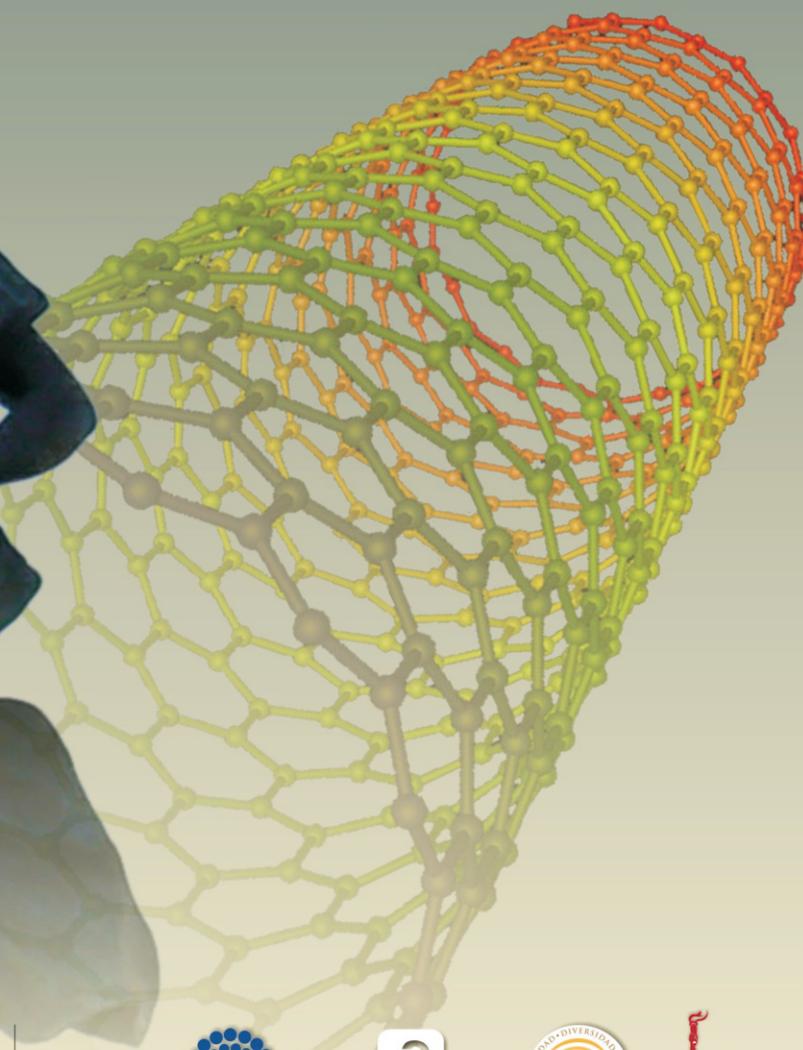




# La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro.

## Historia, Realidad y Proyecciones



MÉXICO  
2010

Bicentenario Centenario  
Independencia Revolución



PODER EJECUTIVO  
DEL ESTADO DE  
QUERÉTARO

SECRETARÍA  
DE EDUCACIÓN



CONACYT



CONCYTEQ



UNIVERSIDAD DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE  
FILOSOFÍA



Querétaro  
Ciencia de Todos  
BICENTENARIO 2010

# **La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro.**

**Historia, Realidad y Proyecciones**

## Créditos

PODER EJECUTIVO DEL ESTADO  
DE QUERÉTARO

**Lic. José Eduardo Calzada Roviroza**  
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL

**Dr. Fernando de la Isla Herrera**  
SECRETARIO DE EDUCACIÓN

**Ing. Ángel Ramírez Vázquez**  
DIRECTOR GENERAL DEL CONCYTEQ

**M.A. Juan Sánchez Ramírez**  
SECRETARIO DEL CONCYTEQ

**D.G. Alicia Arriaga Ramírez**  
DIFUSIÓN Y DISEÑO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
**Dra. Blanca Estela Gutiérrez Grageda**  
DIRECTORA DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA

**Dr. Francisco Javier Meyer Cosío**  
INVESTIGADOR DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA

### COORDINADORES

Dr. Francisco Javier Meyer Cosío  
D.G. Alicia Arriaga Ramírez

CORRECCIÓN DE ESTILO  
Ramón Martínez de Velasco

© Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción parcial  
o total de este reporte sin la previa autorización por escrito del autor.

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE FILOSOFÍA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

**ISBN 978-607-7710-29-5**

La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro. Historia, realidad y proyecciones.

**Noviembre de 2010**

**Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro y la Facultad de Filosofía de la U.A.Q.**  
Luis Pasteur Sur No. 36, Centro Histórico, C.P. 76000  
Tel. (442) 212 7266, 214 3685

Edif. "Octavio S. Mondragón", 16 de Septiembre No. 63, Ote., Centro Histórico  
Tel. 1921200, Ext. 5800, 1921216, 2129041  
Santiago de Querétaro, Qro., México

## **Presentación**

El libro *La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro. Historia, realidad y proyecciones*, fue ideado, proyectado y elaborado en el marco de los dos hechos históricos que, en este año 2010, todos los mexicanos conmemoramos: el Bicentenario de la Independencia de México, y el Centenario de la Revolución mexicana.

Ambos sucesos han generado numerosas opiniones acerca de si, en verdad, hace 200 años transitamos hacia una independencia nacional, y si hace 100 años construimos la anhelada justicia social.

En este contexto, quisimos contribuir con una parte de nuestra historia patria que no siempre es muy difundida entre la población: el quehacer académico, científico y tecnológico. Tres pilares indiscutibles de nuestro México que se vinculan íntimamente con la realidad política, económica y social de ayer, de hoy y de mañana, como se podrá constatar en las páginas de esta obra.

