

Investigaciones de la Coordinación de Geotecnia

El grupo de investigadores de la Coordinación de Geotecnia ha combinado las investigaciones básica y aplicada con la actividad profesional, mediante asesorías a dependencias gubernamentales y empresas de capital privado. Esta amalgama de labores ha redundado en que los logros científicos y tecnológicos transiten con relativa fluidez del ámbito académico a la práctica profesional. No es fortuito que los investigadores de esta especialidad hayan tenido una participación relevante en el desarrollo de la infraestructura eléctrica del país, así como en los sistemas de Transporte Colectivo (Metro) y de la red profunda de colectores hidráulicos. La construcción de presas de gran altura para generar energía eléctrica fue posible gracias a las investigaciones pioneras sobre el comportamiento de materiales granulares, los desarrollos tecnológicos para monitorear la respuesta de estas obras con el tiempo y la elaboración de procedimientos numéricos novedosos.

En los últimos años, estos investigadores han intervenido directa o indirectamente en los proyectos de mayor relevancia en el país, relacionados con ingeniería de

presas, túneles, cimentaciones e ingeniería geosísmica. Asimismo, han obtenido logros significativos en el desarrollo y aplicación de técnicas como geoestadística, sistemas neurodifusos, algoritmos genéticos, cómputo aproximado y teoría de fractales, para la solución de problemas geotécnicos y sísmicos. De igual manera, a la luz de los avances logrados en el conocimiento de los fenómenos que controlan problemas como el flujo de agua en medios porosos, comportamiento de suelos, licuación de arenas, deslizamiento de taludes, consolidación de suelos arcillosos, etc, las teorías y procedimientos de análisis comúnmente utilizados para resolver problemas de esta índole han sido modificados.

Como muestra del tipo de trabajo que se lleva a cabo en la Coordinación de Geotecnia, se exponen a continuación tres de sus proyectos recientes.

Proyecto hidroeléctrico (PH) El Cajón

Este proyecto forma parte del sistema hidroeléctrico del río Santiago. Está localizado a unos 77 km aguas arriba de la presa Aguamilpa (en cuyo diseño también influyeron determinantemente los miembros de esta Coordinación) y aproximadamente a 47 km en línea recta de la ciudad de Tepic.

Su aprovechamiento permitirá la generación de energía eléctrica utilizando dos unidades, de 375 MW cada una, con lo que se alcanzará una producción media anual de 122 864 GW/h. El Congreso de la Unión autorizó 812 millones de dólares americanos para esta obra, que comprende la realización de las obras civiles, electromecánicas y la puesta en servicio. La cortina del proyecto hidrológico El Cajón, de enrocamiento con cara de concreto, tendrá 186.5 m de altura, y en conjunto abarcará 10.3 millones de m³ y una losa de concreto de cerca de 90 000 m³. El estado actual de la cortina se muestra en la fotografía de la pág 4.

Partiendo de la sección propuesta por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, fig 1), se realizaron investigaciones que incluyeron aspectos como la reinterpretación de los estudios de campo y laboratorio efectuados por la CFE, y el análisis numérico de la cortina considerando opciones diferentes de la propuesta por CFE, resultado del consenso de las opiniones del cuerpo técnico de la Coordinación de Proyectos Hidro-

