

Grupo de investigación sobre ingeniería estructural de edificaciones históricas

Abraham Roberto Sánchez Ramírez

Desde finales de la década de los 80, el doctor Roberto Meli y el ingeniero Abraham Roberto Sánchez Ramírez han formado un grupo de investigación dedicado a estudiar distintos aspectos de la seguridad estructural de las construcciones antiguas, con énfasis en los grandes edificios religiosos y civiles de la época virreinal, y en los efectos que sobre ellos tienen los sismos y los hundimientos del terreno.

Los trabajos más importantes realizados por el grupo son los relacionados con el programa de rehabilitación de la Catedral de la Ciudad de México; éstos incluyen estudios analíticos estáticos y dinámicos, diagnóstico, instrumentación y monitoreo estructural, estudios experimentales en laboratorio para el desarrollo de procedimientos de refuerzo y asesoría continua a la direc-

ción del proyecto durante más de diez años. De esto se han derivado numerosos artículos técnicos en revistas y memorias nacionales e internacionales. Los estudios mencionados han sido realizados para la Dirección General de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural de CONACULTA, a la que se ha brindado, además, asesoría sobre problemas específicos de otros edificios importantes en diferentes partes del país.

La segunda línea de trabajo, en orden de importancia, ha sido la relacionada con la evaluación de daños y procedimientos de refuerzo de edificaciones afectadas por eventos sísmicos. Se ha tenido participación relevante en los casos de los sismos de Puebla y Oaxaca de 1999, en los de El Salvador de 2000, y en algunos otros casos específicos. En esta actividad se ha apoyado a la Coordinación Nacional de Monumentos del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Más recientemente el grupo ha recibido el encargo, por parte de la Dirección General del Patrimonio Universitario, de realizar el diagnóstico y seguimiento de los edificios históricos que son patrimonio de la UNAM.

Se han estudiado los diez edificios principales y se han hecho estudios y propuestas específicas sobre la antigua iglesia de San Pedro y San Pablo, y la de San Agustín, así como sobre la antigua Escuela de Medicina, el Palacio de Minería, la Academia de San Carlos y las antiguas escuelas de Odontología y Economía.

El grupo desarrolla su actividad dentro de la Subdirección de Estructuras y Materiales del Instituto de Ingeniería, y hace uso de su infraestructura de equipos e instrumentos, así como del personal técnico especializado en el trabajo experimental de laboratorio y campo. A lo largo de los años han participado numerosos becarios de la licenciatura en ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería y del Programa de Posgrado en Ingeniería. Se mantiene además una constante colaboración con grupos afines en Italia, España y Portugal, y se ha tenido una importante participación en reuniones técnicas internacionales sobre la materia.

A continuación, se describen de manera sucinta las contribuciones en algunos de los principales proyectos en los que ha participado el Instituto de Ingeniería.

Templo de San Pedro y San Pablo

El templo de San Pedro y San Pablo, una de las construcciones más importantes de la época virreinal, se localiza en la esquina de las calles de San Ildefonso y el Carmen, en el Centro Histórico de la ciudad de México. Fue diseñado por Bartolomé de Larios y construido por los jesuitas al final del siglo XVI.

El templo ha tenido múltiples usos diferentes de los del culto religioso, lo que propició alteraciones tanto desde el punto de vista arquitectónico como estructural. En este siglo, entre 1944 y 1977, el templo albergó a la Hemeroteca Nacional. A partir de 1977 y por cerca de una década, quedó abandonado, por lo que la UNAM desarrolló un proyecto para que el recinto fuera un espacio en el que pudieran difundirse conocimientos científicos y tecnológicos. Este proyecto dio lugar al Museo de la Luz.



Templo de San Pedro y San Pablo



Daños en el sistema abovedado

Como parte de la riqueza artística y cultural del templo, destacan los murales *El Árbol de la Ciencia*, realizado por Roberto Montenegro sobre el muro testero del templo y *Los Signos del Zodiaco*, elaborado por Xavier Guerrero en la cúpula ubicada a un costado del presbiterio.

Lamentablemente esta importante construcción ha sufrido hundimientos extraordinarios desde el inicio de su construcción. Los estudios realizados sobre esta problemática demuestran que el piso original se encuentra 4.2 m por debajo del nivel de piso actual. Dicho hundimiento se ha producido de manera diferencial lo que ha causado desplomes en la estructura, abertura de bóvedas y arcos, así como severos agrietamientos en estos mismos elementos.

Estos daños, así como desprendimientos de aplanados e importantes filtraciones de agua de lluvia hacia el interior del recinto, despertaron la inquietud de las autoridades del museo, sobre todo por la seguridad estructural del templo y por el deterioro que sufre su interior, particularmente los murales que forman parte de su riqueza artística y cultural.

Desde el año 2000, el IUNAM ha apoyado con diversas actividades de carácter estructural esta importante construcción, para mejorar sus condiciones de seguridad.

Entre las principales actividades que el Instituto ha desarrollado destacan el diagnóstico general del problema que afecta al inmueble, así como el proyecto de rehabilitación desarrollado para la zona del ábside.