Nuestra comunidad académica y científica no es ajena a la discusión y al debate de los grandes problemas locales, regionales y nacionales. Por el contrario, genera diagnósticos y posibles soluciones, a fin de mejorar nuestro entorno y nuestro nivel de vida.

Un ejemplo de lo anterior es la participación de los investigadores que hacen posible esta edición especial de *La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro. Historia, realidad y proyecciones*, así como de los especialistas que conformaron el Comité Académico y Editorial y de los responsables de su planeación y ejecución.

Cada uno de ellos, desde sus distintos ámbitos del conocimiento y desde sus respectivas áreas, nos hacen tomar conciencia sobre el potencial que existe en los campos educativo, académico, científico y tecnológico, mismos que son, y así debe reconocerse, columnas del desarrollo económico sustentable de nuestro estado.

*Ing. Ángel Ramírez Vázquez*  
*Director General del CONCYTEQ*

## Índice

### **El Siglo de las Luces y la emancipación de la Corona Española, siglo XVIII-1821**

Adaptaciones e innovaciones bajo el uso del agua: escenarios de vida cotidiana. Querétaro en el siglo XVIII.	17
Ciencia, innovación y desarrollo de tecnología en la vida cotidiana: historia de la elaboración del vestido en Querétaro.	35
La producción de cerámica en Querétaro a principios del siglo XVIII. Un acercamiento arqueológico e histórico.	53
Inhalando y expeliendo humos. Una historia de la fábrica de cigarros de Querétaro.	71

### **La estabilidad porfirista, 1876-1909**

La medicina en Querétaro en tiempos de don Porfirio: entre la ciencia, la tradición y la superstición.	91
Un espejismo seductor: ciencia y tecnología en Querétaro (1876-1900).	109
El trabajo, la ciencia y el progreso desde el imaginario social que producen la poesía y el artículo periodístico. Querétaro a finales del siglo XIX y principios del XX.	131
Dos casos de ciencia formal en el Querétaro porfirista: El Consejo Superior de Salubridad durante la década de 1880. La carta geográfica "Estado de Querétaro" del ingeniero Pedro Moreno, de 1897.	153

### **Tratado de Libre Comercio de América del Norte, 1993-2006**

Cambio, innovación y desarrollo regional en la agroindustria queretana, a partir del Tratado de Libre Comercio de América del Norte.	181
La tecnología, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte y la avicultura en Querétaro.	189

### **Actualidad y proyecciones**

La alimentación en el México prehispánico y actual: su influencia en la condición nutricional.	219
Maíz y tortilla: alimento, cultura y tradición de México. Aportaciones queretanas a su modernización.	235
Innovación, consumo y cambio social en el Querétaro actual.	263
Expociencias Bajío. Alternativa actual de fortalecimiento educativo, en pro del desarrollo científico y técnico juvenil en Querétaro.	283
Desarrollo y retos de la Biometrología en el Centro Nacional de Metrología.	295
El campus universitario de Juriquilla: crónica de una utopía en progreso.	301
La ciencia y el arte de la conservación del patrimonio histórico. Caso Museo del Calendario de la ciudad de Santiago de Querétaro.	327
Siglo XXI. Los Sectores Industriales Emergentes en Querétaro.	339

### **Una aportación a la Filosofía de la Ciencia**

¿Qué es la ciencia?	357
---------------------	-----

## **La ciencia y el arte de la conservación del patrimonio histórico. Caso Museo del Calendario de la ciudad de Santiago de Querétaro**

*Ph.D. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández (1), Dr. Miguel Galván Ruiz (1, 2), Dr. Rodrigo Velázquez Castillo (1), Arqlogo Daniel Valencia Cruz (3).*

*1 Profesor investigador, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro*

*2 Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios 105, Querétaro.*

*3 Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH, Querétaro.*

### **Resumen**

El presente trabajo muestra las técnicas de caracterización fisicoquímica modernas que se han utilizado con propósitos de restauración de monumentos históricos, así como la metodología empleada. Con ello se demuestra que la interacción de distintas disciplinas es necesaria para tener un conocimiento completo sobre las características de un inmueble histórico, para fines de restauración y mantenimiento.

### **Introducción**

#### **Antecedentes**

En 1996, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 2010), a través del World Heritage Centre (Centro de Patrimonio Mundial), reconoció a la Zona Monumental Histórica de Querétaro como Patrimonio de la Humanidad (referencia 792), bajo los criterios culturales 2 y 4:

- Exhibir un intercambio importante de valores humanos, sobre un periodo de tiempo o en un área cultural del mundo, sobre desarrollos en arquitectura o tecnología, artes monumentales, urbanismo o diseño de paisaje.
- Ser un ejemplo sobresaliente de un tipo de edificio, paisaje, o conjunto tecnológico o arquitectónico, que ilustre una etapa significativa en la historia de la humanidad.

Estos criterios se basaron en la conservación de la traza original de la ciudad de Querétaro, a la gran cantidad de monumentos coloniales de los siglos XVII y XVIII, y a la forma pacífica en que se dio la convivencia entre los españoles y los habitantes originales otomíes, tarascos y chichimecas.

Por lo anterior, en Querétaro se realizan actividades de conservación, restauración y mantenimiento de monumentos históricos para fines de conservar la imagen urbana, preservar el valor histórico y cultural de estos monumentos, y para mantener la identidad con nuestro pasado.