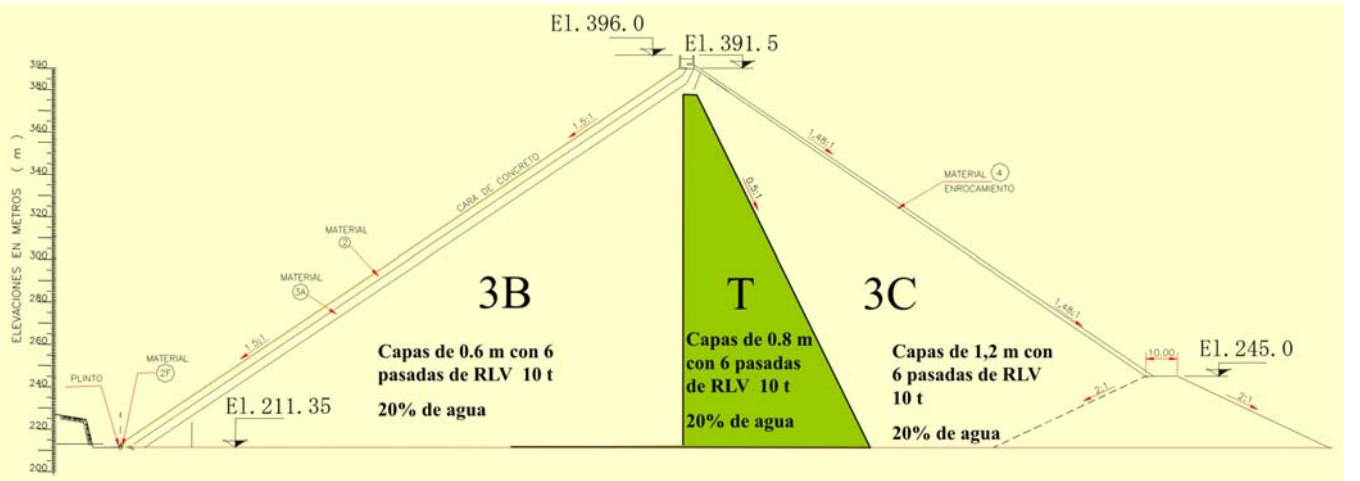


Fig 1. Opción propuesta por CFE

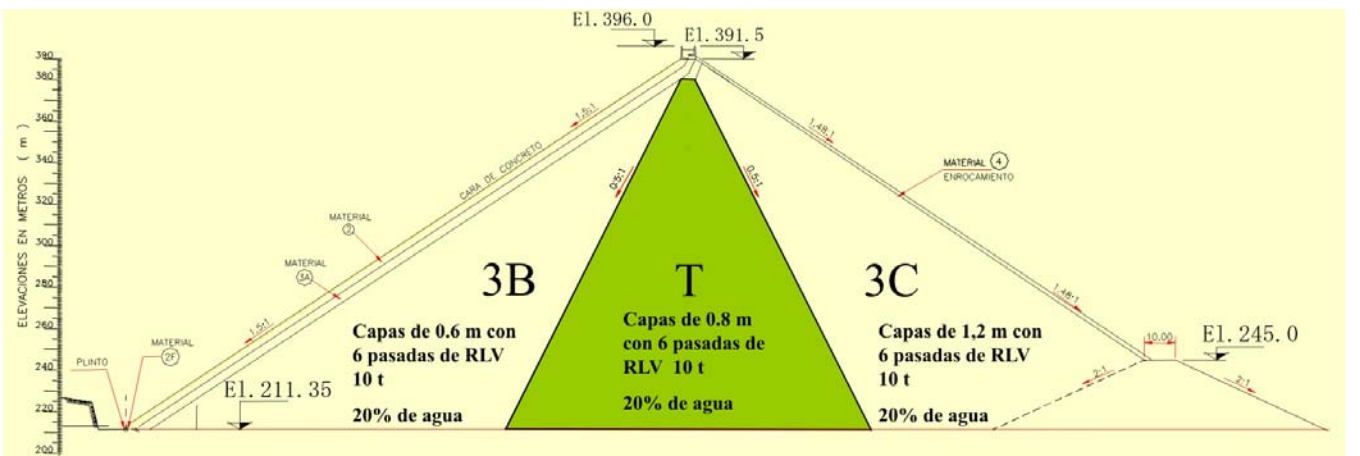


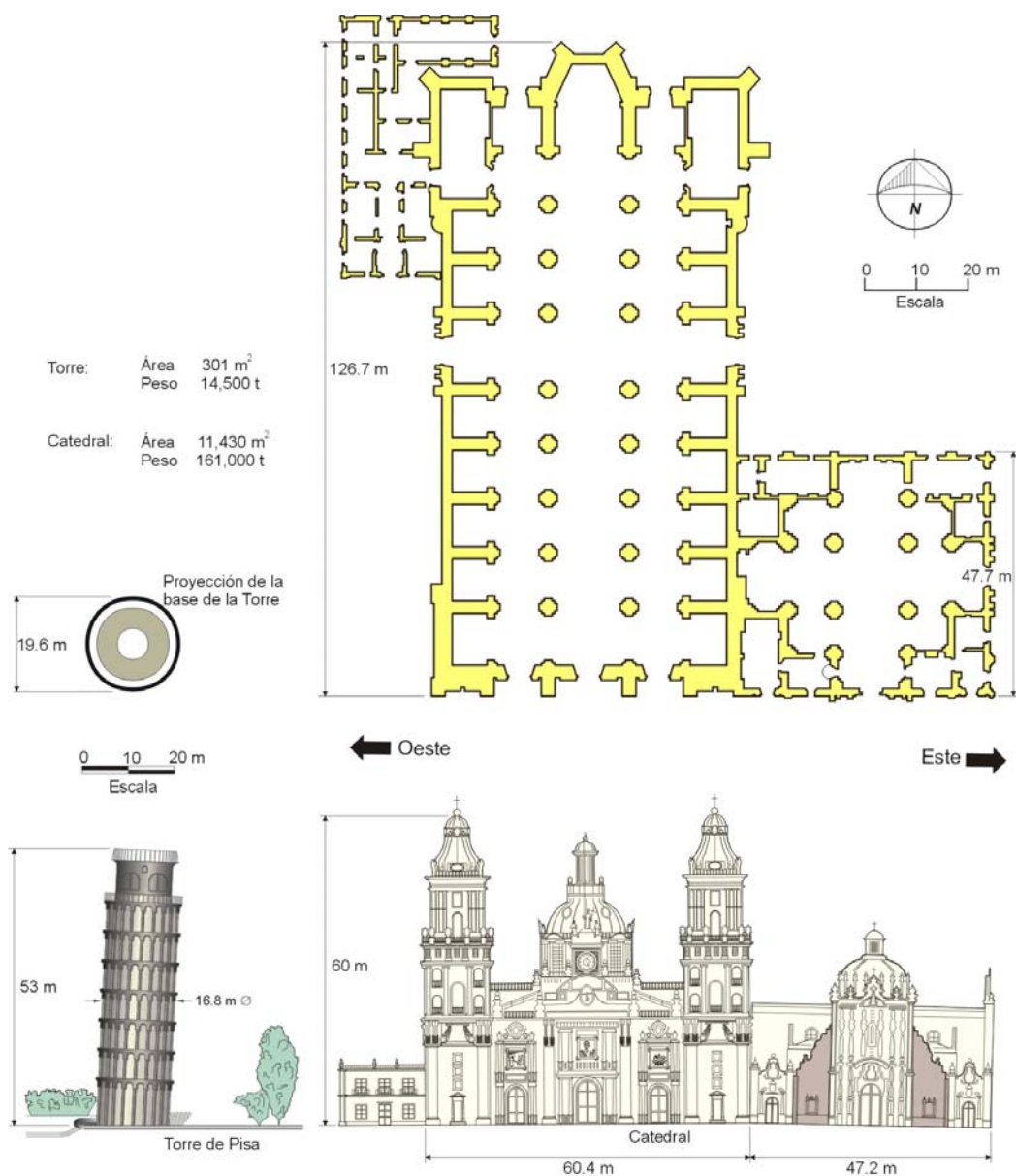
Fig 2. Opción propuesta. Resultado de la investigación

