



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**



**CATÁLOGO DE MONUMENTOS  
DEL CENTRO HISTÓRICO DE  
LA CIUDAD DE MÉXICO  
A F E C T A D O S  
ESTRUCTURALMENTE DEBIDO  
A L H U N D I M I E N T O**

**DAVID NAVA DÍAZ**

**2007**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



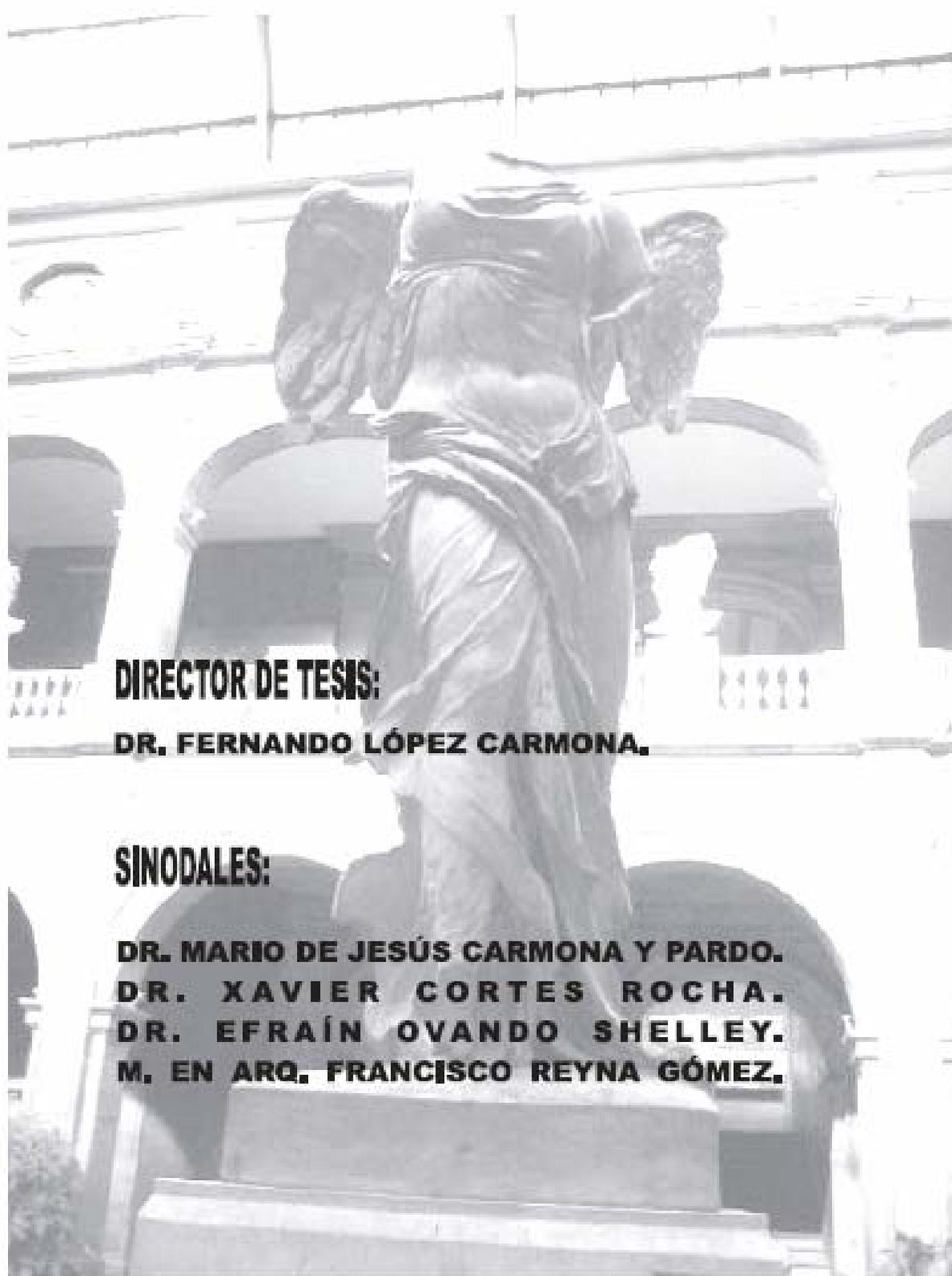
**CATÁLOGO DE MONUMENTOS  
DEL CENTRO HISTÓRICO DE  
LA CIUDAD DE MÉXICO  
A F E C T A D O S  
ESTRUCTURALMENTE DEBIDO  
A L H U N D I M I E N T O**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO  
DE DOCTOR EN ARQUITECTURA PRESENTA:**