Las primeras acciones por la conservación del patrimonio cultural se remontan al año de 1534, cuando el Papa Pablo III estableció reglamentación para los trabajos en monumentos clásicos de Roma, y para el control de exportación de antigüedades y objetos artísticos (Ridley, 1992). En épocas posteriores, regulaciones en el mismo tema fueron establecidas en varios países europeos, por ejemplo, en 1803 el Rey de España, Carlos IV, aprobó la cédula real que protegía los descubrimientos arqueológicos y monumentos antiguos “con el deseo de mantener la antigüedad y honor de los pueblos donde estuvieran localizados” (Maier, 2003).

En 1931, en la Conferencia de Atenas, se introdujo por primera vez en la historia el concepto de “Patrimonio Internacional”, y en 1964 el Capítulo de Venecia se formó para crear una asociación de especialistas en conservación y restauración, independientes de las asociaciones ya existentes de museólogos: el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, 2010)

En 1972, la UNESCO adoptó el Tratado internacional “Convención relativa a la protección de la cultura mundial y patrimonio natural”. Después, mediante el Comité del Patrimonio Mundial, creó la lista del Patrimonio Mundial, y en 1974 empezó la “Estrategia global para una lista de Patrimonio Mundial creíble, representativa y balanceada”. Ésta incluye culturas vivientes, culturas no tradicionales, y otros aspectos como son la interacción humana con la coexistencia cultural y de la tierra, entre otros (UNESCO, 1994).

### **La actividad multidisciplinaria**

Toda actividad, dentro de una determinada disciplina o especialización, se rige por principios y procedimientos específicos, enfocados a uso propio. Por esta razón, al intentar resolver o entender un problema después de aplicar todos los recursos a la mano, en ocasiones se llega a un límite en el cual se dice: ¿qué me ayudaría a entender mejor...?, ¿qué prueba o parámetro me podría ayudar a determinar...?, ¿qué saben especialistas de otros campos, que no sepa yo?, etcétera.

La actividad multidisciplinaria puede ayudar, si se está dispuesto a conocer, entender y asociar los principios y metodologías de otras disciplinas. Con ella puede darse luz, o al menos intentar dar una respuesta lógica y más apegada a la realidad, que si se recurre a la mera interpretación de una sola disciplina.

La gran mayoría de los trabajos de restauración, conservación y mantenimiento de monumentos históricos, se han llevado a cabo con base en recetas que provienen de prácticas transmitidas de generación en generación, dada la poca evidencia histórica documentada, cuestión que ha dado lugar a actividades de carácter artesanal.

Por esta razón, el propósito de involucrar desde el año 2008 a ingenieros civiles, arqueólogos, arquitectos y físicos en el grupo interinstitucional donde colaboran la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Juriquilla, es el de darle un matiz científico a dichas prácticas, aplicando y creando metodologías que permitan hacer los trabajos de restauración de un modo coherente y apropiado, a fin de que el producto final sea lo más aproximado al original, en su composición y comportamiento. Esto último es uno de los principios que se establecieron en la Carta de Venecia en 1994, que contiene los lineamientos para la restauración y conservación de monumentos históricos, a nivel mundial.

Con base en lo anterior, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) ha aprobado, en el programa de Ciencias Básicas, el proyecto “Caracterización mecánica y fisicoquímica de materiales polifásicos basados en cal, utilizados en construcciones prehispánicas y coloniales”, a fin de lograr los objetivos mencionados y buscando ese amalgamamiento entre distintas especialidades, para el bien de todos sus integrantes.

## **El estudio de los compuestos de cal**

La creación de nuevos materiales y la evolución en los procesos constructivos, han permitido que el Cemento Portland Ordinario sea de uso común en nuevas construcciones, y que también se emplee en trabajos de mantenimiento y restauración de monumentos antiguos. Sin embargo, el uso del Cemento Portland Ordinario en estructuras antiguas ha demostrado tener ciertos efectos indeseables, por causa de la diferencia en cuanto a la dureza, rigidez, impermeabilidad y propiedades del Coeficiente de Expansión Térmica (Elert *et al.* 2002). Por esta razón se ha buscado lograr la compatibilidad, tomando por principio la eliminación del uso del Cemento Portland Ordinario, sobre todo su mezcla con epóxicos o resinas acrílicas.

La reproducción de un compuesto de cal, ya sea un aplanado o un mortero, requiere, por principio, del conocimiento de las fases cristalinas de las composiciones elementales y de las propiedades mecánicas, entre otras (Galván-Ruiz *et al.* 2007). Después pueden definirse las herramientas y los procesos para identificar los componentes originales. Finalmente, se pasa a la fabricación y aplicación de los compuestos que emulen a los originales. En la fase de aplicación se ha encontrado que es importante la experiencia de quien la hace, así como la relación entre la superficie original y el nuevo material. Además de que se busca una buena trabajabilidad de la mezcla por su manejo, a largo plazo se ha demostrado que puede llegar a influir en el comportamiento de la pasta endurecida, en su capacidad de contracción, en su porosidad y en la microestructura (Casadio *et al.* 2005). Entre otros factores importantes, también pueden encontrarse los parámetros reológicos, basados en la composición fraccionaria del agregado y de la pasta, en el contenido de agua, así como en el tipo y la cantidad de aditivo (Seabra *et al.* 2007).

## **Caso de estudio: el Museo del Calendario**

Este caso de estudio fue presentado para su arbitraje, y publicado en la revista *Archaeometry*, (volumen 51, Núm. 5 del año 2009, páginas 701 a la 714). En el presente trabajo se le han adicionado algunos datos, y se ha adecuado para los lectores no especializados en el tema.

