERIZACION DE LOS SUELOS

Los sedimentos que conforman el terreno que subyace los cimientos de la Catedral corresponden a la llamada "formación pampeano" y son típicos de la zona alta de la ciudad de La Plata. Se trata de depósitos lóessicos, de matrix arcillo-limosa, compactos a muy duros, preconsolidados por desecación e inhomogéneamente cementados con carbonato y óxido de calcio. Capacidad de carga: buena a muy buena y excelente.

a) **Estrato superior**, entre cotas -2.00 y -9.00, aproximadamente: sedimentos de textura limosa y limo arcilloso, actualmente no saturados, preconsolidados, con modesta cementación pero significativa presencia de nódulos calcáreos, relación de vacíos "e" del orden de 1 y consistencia variable entre "compacto" y "muy compacto".

Dentro de esta capa se sitúan los cimientos de ambas torres.

b) **Estrato inferior**, a partir de cota -9.00, aproximadamente: potente

formación **toscosa**, de textura básicamente limosa, cuyas propiedades tenso-deformables son substancialmente mejores que las de los suelos suprayacentes: mayor resistencia a rotura y menor deformabilidad.

#### 5.- CAPACIDAD DE CARGA

Utilizando los datos e hipótesis de cálculo referidos en 3) y los coeficientes de resistencia a rotura determinados se puede estimar la aptitud portante del subsuelo localizado bajo las torres, considerando dos condiciones de carga: 1) actual; y, 2) futura. En este último caso tomando en cuenta las solicitaciones permanentes (peso propio) y las accidentales o de corta duración (viento).

Para las cargas actuales los factores de seguridad contra la rotura, si bien resultan aceptables, son valores límites que no deberán ser superados. Para las cargas futuras de carácter permanente dichos factores están por debajo de los mínimos internacionales recomendados para monumentos de gran valor cultural. Cuando se toma en cuenta, además, la acción del viento, los coeficientes de seguridad obtenidos resultan inaceptables.

#### 6.- ANALISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en esta investigación se derivan las siguientes conclusiones primarias:

1. Bajo la acción de las

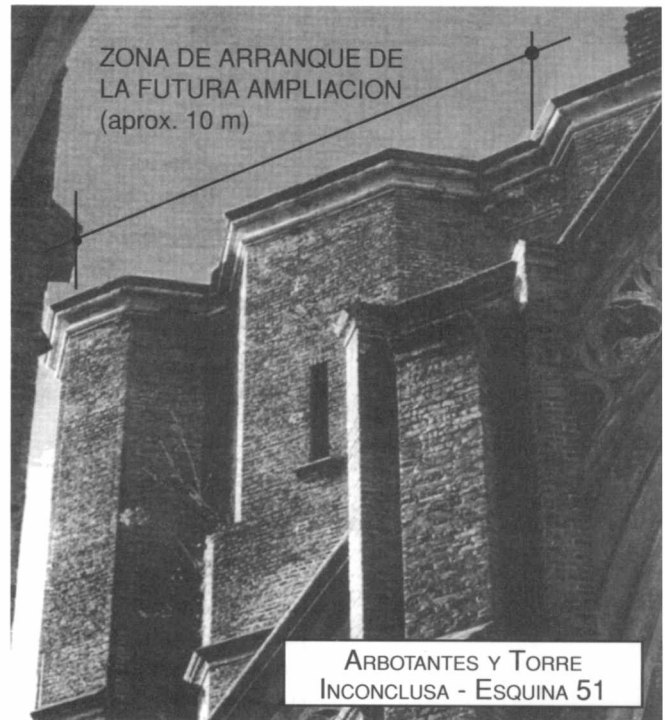


Figura 3  
Extremo superior de la torre inconclusa.

nuevas cargas impuestas por el completamiento de las torres, la fundación existente no satisface los requerimientos mínimos de seguridad a rotura, compatibles con una obra de esta naturaleza.

2. Por lo tanto, la ejecución de la parte faltante de las torres demandará un mejoramiento de las condiciones actuales de cimentación de modo de colocar la futura interacción estructura-suelo dentro

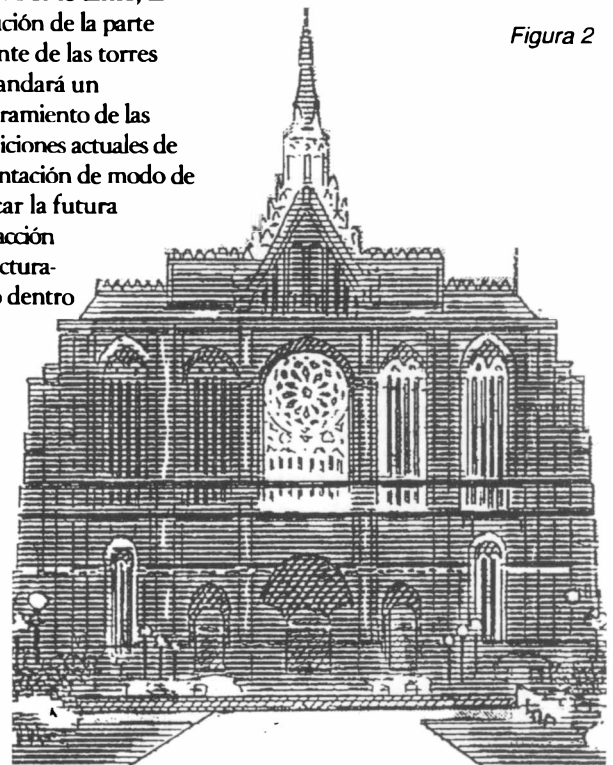
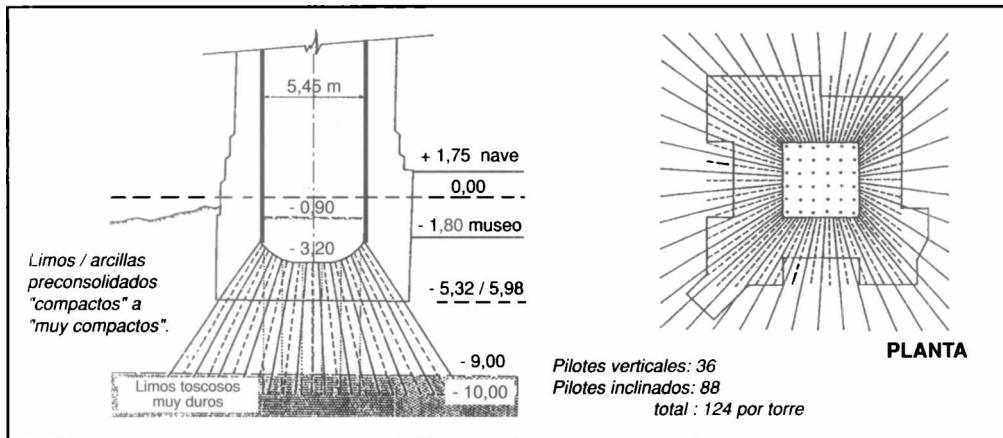


