

# Restauración del remate de la torre oriente de la Catedral Metropolitana

1ª parte



La rehabilitación de la Catedral Metropolitana es uno de los proyectos importantes del Instituto de Ingeniería, institución que recientemente proporcionó apoyo técnico para reforzar la estructura que sostiene la esfera de piedra situada en la torre oriente de la Catedral, a una altura de 62 m, sostenida por un tensor anclado a un diafragma cuya estabilidad peligraba.

Al estudiar las propiedades mecánicas de los materiales y el estado de conservación de los mismos, se tomó conciencia del extraordinario trabajo que hizo José Damián Ortiz de Castro, autor de la culminación de las torres.

El talento e ingenio de Ortiz de Castro le permitió no sólo diseñar y llevar a cabo la fina arquitectura sino también resolver múltiples detalles estructurales y constructivos para

terminar la obra en un área con serios problemas de hundimiento desde el inicio de su construcción y en una época en la que no existían equipos que facilitaran el trabajo.

## Antecedentes

La construcción de los cubos que llegarían a ser las torres de la Catedral se inició hacia 1642 pero, después de muchas vicisitudes, en 1787 se convocó a los arquitectos más sobresalientes de la Nueva España para continuar con su construcción. José Damián Ortiz de Castro presentó la mejor propuesta y siguiendo ésta concluyó la obra el 18 de abril de 1791, con un costo de \$190,000 pesos (Toussaint, 1992).



Las torres están ubicadas en el extremo sur del templo y constituyen una parte fundamental de la fachada. Son de mampostería de tezontle y mortero con chapa de cantera, tienen 62 m de altura (medidos desde el nivel del atrio hasta la parte alta de la cruz), 160 cm de diámetro, ocupan un área de 274 m<sup>2</sup> y su peso, incluyendo la cimentación, es aproximadamente de 9000 t. Su construcción destaca por la manera extraordinariamente atinada para su época con que se solucionaron cuestiones técnicas como la fijación de la cruz y la esfera que rematan el campanario.

En el remate de cada torre existe una cruz franciscana de 3 m de altura y cerca de 500 kg de peso, que es una pieza monolítica esculpida en piedra Chiluca incrustada dentro de un hueco en el hemisferio superior de una gran esfera, cuyas dimensiones son 1.6 m de diámetro, 5 m de circunferencia y 4 t de peso.

Los documentos encontrados con los planos de Ortiz de Castro indicaron que dentro de cada esfera había sido colocada una caja de madera forrada de plomo, con reliquias, mone-

das de proclamación, oraciones y testimonios para la memoria en el futuro (Toussaint, 1992). La caja, que se encontraba dentro de la torre oriente, fue recuperada durante la reciente rehabilitación.

En los campanarios destaca el sistema de soporte de la gran campana (en el centro del cuerpo superior), que pesa 12149 kg. Ésta es sostenida por cuatro vigas de madera, donde destaca una solera que une doce columnas y funciona como un cinturón, el cual permite confinar y dar mayor estabilidad a las columnas.

Una ingeniosa solución de Damián Ortiz para apresurar los tiempos de construcción fue su diseño del sistema de carga original, a base de poleas, capaz de levantar un peso de 12 t desde el nivel de feligresía hasta el segundo cuerpo, empleando para ello la fuerza de tan sólo ocho hombres, así cada uno era capaz de levantar 1.5 t de peso. Diseñó también un carro integrado por seis bastidores, tres en cada dirección, que podía soportar doce toneladas, capaz de trasladar, de Tacuba a la Catedral, la campana de Guadalupe.

## Estudios históricos del comportamiento estructural de las torres

Al reanudar la construcción de las torres después de nueve años de interrupción, en 1651, se hizo necesario colocar una *hilada de ajuste* para corregir un desnivel que, en el caso de la torre oriente, ya alcanzaba los 19 cm, en una distancia de 7.38 m. Dicha *hilada de ajuste* refleja la magnitud de los hundimientos diferenciales que se presentaron en ese lapso en la fachada. El desnivel corresponde a una pendiente de 2.6% en nueve años, lo que quiere decir que la torre oriente se inclinaba, en sus inicios, hacia el poniente a una tasa de 0.28% por año. Una situación similar ocurrió en la torre poniente, cuya inclinación hacia el poniente era de 0.33%.

Llama la atención que en la torre poniente se hicieron correcciones de verticalidad en sentidos opuestos. Todo parece indicar que, al principio de su construcción, esta torre manifestó un acentuado giro hacia el norte que obligó a colocar una *hilada de ajuste* en la parte superior del cubo, tratando de hacer una corrección de 40 cm de desnivel.