## **Ubicación**

El Museo del Calendario se encuentra ubicado en el Centro Histórico de la ciudad de Santiago de Querétaro, en la calle Francisco I. Madero, números 89, 90 y 91-A. En el primer plano topográfico de la ciudad de Querétaro (Septién, 1978), levantado por don Ignacio Mariano de las Casas (“notable arquitecto queretano”) en el año de 1760, se puede apreciar la traza de la ciudad y el contorno de la cuadra en donde se ubica actualmente el Museo del Calendario. Posteriormente, en 1778, cuando Ignacio Ruiz elaboró el plano grabado en cobre, se ve indicada la fachada. En este plano se carece de nombre de calles, pero se tienen las referencias de algunos templos y conventos. En este caso, los más cercanos son el Convento de Santa Clara (referencia 7), la Parroquia del Espíritu Santo (referencia 13), y San Felipe Neri (referencia 15). En este plano, además, hay otras particularidades, como lo señala el licenciado Ignacio Herrera y Tejeda (Septién, 1978): “Las posiciones usualmente admitidas en los planos están invertidas, es decir, hacia arriba del plano está el Sur, abajo del plano está el Norte, el Oriente queda a la izquierda y el Poniente a la derecha”. Años después, en el plano de 1796 de don Manuel Estrella y Fernández, el lote referido se encuentra en la cuadra 85, en 2ª. C. de Santa Clara (**Figura 1**). Sarbelio Moreno (Moreno, 1998) menciona que esta casa era la número 5 de la calle ya citada. Viendo el padrón general de la ciudad de Santiago de Querétaro de 1791, de don Ignacio García Rebollo (García Rebollo, 1971), encontramos que en esta casa vivía “Doña Rita Quiroz, española, con dos sobrinas de igual calidad y estado”.

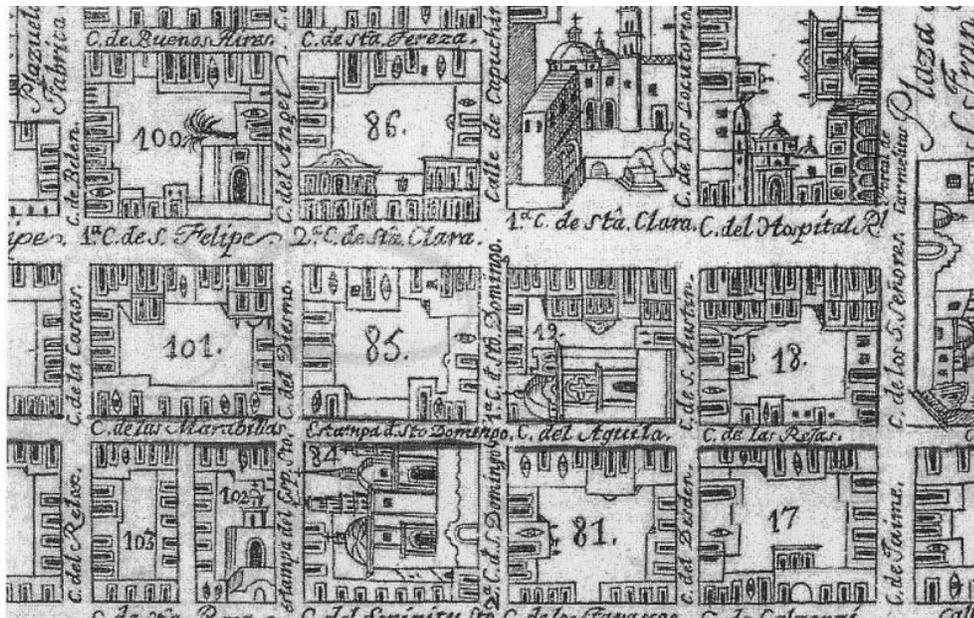


Figura 1. Extracto del mapa de don Manuel Estrella y Fernández de 1796 (Septién, 1978). El Museo del Calendario se encuentra en la cuadra 85.

Actualmente, al consultar el *Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles*, vemos que esta casona tiene la Ficha Nacional de Catálogo número 220140015200, ubicada en la región 003, manzana 012 y lote 005. En esta ficha puede observarse que la época de construcción está fechada en siglo XVIII. En el mismo Catálogo se da un croquis de localización del predio, así como un plano donde se muestra su planta (**Figura 2**).