eléctricos y las de sus consultores internacionales. El producto final de la investigación (fig 2) generada en el IIUNAM fue considerado por los mismos asesores internacionales como un aporte valioso a la práctica mundial de los diseños de grandes presas.

Conforme a los análisis económicos realizados por la CFE, la opción propuesta (fig 2) representa un ahorro del orden de 30 millones de dólares americanos respecto al costo de la cortina propuesta por CFE.

Geotecnia aplicada a la conservación de monumentos

La geotecnia aplicada a la conservación de monumentos es un tema en el que se ha consolidado la presencia de investigadores de esta Coordinación en el ámbito internacional. Éstos han continuado participando en el Comité Técnico TC-19 de la Sociedad Internacional de Ingeniería Geotécnica, dentro del cual han contribuido a una



Plantas y elevaciones de dos importantes monumentos que fueron subexcavados para corregir desplomos y hundimientos diferenciales. La subexcavación de la Catedral Metropolitana entre 1993 y 1998 fue un importante precedente que permitió adaptar esa misma técnica para corregir parte de la inclinación de la famosa Torre de Pisa. Dibujos cortesía de Enrique Santoyo, TGC Geotecnia.



Litografía de la Catedral Metropolitana a mediados del Siglo XIX. La Geotecnia juega un papel cada vez más importante en la conservación del acervo arquitectónico de la capital y de la nación en general.

amplia difusión internacional de publicaciones sobre los lineamientos (*guidelines*) para intervenir monumentos arquitectónicos desde el punto de vista geotécnico.

Es interesante señalar que las técnicas desarrolladas para enderezar estructuras antiguas, como la Catedral Metropolitana, y para mejorar el subsuelo que las soporta, ahora también se aplican en construcciones modernas, principalmente en unidades habitacionales, en las cuales se han nivelado casi sesenta edificios. En particular, las técnicas de subexcavación y de mejoramiento de suelos han evolucionado y se han mejorado al aplicarse a la solución de problemas de inclinaciones y hundimientos diferenciales en edificios nuevos, con lo cual ahora se cuenta con mejor preparación para resolver los problemas de las vetustas edificaciones que forman parte del patrimonio arquitectónico de nuestra ciudad. La participación de los investigadores de la coordinación en problemas relacionados con la conservación de monumentos ha sido el resultado de una muy fructífera vinculación con colegas e instituciones de los sectores público y privado.