En 1999, al iniciar el programa de rehabilitación de la Catedral empleando la técnica de la subexcavación, el desplomo logró reducirse a razón de 0.15% por año para la torre poniente y 0.35% para la oriente, durante los inicios del proceso. Después de los trabajos de modificación del subsuelo, el desplomo en todos los casos se volvió prácti-



camente estable, lo que revela los efectos favorables que la intervención en el subsuelo tuvo para la estabilidad de las torres.

En el análisis estructural de todo el conjunto religioso, mediante modelos matemáticos, con la técnica de *elementos finitos*, se obtuvieron predicciones muy claras de cada estructura (Sánchez *et al*, 1998). Los resultados logrados llevaron a la conclusión de que no existía amenaza grave para las torres por problemas de efectos sísmicos en sus condiciones actuales, pero que éstos podrían llegar a ser peligrosos si la inclinación de las torres creciera de manera significativa.

Las mediciones recientes indican que la tasa de crecimiento de los desplomes de las torres se ha reducido sustancialmente con las intervenciones realizadas en el subsuelo, y que no es de esperarse que éstos lleguen a valores peligrosos en el mediano plazo.

Cuando el II UNAM inició su intervención, encontró que de las esferas huecas esculpidas en piedra de Chiluca de las torres, la de la torre poniente presentaba múltiples daños, en especial en el hemisferio superior. También se encontraron agrietamientos y problemas de descamación y exfoliación de la piedra.

La base que soporta la esfera es una pieza monolítica, también de piedra Chiluca, que llega hasta el intradós de la bóveda que forma el cupulín de la torre. Es decir, se trata de una pieza que no sólo abarca la parte ubicada entre la esfera y el extradós del cupulín de la torre, sino que se extiende hasta el intradós del mismo.

En las bases de ambas esferas se encontraron daños, sobre todo en la oriente, consistentes principalmente en degradación de la piedra exfoliada por el medio ambiente. También se observaron fracturas en la zona estrecha de la base, que motivaron el comienzo de los trabajos de rehabilitación, en especial en el lado oriente.

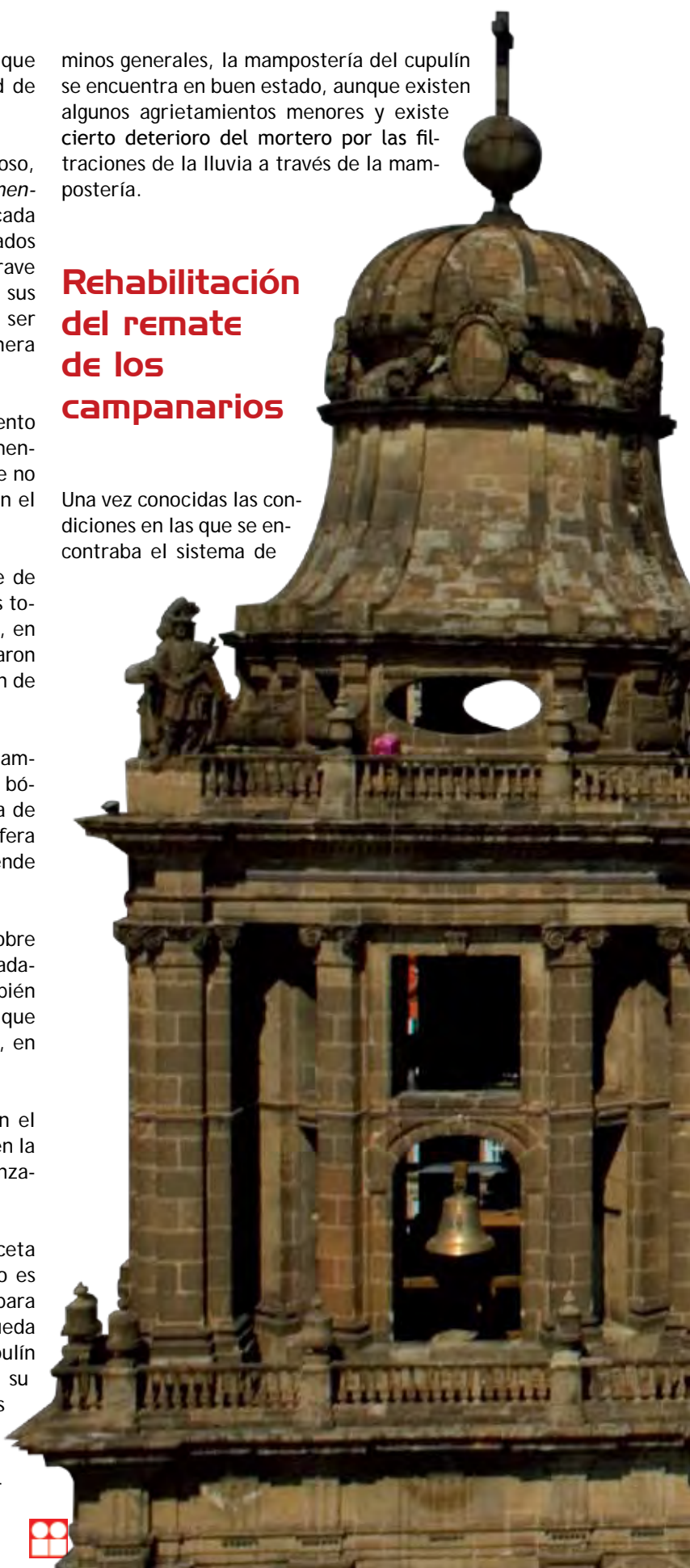
Es importante destacar que esta esfera no contaba con el sistema de refuerzo que Ortiz de Castro había colocado en la esfera de la torre poniente, lo que había causado un avanzado estado de deterioro.