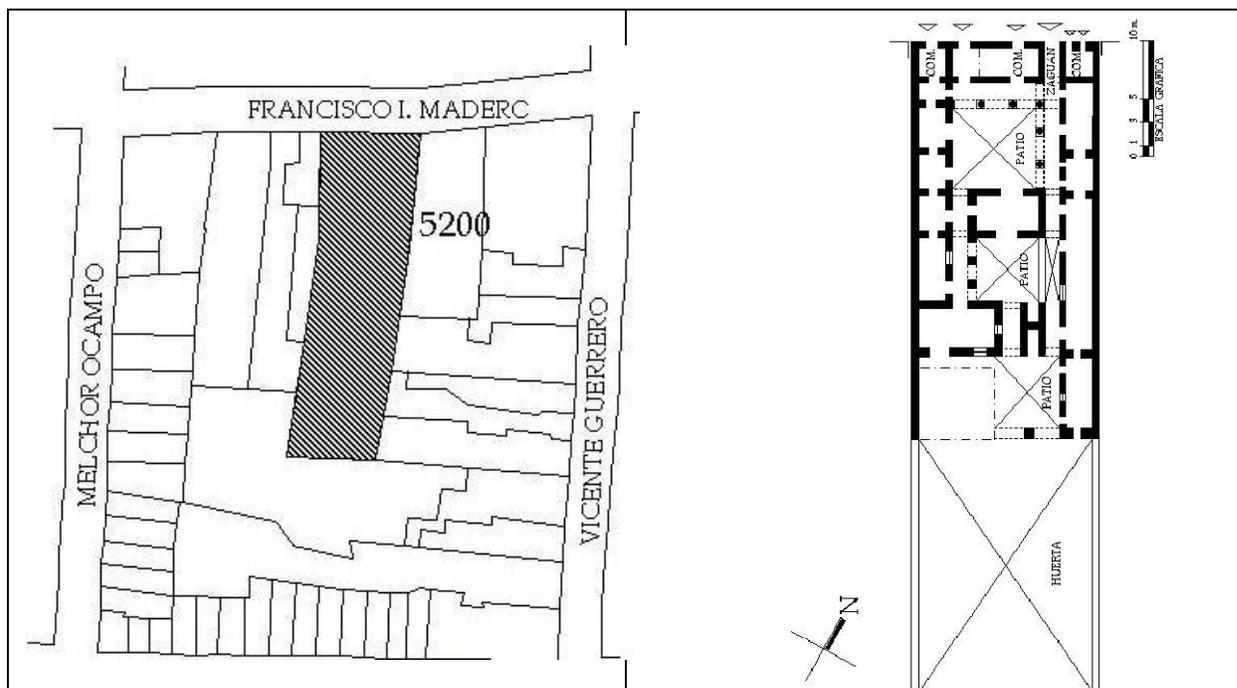


Figura 2. Planos de ubicación e interior del inmueble histórico donde se ubica el Museo del Calendario (tomados del *Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles*).

## **Descripción y estado**

La fachada principal cuenta con seis vanos de proporción vertical, los cuales son todos accesos, debido a que las habitaciones fueron habilitadas como locales para comercios (**Figura 3**). El inmueble consta de tres patios alineados, con habitaciones alrededor (**Figura 2**).

Durante el proceso de exploración y renovación del inmueble, se determinó que el edificio tuvo, al menos, tres modificaciones diferentes, empezando desde el frente. Algunos muros son de adobe, correspondiendo al primer periodo; otros de piedra, en el segundo periodo, y el resto son una mezcla de piedra y ladrillos colocados desordenadamente, también llamados “muros de miseria”, los cuales corresponden al tercer periodo.

Aunque parecía estar en buen estado de conservación, podían apreciarse áreas dañadas de aplanados separados y grietas largas en la parte superior de los muros. La puerta principal estaba en estado avanzado de descomposición.



Figura 3. Vista parcial de la fachada, antes del proceso de remodelación.



Figura 4. Estado de deterioro en aplanados.

## **Metodología**

Este es el procedimiento que, pensamos, sería el más conveniente para nuestro caso, dado que otros autores --de acuerdo con sus condiciones locales y herramientas disponibles-- plantean otros esquemas. Por mencionar un caso, N. Arioglu (2006) propone un esquema diferente para los trabajos de restauración y mantenimiento en monumentos históricos de Turquía.

## **Revisión histórica**

Esta primera parte es muy importante, debido a que nos da a conocer los detalles del inmueble histórico. Entre ellos, cuándo fue construido, quiénes fueron sus propietarios, cuáles fueron sus usos a los que fue destinado el inmueble, etc. Con ello podemos tener una idea de las prácticas de construcción vigentes en la época de construcción, si de acuerdo con la posición de los dueños, se tuvo la capacidad económica para llevar a cabo la compra de materiales y realizar procedimientos costosos, o si la vocación del inmueble merecía cierta consideración o trato especial, etcétera. La información histórica ha podido recuperarse gracias a los testimonios escritos de los grandes historiadores, crónicas y otros documentos. Además, con la ayuda de personal especializado se puede llegar a relacionar y deducir las relaciones existentes en la historia del inmueble en cuestión. Lo anterior no es tan afortunado para el caso de la construcción. Dado que no había un establecimiento de normas de calidad a seguir y cumplir, y sin la existencia de una bitácora de obra que permitiera detallar los diversos eventos y actividades, lo único que queda es pensar que se emplearon los procedimientos genéricos que se usaban durante determinado periodo histórico.

## **Caracterización de los materiales**

En esta etapa es imprescindible tener conocimiento sobre el inmueble histórico, a fin de determinar si se realizó en etapas diferentes, o si sufrió modificaciones posteriores. Esto nos ayuda a hacer un buen plan de muestreo que nos dé datos confiables acerca del inmueble histórico a estudiar. El muestreo varía de acuerdo con la técnica de ensayo a emplear. Afortunadamente la ciencia ha avanzado bastante, y para la caracterización físico-química sólo basta tomar muestras de gramos de peso a fin de determinar sus propiedades. Lo que aún falta por desarrollar son las técnicas no destructivas o invasivas, dada la gran heterogeneidad de los materiales en las estructuras.

## **Reproducción de los materiales originales**

Después de los ensayos realizados, es importante la correcta interpretación de los resultados. Con ésta, además de identificar los compuestos químicos, pueden determinarse las reacciones y los procedimientos aplicados. Esta información se emplea para que, con la mismos (o casi los mismos) materiales y procedimientos, pueda llevarse a cabo una rehabilitación del inmueble histórico más apegada a lo original, sin temor a las incompatibilidades de material y cumpliendo con los lineamientos en materia de mantenimiento, conservación y restauración. En el caso de los materiales originales, debido a que ha crecido tanto la ciudad de Querétaro los bancos de material disponibles en la época colonial se han acabado, o la gran mancha urbana se ha construido sobre ellos, de ahí que conseguir material del mismo banco sería una tarea bastante ardua. Por otra parte, se necesitaría tener un padrón de bancos ya caracterizados, para determinar cuál es el más apropiado. Esto pudo realizarse en el caso de las pirámides de Teotihuacán, en donde se determinó que el banco de material empleado para los morteros del patio de Teopancazco fue uno

de los que había en Tula (Barba, 2009). En aquel estudio también se consideraron bancos de Puebla y de Cuernavaca.