**DAVID NAVA DÍAZ**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**2007**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. FERNANDO LÓPEZ CARMONA.**

**SINODALES:**

**DR. MARIO DE JESÚS CARMONA Y PARDO.**

**DR. XAVIER CORTES ROCHA.**

**DR. EFRAÍN OVANDO SHELLEY.**

**M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ.**

## AGRADECIMIENTOS.

Antes que nada, se debe agradecer la posibilidad de escribir, escribir es la parte fundamental de empezar a plasmar las pequeñas ideas, las inquietudes que día a día se plantean en el ámbito de la investigación.

La Universidad Nacional Autónoma de México, establece apoyos para poder desarrollar proyectos de investigación que puedan llegar a feliz término, este trabajo contó con el apoyo de la beca que ofrece la DGEP a lo largo de tres semestres, cosa que agradezco de manera infinita.

Después de mucho tiempo, decidí trabajar en un proyecto de investigación, que cada día que pasaba, pensaba en él. Cuando esto no era más que una vaga idea de lo que quería hacer, me acerqué al Dr. Efraín Ovando quién siempre me dirigió y encaminó hacia este proyecto. Mi sincero agradecimiento y mi más alta estima para él.

Las constantes visitas realizadas a la Catedral Metropolitana de la ciudad de México, en busca del Dr. López Carmona, me permitieron ver la importancia que el estudio de este caso tiene. La preocupación que el Dr. López Carmona tuvo para que este trabajo no se planteara solamente para tener una visión muy especializada, sino que se trabajara para ser un documento accesible a los estudiantes de Arquitectura, me ayudó a dirigir esfuerzos hacia esos propósitos, espero que lo haya logrado.

Este trabajo me permitió conocer grandes maestros, excelentes profesionistas reconocidos en el ámbito en el que se desenvuelven, pero sobre todo a personas con una gran calidad humana. No me queda más que agradecer a esas grandes personas que son mis asesores, al Dr. Fernando López Carmona, al Dr. Mario de Jesús Carmona y Pardo. A mi maestro el Mtro. Francisco Reyna Gómez, gracias por su apoyo incondicional y sus palabras siempre sabias. Gracias al Dr. Cortés Rocha por dedicarle tiempo valioso al revisar este trabajo.

De manera especial agradezco a la Dirección General del Patrimonio Universitario, por los apoyos para poder realizar los trabajos de campo, siempre con una gran disposición para solucionar los inconvenientes que se presentaron en el transcurso del proyecto. La información que me proporcionaron fue fundamental para lograr terminar este trabajo. Agradezco de manera especial al Ing. Jorge Barrón, al Mtro. Iván Alvarado y al Mtro. Javier Martínez.

En el Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, el Mtro. Luis Armando Soto siempre tuvo atenciones que reconozco y agradezco, su información también fue muy valiosa.

Gracias a todas las personas que apoyaron este trabajo en los distintos recintos universitarios.

A mis amigos Juan y Luis del Centro de Cómputo del Posgrado, así como a Rocío que siempre me ayudó en todos los trámites siempre tan complicados, gracias.

Finalmente, pero no al último, gracias a mi familia, a todos y cada uno de ellos les debo tanto, este trabajo es para ustedes. En este proceso de investigación sucedieron dos hechos extraordinarios y maravillosos en mi vida, se resumen en dos nombres América y Leonardo, por el tiempo que este trabajo los apartó de mí, gracias por su comprensión y cariño incondicional.

A la memoria de Carmen y Don Joel.