Palacio de Minería

El Palacio de Minería también ha sufrido las consecuencias del hundimiento que sufre la ciudad de México; esencialmente, su base se deforma de manera cóncava provocando desplomes y agrietamientos en la estructura. Las arcadas ubicadas alrededor del patio principal presentaban importantes agrietamientos, que ponían en riesgo la estabilidad de algunos de sus sillares.



Trabajos de rehabilitación



Arcada del patio principal del Palacio



Colocación de endopostes de acero para afianzar sillares

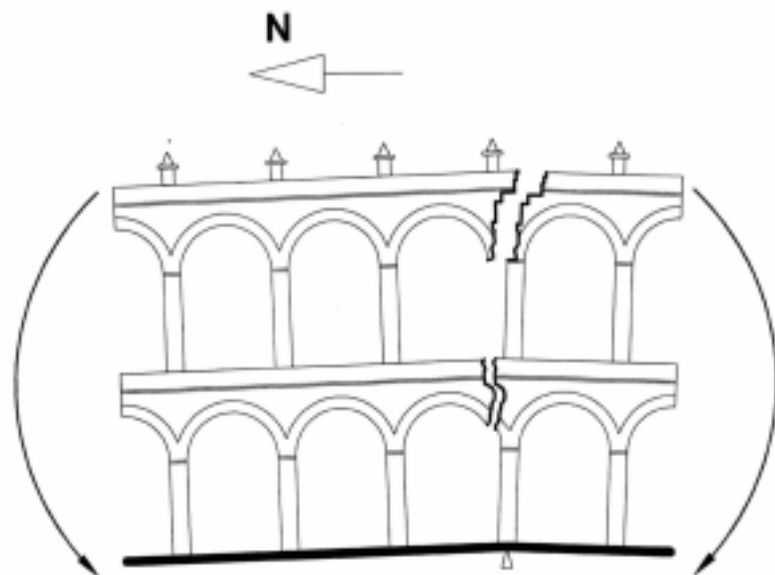


Palacio de Minería



Agrietamiento en muro de la fachada

El caso de mayor preocupación se detectó en uno de los arcos de la planta baja, en el cual la clave, así como los dos sillares que la flanquean, se desplazaron. Esta situación obedece principalmente a la separación que sufrieron sus apoyos, causada por los hundimientos diferenciales que se producen en el terreno y, en menor medida, también por el aparejo deficiente entre los sillares del arco y aquéllos que originalmente se apoyaban sobre él. Esta última situación propició que, al separarse los apoyos del arco, la clave y los dos sillares que la flanquean quedaran sin confinamiento, y se produjera el giro del bloque. Esta hipótesis se corrobora con la presencia de las grietas horizontales que también existen entre el lecho superior de los sillares en cuestión y la parte baja de las piezas que forman la cornisa. Afortunadamente, la geometría de estas piezas y la de los sillares adyacentes impidió el desprendimiento del bloque.



Los daños mencionados no constituyen un riesgo para la estabilidad de la estructura; sin embargo, se prevé que, de continuar avanzando la separación entre los apoyos del arco en cuestión, puede producirse el desprendimiento de los tres sillares, lo que pondría en riesgo a los usuarios del inmueble.

El Instituto de Ingeniería, además del diagnóstico estructural acerca de este problema, elaboró la propuesta para subsanar los daños, y supervisó la ejecución de los trabajos correspondientes.

Antigua Escuela de Medicina

Se ubica en la esquina que forman las calles de Brasil y Venezuela, en pleno corazón de la ciudad de México, y se erige como uno de los inmuebles más ricos en historia y tradición tanto universitaria como del Centro Histórico.

El antiguo Palacio de Medicina tiene forma rectangular y está distribuido por medio de patios, de los cuales destaca el principal que rige y organiza las funciones del edificio; el segundo patio (localizado al oriente) fue intervenido y adaptado a las necesidades que tuvo la entonces Escuela de Medicina; por último, el patio ubicado al norte albergó las viviendas de los inquisidores, motivo por el cual se identifica como "Patio de los inquisidores".



Mecanismo general de agrietamiento en la estructura en la Antigua Escuela de Medicina

Este edificio, durante casi trescientos años, ha sufrido un sin fin de reparaciones, cuya causa principal son los movimientos irregulares del subsuelo conocidos como *hundimientos diferenciales*. Éstos se manifiestan con la aparición de agrietamientos, desplomes y desniveles en diversos elementos de la estructura, los cuales han venido acrecentándose a últimas fechas.