## **Experimentación**

### **Toma de muestras**

Se tomaron muestras de aplanados de las tres etapas constructivas identificadas. Cada muestra pesaba, aproximadamente, 250 g. Después de haberles quitado la capa de pintura, se guardaron en bolsas selladas. Para analizarlas, fracciones de las muestras se molieron en un mortero de porcelana hasta que el contenido pudiera cribarse por las mallas #80 (180 micrómetros), #60 (250 micrómetros) y #40 (425 micrómetros), según se requiriera para el ensaye a aplicar.

### **Pruebas y equipo**

De las pruebas existentes para hacer la caracterización fisicoquímica, se utilizaron tres, principalmente:

#### **Difracción de rayos X**

La obtención de los patrones de difracción de los polvos preparados se realizó mediante un difractómetro alemán, marca Siemens D5000, operado a un voltaje de aceleración de 35 kV y una corriente de 15 A, usando una longitud de onda de radiación de Cu K $\alpha$  de 1.5406 Å. Esta prueba se aplica para identificar elementos cristalinos, dado que su patrón de difracción sirve como una huella digital única para cada elemento. Por lo anterior, fue posible elaborar tarjetas de identificación de difracción del Centro Internacional (International Centre for Diffraction Data Cards).

#### **Espectro Infrarrojo de Transformada de Fourier**

El espectro infrarrojo se obtuvo empleando un espectrofotómetro estadounidense de marca Bruker Vector 33, mediante la técnica de reflectancia difusa con una resolución de 4 cm<sup>-1</sup>. El polvo de la muestra se mezcló con polvo de KBr. Este ensaye permite identificar grupos de elementos inorgánicos y orgánicos, sin necesidad de que sean cristalinos. Esta técnica puede complementarse con lo encontrado por medio de difracción de rayos X.

#### **Microscopio electrónico de barrido**

La microestructura y la morfología mineral de los minerales constituyentes, se registraron con un microscopio electrónico de barrido japonés, marca Jeol JSM 5600, usando electrones secundarios para construir las imágenes. Éste fue operado a un voltaje de aceleración de 20 kV. En este caso son fracciones de muestra sin moler, a las cuales se les aplicó una película superficial de oro por *sputtering*, a fin de evitar carga electrostática.

#### **Espectrometría de dispersión de energía**

Esta prueba se realiza con el mismo aparato del microscopio electrónico de barrido, y permite hacer un análisis cuantitativo de los elementos presentes en la muestra, con una aproximación del 2 %. Aun dada la precisión, se tiene el inconveniente de que el análisis no es de una zona superficial --de donde se tomaría la imagen--, sino que determina los componentes químicos a

bastante profundidad, pudiendo, a veces, tomar datos de la base en donde vienen montadas las muestras.

### Ubicación de equipos

De los equipos utilizados en las pruebas mencionadas, sólo el primero se encuentra en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, ubicado en C.U., Ciudad de México; los demás se encuentran en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, Campus Juriquilla, Querétaro.

### Resultados de experimentación

#### Difracción de rayos X

De los patrones de difracción, se encontraron los mismos componentes principales en las distintas muestras: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CaO}_3$ ) y albita [ $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ]. El cuarzo proviene de la arena utilizada, la calcita de la transformación del hidróxido de calcio, y la albita que es un compuesto sílico-aluminato con capacidad puzolánica, que pudo haberse agregado intencionalmente al conocer sus propiedades o que hubiera venido en la arena. Es posible que otros materiales no cristalinos se encuentren presentes. Los materiales hallados fueron identificados por las tarjetas de datos de difracción del Centro Internacional 03-065-0466, 01-071-1150 y 00-0050586, para cuarzo, albita y calcita, respectivamente. Uno de los resultados se muestra en la **Figura 5**. La señal de intensidad mayor del cuarzo se encuentra a los  $26.68^\circ$ , el de la albita a  $27.78^\circ$ , y el de la calcita se localiza a los  $29.4^\circ$ .

#### Espectro Infrarrojo de Transformada de Fourier

En los espectrogramas obtenidos pueden observarse bandas del grupo O-H en el ancho de banda de  $3640 \text{ cm}^{-1}$ , indicativo de agua en los especímenes y de la formación de puentes de hidrógeno. Las bandas a diferentes intervalos ( $1440$ ,  $875$  y  $715 \text{ cm}^{-1}$ ) identifican el grupo C-O y su enlace, permitiendo la identificación del carbonato de calcio.