<b>Tema</b>	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>I-VI</b>
<b>1. Metodología de Análisis para interpretar los efectos negativos que el hundimiento genera en los edificios.</b>	<b>1-32</b>
1.1. Metodología de análisis para determinar las condiciones de los edificios del Centro Histórico.	2
1.2. Método simplificado de Interpretación de daños estructurales en edificios históricos causados por el hundimiento diferencial.	9
1.3. Marco Normativo Actual para considerar las Alternativas de Solución para el Hundimiento Diferencial.	12
<b>2. Análisis del problema del hundimiento en algunos edificios del Centro Histórico de la ciudad de México.</b>	<b>33-96</b>
<b>3. Casos representativos de procesos metodológicos empleados en edificios con problemas de hundimientos diferenciales en el centro histórico de la ciudad de México.</b>	<b>97-140</b>
3.1. Comportamiento estructural de los edificios frente el hundimiento diferencial.	107
3.1.1. Consideraciones iniciales.	107
3.1.2. Edificios a base de mamposterías con bóvedas.	109
3.1.3. Edificios a base de muros de carga y vigería.	112
3.1.4. Edificios con muros de carga y losas de concreto.	116
3.1.5. Estructuras hiperestáticas.	119
3.1.6. Metodologías empleadas para atacar los problemas de hundimientos diferenciales.	120
3.1.6.1. Método del Pozo.	120
3.1.6.2. Método de Vigas Transversales.	121
3.1.6.3. Recimentación por medio de Pilotes de Punta.	122
3.1.6.4. Sistema "Pali Radice"	123
3.1.6.5. Recimentación de pozos continuos.	124
3.1.6.6. Recimentación a base de Inyecciones de compactación.	126

3.1.6.7. Recimentación con pilotes de control.	127
3.1.7. Técnicas más comunes de nivelación.	128
3.1.7.1. Subexcavación	128
3.1.7.2. Nivelación con pilotes de control.	129
3.1.7.3. Inyección de agua en el subsuelo para restablecer la presión hidrostática.	134
3.1.7.4. Nivelación por medio de lastres.	134
3.1.7.5. Nivelación aprovechando el hundimiento regional.	135
3.1.7.6. Nivelación por medio de pilas.	137
3.1.7.7. Nivelación por medio de Electrólisis.	138
<b>ANEXO 1 Condiciones del subsuelo y del hundimiento en el Centro Histórico de la ciudad de México.</b>	<b>141-188</b>
A1.1. Tipos de Suelos	142
A1.2. Propiedades de los suelos.	142
A1.3. Fases del suelo.	144
A1.4 Compresibilidad.	145
A1.5. Consolidación unidimensional en los suelos.	146
A1.6. Cálculo de la capacidad de carga.	150
A1.7 Características estratigráficas del suelo en el Valle de México.	152
A1.8 Condiciones históricas del subsuelo (de los aztecas a nuestros días).	157
A1.9 Causas del hundimiento en la ciudad de México.	169
A1.10 Hundimientos en el valle de México.	174
A1.11 Cimentaciones en el centro histórico.	177
<b>ANEXO 2 Otros Elementos que intervienen en el Deterioro de los Monumentos Históricos Arquitectónicos.</b>	<b>189-220</b>
A2.1 Presencia de restos de construcciones prehispánicas.	190
A2.2 Efectos de los sismos en las construcciones.	196
A2.3 Ventajas y desventajas de los materiales usados en los edificios históricos.	199
A2.4 Efectos secundarios de cimentaciones aledañas al edificio.	208
A2.5 Canalizaciones subterráneas.	210
A2.6 Deterioro por abandono.	212
A2.7 Contaminación atmosférica.	213
<b>Conclusiones</b>	<b>221-226</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>227-231</b>



Catálogo de Monumentos en el centro histórico de la ciudad de México, afectados por el hundimiento.

# Introducción

---



La conservación de monumentos es parte primordial del patrimonio de una nación, es por eso que al considerar el hecho mismo de la conservación de edificios y zonas monumentales, la restauración es la herramienta fundamental para lograrlo. La restauración es necesaria cuando las condiciones del edificio presentan peligros de sufrir deterioros importantes que pongan en riesgo su permanencia histórica.

Se ha definido claramente ya la valoración y posición que se tiene con respecto a las teorías de restauración, en las que las dos principales están enarboladas por los principios metodológicos de Ruskin y Viollet Le Duc.

Sin embargo en la mayor parte de estos principios conceptuales, la valoración que se debe dar a los efectos que el suelo induce en los edificios es mínima. El presente trabajo aborda esta temática como parte primordial en la valoración de conservación de un edificio.