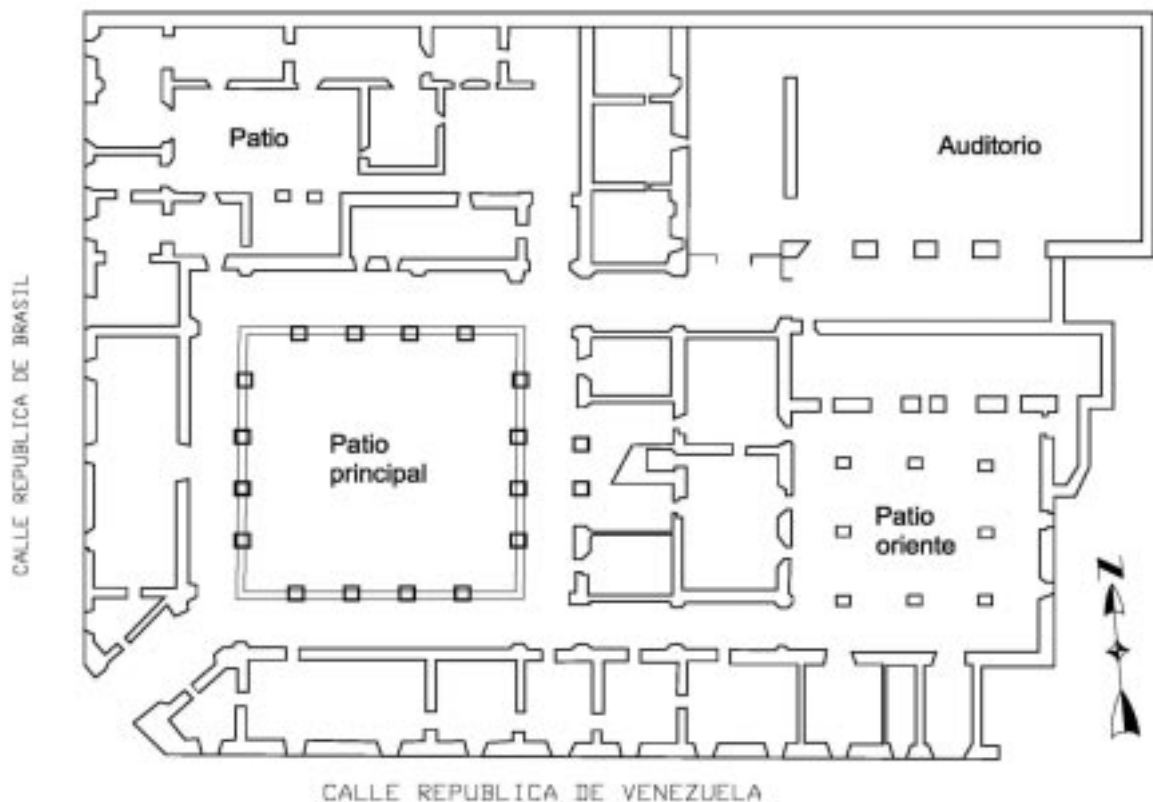
El edificio quedó a resguardo de la *Universidad Nacional Autónoma de México* al convertirse en Facultad de Medicina, y en 1931 fue declarado Monumento Histórico.

En 2002 los arcos y columnas ubicados al sur del costado oriente del patio principal se apuntalaron, ya que los

daños que afectaban su estabilidad se hicieron más notorios, e incluso algunos sillares de las arcadas del patio principal estuvieron a punto de desprenderse. Aunado a esto, otros daños detectados con anterioridad crecieron de forma alarmante y aparecieron otros nuevos.



Antigua Escuela de Medicina



Planta arquitectónica de la Antigua Escuela de Medicina

De acuerdo con los daños observados en el recinto, puede decirse que la estructura se deforma de manera convexa, sobre todo en la dirección norte-sur. Esta configuración resulta contraria a la que teóricamente tendría que ocurrir dadas las características de la construcción y la deformabilidad del suelo. Ello se atribuye esencialmente a los diversos grados de consolidación del terreno, a la presencia de restos de construcciones anteriores ubicadas debajo de la cimentación del inmueble y a la extracción de agua del subsuelo para abastecer a la población.

La deformación de la estructura ha provocado un patrón generalizado de agrietamientos por flexión en el recinto; las trayectorias de las grietas principales siguen la dirección oriente poniente y se propagan desde el nivel del patio hasta la cubierta de azotea, afectando muros, escaleras, arcadas y sistemas de piso. Una de las zonas más afectadas por este patrón de agrietamientos se presenta en las arcadas del lado oriente, donde existen grietas verticales entre los arranques de los arcos, además de algunos sillares con ligeros desplazamientos

relativos y sobre todo algunas grietas verticales en la base de la columna de la planta alta.

El motivo por el cual los daños son mayores en las arcadas del segundo nivel obedece esencialmente a la deformación convexa de la base, la cual produce mayores deformaciones en la parte superior de la estructura y por consiguiente mayores daños.

El Instituto de Ingeniería, además de haber elaborado el diagnóstico del problema que afecta al inmueble, también ha desarrollado el proyecto de rehabilitación del mismo, el cual consiste en términos generales en la recimentación del edificio en la zona de las arcadas, consolidación de grietas en la estructura, reposición de muros en el ala sur y en un conjunto de refuerzos locales para garantizar la estabilidad de la construcción.

Asimismo, el IIUNAM ha monitoreado el comportamiento estructural del inmueble y ha apoyado los trabajos de refuerzo de la cimentación, consistentes en la colocación de micropilotes