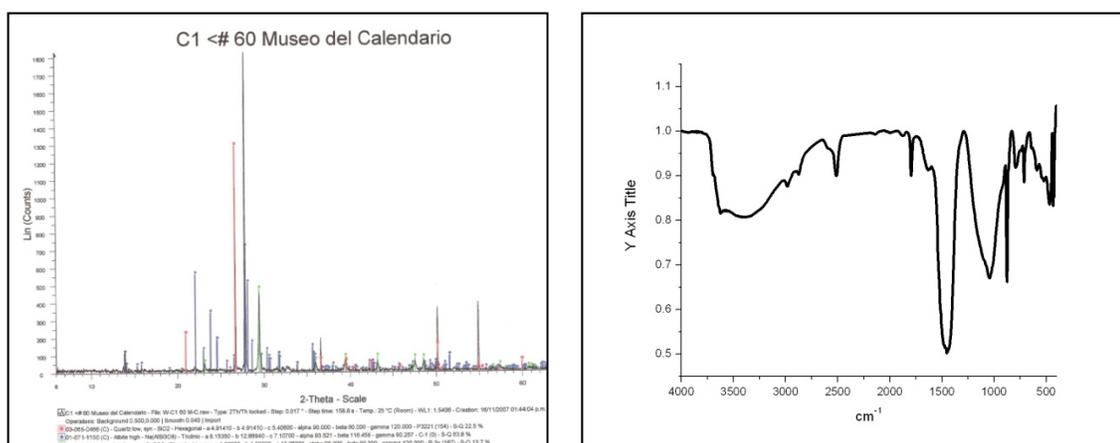


Figura 5. A la izquierda, el patrón de difracción de rayos X de una de las muestras, en donde pueden apreciarse los diferentes elementos por la posición de las señales de intensidad. A la derecha, espectrograma por Infrarrojo de Transformada de Fourier, de la misma muestra.

Las bandas de la albita y del cuarzo se traslapan ( $1105, 1045, 1018 \text{ cm}^{-1}$ ), haciendo difícil la identificación de la albita. En este caso, son de gran ayuda los resultados obtenidos en la difracción de rayos X. Las intensidades de las señales de las bandas pueden asociarse directamente con la concentración de un componente en la muestra. En este caso y dado el traslape del cuarzo y de la albita, un aproximado puede obtenerse para la relación de composición entre la calcita y el cuarzo de 2:1. Esta relación coincide con la encontrada por el método de difracción de rayos X. Un ejemplo de los espectrogramas obtenidos, se muestra en la **Figura 5**.

### **Microscopía electrónica de barrido**

En general, se observaron capas superficiales hechas de polvos finos, principalmente de carbonato de calcio, en los especímenes. Esta capa es la superficie externa de los aplanados. Debajo de estos polvos finos se encuentra una masa sólida hecha de partículas largas, las cuales tienen una porosidad baja y no muestran grietas o fracturas. La mayoría de los bordes observados entre las partículas largas, parecen tener una buena adhesión. La composición química de las partículas grandes mostró un contenido mayor de sílice y aluminio que en el de los polvos finos, de acuerdo con análisis de espectrometría dispersiva de energía. Estos resultados indican que la albita y el cuarzo son los mayores componentes de las partículas grandes, y que la calcita parece más abundante en las partículas pequeñas. Estos resultados también confirman la presencia de cuarzo, albita y cal en los aplanados originales. Un ejemplo de los resultados por microscopía de barrido se muestra en la **Figura 6**.

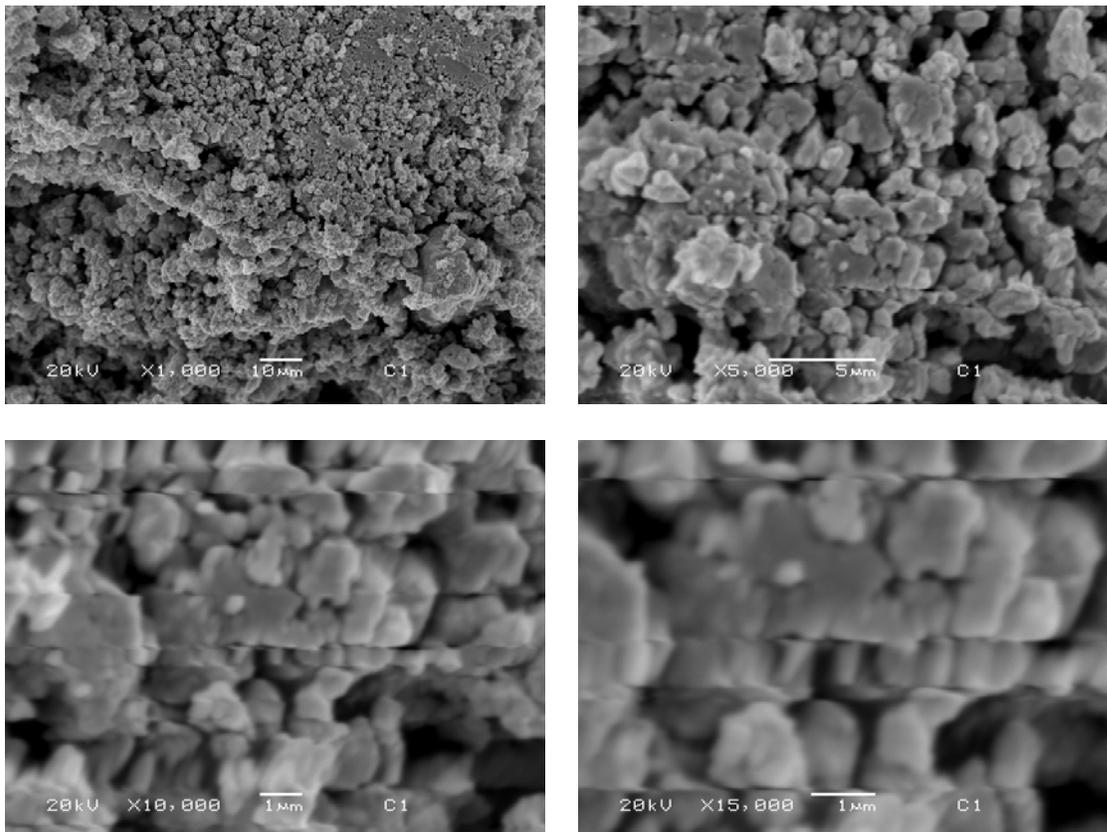


Figura 6. Ejemplo de imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido de una muestra, a varias ampliaciones.