Las condiciones y características que se deben considerar, en la metodología de intervención e interpretación de estos efectos, hacen énfasis en la importancia de conocer el aspecto de la estructura en su interacción con el suelo y las características en las que se presentan los daños en el edificio.

Se recalca la importancia de considerar este apartado como parte fundamental de la restauración, debido a la alta incidencia de casos en el centro histórico de la ciudad de México.

Se presenta un análisis exhaustivo de los efectos del hundimiento en una muestra de edificios del centro de la ciudad y se propone una metodología de trabajo para poder realizar esta interpretación. Asimismo se propone una metodología simplificada para interpretar los efectos de los hundimientos en edificaciones sin ser tan exhaustivo y específico.

Es importante recalcar el punto de considerar el efecto del suelo en algún apartado de la metodología de la restauración de monumentos.

Existen casos de restauración recientes en los que se toman en cuenta los agrietamientos de muros, losas y pisos, de una forma superficial en las que solamente se trata de ocultar y tratar las grietas de tal forma que se oculte su visibilidad. Se procede únicamente a rellenar las grietas con distintos tipos de mortero y se cubren de manera temporal, sin importar los efectos que el hundimiento generará a largo plazo, en el que la incidencia del

agrietamiento persistirá, y , por lo general en la misma posición de grietas tratadas previamente.

En este análisis se han documentado casos típicos de esta tendencia y se presentan en forma detallada más adelante, en las que se nota claramente que pese a intervenciones anteriores, en las que se han inyectado las grietas con mortero, las tendencias de agrietamiento continúan en la misma dirección y muchas veces en mayor amplitud que las anteriores. Aquí se corre el peligro de no conocer el comportamiento y avance del problema de agrietamientos, cuando se resanan las grietas en muros y se hacen cambios de piso que ocultan las grietas, se deja sin testigo real al edificio de cómo se está moviendo y como evoluciona la tendencia de agrietamiento. Cuando se presenta nuevamente de manera visible el agrietamiento tanto en muros, losas y pisos, es porque el problema está agudizado y las grietas, generalmente, son de mayor dimensión y longitud que las anteriores.

Algunos casos recientes de intervenciones de restauración arquitectónica, han sido determinantes en el avance de metodologías capaces de enfrentar la incidencia de problemas de hundimiento, tal es el caso de la Catedral Metropolitana de la ciudad de México, en donde el tratamiento integral del programa de restauración incluyó de manera primordial el aspecto de nivelación de la estructura y del posterior inyectado del subsuelo, para mejorar las condiciones físicas del suelo bajo la Catedral. Esto aunado a la posterior intervención de elementos arquitectónicos y elementos culturales muebles, de tal suerte, que el programa tiene etapas significativas que refuerzan la idea de que se debe incluir el rescate de los bienes muebles como inmuebles patrimoniales, con el subsiguiente lucimiento y conservación adecuado. Este tipo de experiencias han enriquecido la práctica de intervención arquitectónica de manera integral, pues es únicamente de esta forma como se logrará rescatar de manera efectiva un monumento arquitectónico.

De nada sirve rescatar un edificio de alto valor histórico si únicamente se interviene en la parte de la superestructura, sin que se tome en cuenta la subestructura, lo que en un mediano plazo, se refleja de forma inmediata, ya que los efectos del subsuelo en las edificaciones del centro de la ciudad, en estos momentos es más notoria que en años anteriores, dada la velocidad de hundimiento actual. Cabe la pregunta de que tanto se altera la forma original del edificio con este tipo de intervención (parte primordial del

postulado de intervención y restauración arquitectónica), aunque cada tipo de intervención restauradora, implica ya un movimiento y alteración al inmueble.

El asunto de la conservación y restauración arquitectónica en el centro de la ciudad de México, debe partir de este principio: manejo integral de restauración, que incluya tanto la forma de intervención de fachadas y consolidación de muros y elementos estructurales, como la forma de intervenir los retablos, pinturas y reforzar las cimentaciones del edificio, englobar todos los aspectos que intervienen en el ente arquitectónico.

Este cuestionamiento de las intervenciones a monumentos históricos arquitectónicos, que no consideran de manera integral el problema del centro histórico, está sustentado únicamente en la reiteración de intervenciones estéticas al edificio con periodicidades cada vez menores, dado que se cae en el oficio de ocultar agrietamientos que por otra parte, ocultan el comportamiento de los movimientos del edificio, ya que el agrietamiento es el testigo ocular de lo que pasa debajo del edificio en muchas ocasiones.