Figura 2



## Terapia 2 micropilotes.

de márgenes aceptables de seguridad.

3. El aumento del coeficiente de seguridad a rotura podrá obtenerse a partir de dos metodologías terapéuticas: a) ampliando el área actual de las bases de las torres mediante obras de submuración; y b) transfiriendo una parte de las cargas a los estratos más resistentes situados por debajo de la cota -9.00.

4. Para el mejoramiento de cimentaciones inadecuadas, las técnicas modernas proveen un sinnúmero de soluciones y procedimientos

constructivos altamente confiables, suficientemente desarrollados y con una buena experimentación a nivel nacional e internacional. Su implementación puede efectuarse con equipos y empresas disponibles en el país lo que permitiría lograr niveles relativamente razonables de costos.

Se describen brevemente, a continuación, dos métodos posibles.

## 7.- TERAPIA I: SUBMURACION

Consiste en ampliar la superficie de apoyo de las torres mediante la construcción de una zapata corrida de hormigón armado bajo el perímetro de la cimentación existente al día de hoy. Los trabajos se realizarán desde las 4 caras externas de la torre, a partir de excavaciones contiguas a la misma.

## 8. TERAPIA II: MICROPILOTES

Esta solución ha sido aplicada con éxito en varios monumentos históricos del viejo continente: Ponte Vecchio, Florencia; Campanile de la Iglesia de Burano, Venecia; etc. Consiste en la hincada de pilotes de pequeño diámetro que atraviesan la

mampostería de ladrillos y penetran en el techo del manto de tosca que alumbrada a cota -9.00.

Comprende la ejecución de tres familias de pilotes: a) pilotes verticales desde el fondo del vano de la torre (36 micropilotes); b) pilotes de 10m. con inclinación  $\beta = 33^\circ$  (total: 46); c) pilotes de 8,5m con inclinación  $\beta = 20^\circ$  (total: 42).

Desde el momento que la totalidad de los micropilotes (124) se ejecutará desde el interior de las torres, no será necesario efectuar excavación alguna, ni se requerirá la rotura de las estructuras existentes, de modo que no se alterará el aspecto actual, como lo exigen los códigos internacionales de preservación de monumentos históricos.

## CONCLUSIONES

1) La cimentación actual es insuficiente para recibir, dentro de límites razonables de seguridad, los nuevos esfuerzos que generará la conclusión de las torres.

2) A muy corta distancia (aprox. 4m.) del plano presente de cimentación existe una formación toscosa de excelentes propiedades físico-mecánicas, apta para absorber los incrementos de carga.

3) Se conocen diversos métodos capaces de transferir los nuevos esfuerzos al manto de tosca subyacente.

4) En definitiva: Desde una óptica estrictamente geotécnica la conclusión de las torres es factible, bajo ciertas condiciones.

\* Ex Profesor Titular de Mecánica de Suelos y Fundaciones de la UNLP, Miembro Correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias y Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Pcia. de Bs. As.

## BIBLIOGRAFIA

- BRINCH HANSEN, B. (1960): "A General Formula for Bearing Capacity". Technical University of Denmark.
- FREDE, C. (1980): "La Historia de una Catedral". Ed. Manrique Zago.
- NUÑEZ, E. y TREVISAN, S.J. (1993): "Catedral de La Plata: Estudio Geotécnico". Ed. Fundación Catedral de La Plata.
- NUÑEZ, E. y MICUCCI, C.A. (1986): "Cemented Preconsolidated Soils as a very Weak Rocks". 5º Congreso Internacional de Ingeniería Geológica, Buenos Aires.
- BOLOGNESI, A.J.L. (1975): "Compresibilidad de los Suelos de la Formación Pampeano". 5º Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Buenos Aires. Volumen V.
- TREVISAN, S.J. y MAURIÑO, V. (1963): "Condiciones Geológicas y Geomecánicas del Subsuelo de la Ciudad de La Plata y sus alrededores". IIº Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Sao Paulo, Brasil.
- TREVISAN, S.J. (1990): "Avances recientes en el Mejoramiento de Suelos y en el Tratamiento Geotécnico de Residuos". XIº Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Mendoza.
- TERZAGHI, K. y PECK, R.B. (1948): "Soil Mechanics in Engineering Practice". Ed. J. Wiley & Sons, USA.