Pruebas de carga sobre pilas de cimentación del distribuidor vial San Antonio, México, DF

Los investigadores de la Coordinación de Geotecnia conducen diversos estudios acerca de la cimentación de edificios y obras de infraestructura, como es el Distribuidor Vial San Antonio y los segundos pisos del Periférico de la ciudad de México. La cimentación de la mayoría de los apoyos de estos viaductos se resolvió

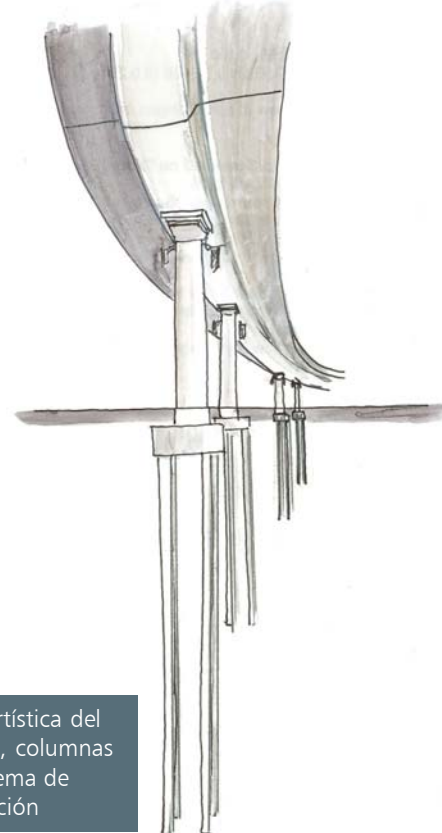


Fig. 3 Visión artística del viaducto, columnas y su sistema de cimentación



Fig. 4 Control visual, además del monitoreo con un sistema de adquisición de datos, de las variables internas de una pila durante el proceso de carga vertical

con una zapata y pilas de 65 cm de diámetro y 20 a 25 m de longitud (fig 3). Dada la cantidad de apoyos por construir, se consideró pertinente verificar experimentalmente las estimaciones de capacidad de carga, por lo que se realizaron pruebas de carga axial y lateral en pilas instrumentadas de dos sitios representativos de las zonas de Transición y Lomas.

En la ciudad de México, han sido escasas las pruebas de carga en pilas con perforación previa y coladas en el lugar, y todavía más raras las que se instrumentan internamente. En esta investigación se midió no sólo la

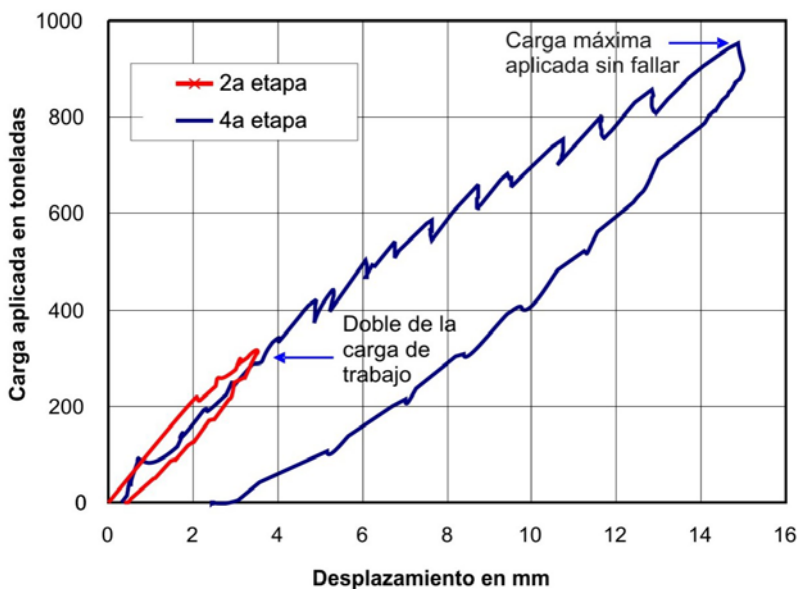


Fig. 5 Relaciones carga-desplazamiento de pruebas de carga vertical sobre una pila prototipo del Distribuidor Vial San Antonio

carga y deformación en la cabeza de las pilas (fig 4), sino también variables internas para conocer cabalmente su comportamiento; así, se registraron deformaciones en acero y concreto a diferentes profundidades, la compresión de tramos de pila y la carga directa en la punta. La carga vertical máxima aplicada sobre cada pila fue de casi 1 000 toneladas, lo que requirió construir cuatro pilas alrededor de la de prueba, para obtener la reacción necesaria, además de una robusta armadura metálica para transferir esas cargas.

Los resultados de las mediciones permitieron conocer los mecanismos de transferencia de carga, poniendo en claro los aportes de la fricción y la punta a la capacidad de carga total. Se comprobó incluso, que varios hechos experimentales no avalan algunas ideas aceptadas como válidas en las prácticas locales. Pudo verificarse la alta capacidad de carga vertical y horizontal de este tipo de pilas (fig 5).

Esta investigación ejemplifica un estudio en el que no sólo se dan respuestas específicas al diseño y a la seguridad estructural de un caso particular como el de esta importante obra de infraestructura, sino que se aportan valiosos conocimientos generales al estado actual del saber y la práctica de la ingeniería de cimentaciones de la ciudad.