Los hundimientos diferenciales afectan de manera general a todas las edificaciones, sin embargo, en el centro histórico el problema está agudizado por las estructuras de los edificios del siglo XVI, XVII y XVIII, en los que predomina la mampostería, que resiste valores muy bajos de deformación por compresión y son estructuras isostáticas en su mayoría.

Los edificios con estructuras de mampostería son en su mayor parte los que tienen las mayores desventajas respecto a los problemas ya mencionados, por una parte son los bajos coeficientes de trabajo y de resistencia mecánica y por otro es el deterioro que con el paso de los años han sufrido. El estudio exhaustivo que respecto a los edificios con estructura de mampostería se han realizado, ha arrojado datos muy importantes respecto a la forma de trabajo de los mismos y formas y métodos para mejorar su capacidad de trabajo y la manera para ayudar en su conservación.

El subsuelo de la ciudad de México es el lugar en donde se manifiestan la mayor cantidad de casos con problemas de hundimiento. La formación de la base en la que se soportan los edificios y la conformación de la traza a través de los siglos, han hecho de las características del suelo en el centro de la ciudad, un fenómeno poco usual en la mayor parte de las zonas patrimoniales mundiales.

Dado el origen lacustre de la ciudad y el consecuente crecimiento y ensanchamiento paulatino de la superficie de soporte de la ciudad, generando edificios cada vez más

pesados y con áreas de transmisión de esfuerzos más reducidas y concentradas en puntos más estrechos, el problema de la capacidad de carga del suelo es notorio, y se manifiesta ya en las técnicas de cimentación prehispánicas, en las que se daba un tratamiento de transmisión de esfuerzos a la cimentación con pilotes de madera a estratos más profundos del suelo. Si a este problema de origen y características del subsuelo en el que predominan estratos de suelo con resistencia a capacidad de carga bajas, se añaden el de la extracción de aguas freáticas del subsuelo para suministro de agua para consumo humano, el problema se acrecienta de manera alarmante y no se vislumbra algún momento para poder detener el problema de esta extracción. Otra característica única en este problema actual de hundimientos, es el de diferencias estratigráficas notorias y la presencia de restos de construcciones prehispánicas, que han preconsolidado grandes extensiones de suelo, que acrecientan la posibilidad de hundimientos diferenciales, en casos específicos analizados en el presente trabajo se manifiesta este caso típico.

El reto es el de poder determinar cuando intervenir los edificios, en función de daños estructurales actuales, que manifiesten un peligro latente para la estabilidad y conservación del mismo, de tal forma que además con las tendencias de hundimiento en la zona, se detecten daños posteriores. Si se tiene un control preciso de las condiciones estructurales de los edificios y del comportamiento y evolución de agrietamientos, se puede precisar el tipo de intervención del mismo, sin que se presente un deterioro mayor, es decir, hacer una propuesta de mantenimiento preventivo al mismo.

Lo anterior representa un reto para la Restauración de monumentos: el de cómo abordar el problema del hundimiento general y como hacer para que no interfiera en los lineamientos principales de Conservación. Se ha mencionado en este documento, que la restauración de monumentos no incluye de manera importante el efecto de los hundimientos en los edificios, por lo que se debe analizar la posibilidad de hacer parte de la metodología de análisis, el estudio de las condiciones del edificio afectado por asentamientos graves del suelo.

Aunado al hundimiento se deben considerar factores de la misma importancia, que ponen en riesgo a los monumentos arquitectónicos, de tal forma que se considere la interacción de todos ellos en el análisis que se haga para la valoración del edificio.

Se tiene por un lado que las condiciones del subsuelo se vuelven más desfavorables con los movimientos sísmicos, mismos que han ocasionado graves daños a lo largo de los

siglos. Además se deben considerar los efectos que tienen en las construcciones, factores como el viento, la lluvia, la contaminación atmosférica, los efectos de cimentaciones aledañas o de excavaciones, inclusive las fugas de agua que reblandecen el terreno y modifican la capacidad de resistencia de la cimentación.

Actualmente, con los trabajos de rescate de los diferentes cuadrantes del centro histórico, se plantea esta realidad actual, la de sustituir las conducciones de aguas negras a través de materiales más adecuados para estas condiciones.