## Reproducción de los materiales originales

Contando ya con los resultados de las pruebas anteriormente mencionadas, y relacionándolos con la información histórica acerca de la composición de materiales más empleada en los aplanados y morteros, se llevaron a cabo nuevos aplanados variando la composición cal:arena:puzolana. Además, estas nuevas mezclas fueron probadas *in situ* en el inmueble histórico. Se evaluaron las características de su adhesión a la pared, dureza y trabajabilidad. De acuerdo con esta evaluación, las mejores mezclas encontradas fueron seleccionadas para su estudio, dándole un seguimiento a su proceso de maduración hasta los dos meses de edad. Una de las etapas del proceso de restauración puede observarse en la **Figura 7**, en donde se muestran los trabajos en la fachada del inmueble histórico.



Figura 7. Labores de restauración en la fachada del Museo del Calendario.

## Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en la colocación y el progreso en el estado de maduración de los aplanados nuevos, se considera que la metodología empleada fue la apropiada para la formulación de mezclas más apegadas a las originales. Se determinó que la fase inorgánica tiene una proporción de composición química de cal:arena:puzolana de 2:1:0.5. Además de esta composición, pudo apreciarse la micro estructura y su morfología, permitiendo, así, llegar a una igualdad con los materiales originales. Con ello se espera que no exista, en el futuro, incompatibilidad entre el material nuevo y el original. Asimismo, las propiedades mecánicas podrían llegar a ser las mismas, siendo esto objeto de estudio para trabajos posteriores. La interacción multidisciplinaria mostró que las actividades de cada uno de los especialistas tuvo un valor agregado, al hacer su aportación a una solución.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al arquitecto. Fernando Pérez Landín Palacio, por las facilidades dadas en la toma de muestras, experimentación y colocación *in situ* de los aplanados propuestos. También se reconoce al personal de la sección de Monumentos Históricos del INAH, sobre todo al arquitecto Miguel Eduardo Cano Romero, por sus comentarios durante la supervisión de la remodelación del inmueble.

## Referencias

- Arioglu, N., Acun, S., "A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach", *Building and Environment*, Vol. 41, páginas 1223 - 1230
- Barba, L., Blancas, J., Manzanilla L. R., and Ortiz A., "Provenance of the limestone used in teotihuacan (México): a methodological approach.", *Archaeometry*, Volumen 51, 4, Agosto 2009, págs. 525-545.
- Casadio, F., Chiari, G., and Simon, S., 2005, Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches, *Archaeometry*, 47, 671-89.
- Elert, K., Rodríguez-Navarro, C., Pardo, E. S., Hansen, E., and Cazalla, O., 2002, Lime mortars for the conservation of historic buildings, *Studies in Conservation*, 47, 62-75.
- Galván-Ruiz, M., Baños, L., and Rodríguez, M. E., 2007, Lime characterization as a food additive. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 1, 169-75.
- Galván-Ruiz M., Velázquez-Castillo R., Pérez-Lara, M., Arjona, J., Baños, L., and Rodríguez-García, M., Chemical and physical characterization of stuccos from a mexican colonial building: el museo del calendario of Queretaro. *Archaeometry*, 51, 5, 2009, pp. 701-714
- García Rebollo Ignacio y Gorostiza Pedro. Censo de Querétaro. 1791. "Padrón general de la ciudad de Querétaro, pueblos, haciendas ranchos de su jurisdicción. Formado por el teniente coronel de caballería don Ignacio García Rebollo. De orden superior del Excelentísimo Señor virrey, Conde de Revillagigedo, y del señor mariscal de campo don Pedro Gorostiza, Inspector general de las tropas de esta Nueva España. Año de 1791.
- ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), [http://www.icomos.org/docs/venice\\_es.html](http://www.icomos.org/docs/venice_es.html), última vez revisada, 5 de julio del 2010.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia, Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, Centro INAH Querétaro, *Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles, Ciudad de Santiago de Querétaro, Estado de Querétaro*, INAH, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Gobierno del Estado de Querétaro, ISBN:970-35-0330-6, Año 2003.

Maier Allende, J., 2003, El centenario de la Real Cédula de 1803. La Real Academia de la Historia y el inicio de la legislación sobre el Patrimonio Arqueológico y Monumental en España, *Boletín de la Real Academia de la Historia*, 200, 3, 439–73.

Moreno Negrete, Sarbelio, "Casas y casonas de Querétaro, Tomo II: El Barroco queretano. 33 casas y casonas del centro histórico". 1998. ISBN 970-91457-1-1

Ridley, R. T., 1992, To protect the monuments: The Papal Antiquarian (1534–1870), *Xenia Antiqua*, 1, 117–54.

Seabra, M. P., Labrincha, J. A., and Ferreira, V. M., 2007, Rheological behaviour of hydraulic lime-based mortars,

*Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1735–41.

Septién y Septién, M. y Herrera y Tejeda, I., "Cartografía de Querétaro, colección de 35 planos de la Ciudad y del Estado", Gobierno del Estado de Querétaro. 2ª. Edición 1978.

UNESCO, "Report of the Expert Meeting on the "Global Strategy" and the thematic studies for a representative World Heritage List", UNESCO Headquarters, June 1994

UNESCO: <http://whc.unesco.org/en/list/792>, revisada 5 de Julio del 2010.