En el hemisferio inferior de cada esfera existe una cruceta de cedro apoyada sobre un sillar de piedra. Su objetivo es formar una estructura interna en el hemisferio inferior para que se distribuya de manera uniforme la fuerza que pueda llegar a transmitirse de la esfera hacia el tensor. El cupulín es el remate de la torre que tiene forma de campana; su bóveda está resuelta mediante mampostería de piedras de tezontle aglutinadas con mortero de cal y arena. El intradós se encuentra recubierto por una capa de mortero y el extradós, por un chapeo de piedra. En tér-

minos generales, la mampostería del cupulín se encuentra en buen estado, aunque existen algunos agrietamientos menores y existe cierto deterioro del mortero por las filtraciones de la lluvia a través de la mampostería.

## Rehabilitación del remate de los campanarios

Una vez conocidas las condiciones en las que se encontraba el sistema de





a) Cruz de piedra chiluca en el remate de la torre oriente.  
 b) Esfera de piedra en el remate de la torre oriente.  
 c) Remate de la torre oriente.

sujeción de las esferas, en particular la de la torre oriente, se procedió a un refuerzo provisional de las vigas ubicadas en el arranque del cupulín, mediante una viga de acero, para afianzar el tensor que las sujeta. La intervención se dividió en tres grandes partes: rehabilitación de la esfera, tratamiento del diafragma y rehabilitación del cupulín de la torre. Para realizar las maniobras de manera segura, se determinó

el peso de cada una de las piezas que habría que mover.

Es de admirar el trabajo excepcional del arquitecto Damián Ortiz de Castro, probado por el excelente comportamiento estructural de la construcción a lo largo de más de dos siglos, así como por la alta calidad de ejecución de la obra. La construcción no sólo ha tenido que sostener su propio peso,

sino que resistir una amplia historia de sismos y la acción de los severos movimientos impuestos por los hundimientos diferenciales del suelo sobre el que se encuentran desplantadas ambas torres.

Una de las principales aportaciones del arquitecto José Damián Ortiz de Castro fue el uso de elementos metálicos hábilmente integrados como refuerzo de grandes construcciones de mampostería y protegidos de la humedad, un recurso poco aprovechado por sus contemporáneos y por las siguientes generaciones. Aún en la actualidad y con los desarrollos de metales resistentes a la corrosión, el uso de elementos metálicos en la rehabilitación de edificios históricos es poco empleado y frecuentemente objetado por los restauradores.

En este proyecto participaron el doctor Roberto Meli y el ingeniero Roberto Sánchez, ambos de la Coordinación de Estructuras y Materiales del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

**OTRAS INTERVENCIONES DEL II UNAM**

<p><b>Tratamiento de la cruz</b></p>	<p>Dada la integridad con la que se encontró la cruz, sólo fue necesario limpiar todas sus caras y protegerlas mediante un producto hidrófugo.</p>
<p><b>Cruceta de madera</b></p>	<p>Esta pieza tuvo que ser remplazada en su totalidad por otra. La pieza nueva fue reforzada y se le integraron algunos detalles para lograr un mejor desempeño.</p>
<p><b>Rehabilitación del diafragma</b></p>	<p>Esta intervención consistió esencialmente en remplazar las dos vigas principales y unas cuantas tablas por otras nuevas.</p>
<p><b>Rehabilitación del cupulín</b></p>	<p>Por el intradós la mampostería fue consolidada y se restituyeron sus recubrimientos mediante mortero a base de cal y arena. Por el extradós, la superficie deteriorada de las piezas de piedra que recubren el capulín fue remplazada por otras similares, respetando las originales.</p>
<p><b>Restauración de elementos escultóricos</b></p>	<p>En la actualidad se han aprovechado los sistemas de andamiaje que atienden otros daños en la parte exterior de los campanarios, específicamente en las guirnaldas y otros elementos decorativos que se encuentran deteriorados. Para las esculturas sobre las torres, que tienen valor artístico, se ha sugerido trasladarlas a un museo de sitio e instalar en su lugar replicas de las mismas a fin de evitar que las originales continúen deteriorándose.</p>