El trabajo multidisciplinario de la restauración de monumentos es recomendable, se tiene la presencia de arquitectos, restauradores, ingenieros, químicos y varios especialistas más, por lo que en la formación de restauradores actualmente, se necesita valorar la pertinencia de conocer aspectos importantes de las condiciones del suelo en su interacción con el monumento, así como técnicas de intervención de los mismos, de tal forma que se conozca de manera clara las consecuencias que puede tener un tipo de agrietamiento en los edificios, y, asimismo, saber como actuar en casos típicos de hundimientos diferenciales.

En este momento es importante recalcar la importancia de concientizar a las generaciones de arquitectos, que se deberán enfrentar, con problemas más frecuentes de hundimientos diferenciales en el centro de la ciudad de México, dado que las tendencias de hundimiento en la ciudad en general persisten de manera notoria. De tal forma mientras más herramientas tenga para interpretar las condiciones del problema, y conozca las alternativas de solución para cada caso específico, será una gran ventaja y un punto más a su favor en el momento de llevar a cabo alguna restauración y que esta resulte exitosa en todos los ámbitos y que principalmente, se tenga una visión de largo plazo para el edificio.

De manera particular se analizan los casos de una muestra de edificios ubicados en el centro de la ciudad que pertenecen a la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyo valor arquitectónico es incalculable y de trascendencia histórica para esta institución, por lo que representan para cada dependencia.

En algunos de estos edificios se han tenido intervenciones actuales, tanto parciales como integrales, que hacen posible determinar los resultados que se tienen o se tendrán en dichas intervenciones, en otros se analiza la posibilidad de intervención y se dan niveles de prioridad para mantener en buen estado estos inmuebles.

En términos generales, la posibilidad de generar un programa de intervención y restauración de edificios con problemas de hundimiento, es factible, siempre y cuando se conjuguen todos los elementos que intervienen en este caso.

El objeto primordial de este estudio es determinar, a partir de experiencias prácticas en el ámbito del análisis del comportamiento estructural de los edificios, la necesidad de implementar un método efectivo de valoración de las condiciones físico – estructurales de los mismos, que sirva de apoyo en el arduo trabajo de la conservación de edificios monumentales y patrimoniales en el centro de la ciudad.

El objetivo principal es el de establecer los análisis respectivos a los edificios de la UNAM, localizados en el centro de la ciudad, dándole prioridad a los distintos casos que se presentan en cada inmueble. Un análisis representativo de un caso específico es suficiente para determinar el comportamiento de algún otro con características de deformación similar.

Es así que se analizan los edificios más representativos en cuanto a la condición de trabajo estructural de acuerdo a su deformaciones actuales. Este trabajo, como se planteaba por algunos de los especialistas consultados, tenía que ser acotado a lo que el tiempo del trabajo lo permitiera; sin embargo, este tipo de trabajo puede sentar las bases para que se establezca la meta original de abarcar más edificios si se trabaja el mismo de forma institucional.

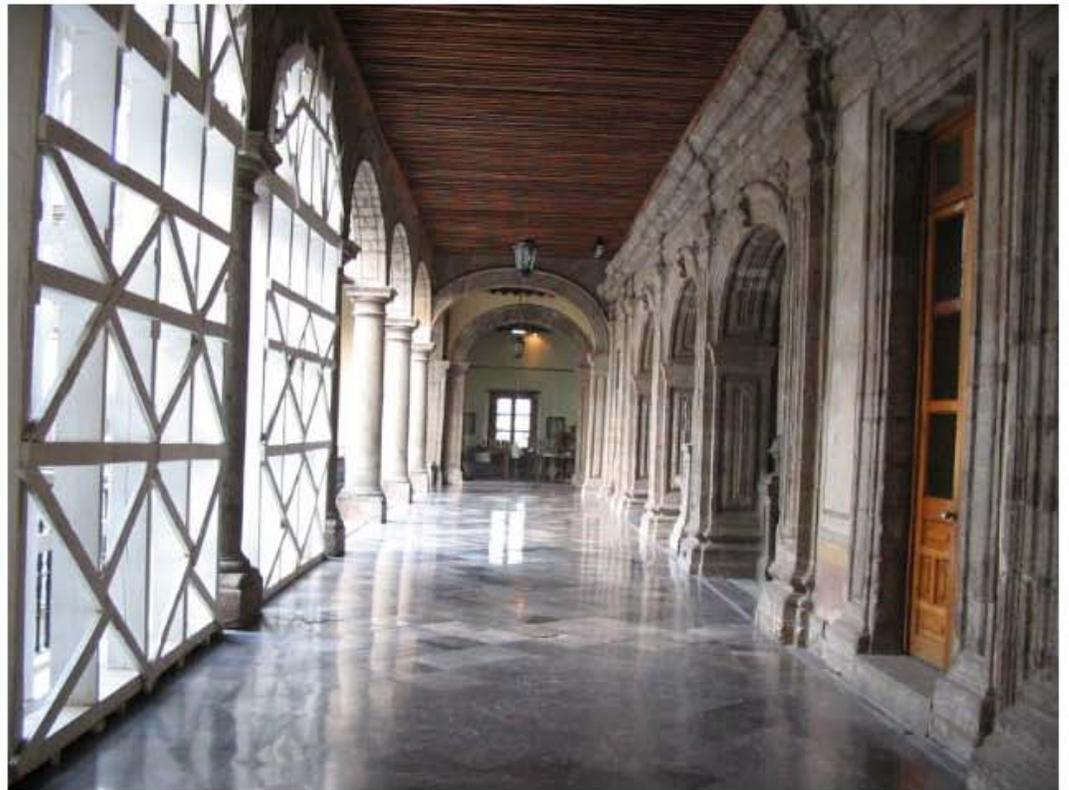
El planteamiento de establecer un programa de intervención de los edificios, de acuerdo a su prioridad y grado de complejidad se debe plantear de manera interinstitucional; la proyección de los hundimientos futuros en la zona centro de la ciudad, no permite tener otra visión que la de entender la necesidad de plantear este trabajo, para saber cuando y como intervenir para que el Patrimonio Arquitectónico del centro histórico se proteja y se conserve.

Finalmente, se pretende en este trabajo elaborar una ficha de revisión de los edificios afectados estructuralmente por los hundimientos, para que se recabe la mayor cantidad de información posible, relativa al subsuelo, que en este caso es el factor principal de daños en los edificios y el problema principal a atacar. La metodología presentada, asimismo, se pretende diseñar para profesionistas involucrados en el entorno sin que tengan tanta especialización en asuntos del subsuelo.

La estructura del documento, parte de la propuesta metodológica que se implementó, en algunos casos que se tomaron de forma aleatoria para poder aplicarla en ellos. De esta forma, se detalla el modo en que se llega a esta metodología. Se analiza el aspecto normativo actual respecto a su consideración de los hundimientos diferenciales. En el siguiente capítulo se elabora la aplicación metodológica en los edificios elegidos para su estudio y posteriormente se tienen los anexos correspondientes la tipología arquitectónica respecto a su condición estructura, a la historia de los hundimientos diferenciales (causa primaria de afectación a las estructuras del centro), a las otras acciones que provocan daños en las estructuras y finalmente, pero no menos importante a la información relacionada a la mecánica de suelos.

# **I Metodología de Análisis para interpretar los efectos negativos que el hundimiento genera en los edificios.**

---



## **1.1. Metodología de análisis para determinar las condiciones de los edificios del Centro Histórico.**

La idea principal de este estudio, es determinar los efectos que el hundimiento del subsuelo produce e induce en los edificios del centro Histórico de la ciudad de México.

### **A. VALORACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL INMUEBLE Y DE SU ENTORNO FÍSICO.**

Para determinar las condiciones en las que un inmueble se encuentra, se deben considerar varios aspectos, entre los que podemos mencionar los siguientes:

1. La primer condición por evaluar es realizar un levantamiento físico del inmueble y determinar las condiciones físico – estructurales en las que se encuentra. Este tipo de valoración se debe realizar preferentemente con instrumentos de alta precisión y tecnología avanzada, tales como los elementos de levantamientos topográficos, la video sonda, la fotogrametría. En el caso de este estudio no se cuenta con este tipo de material de apoyo, por lo que las valoraciones son menos profesionales y un poco más limitadas.
2. La segunda debe ser la representación fotográfica del inmueble y de las condiciones de deterioro y conservación del mismo con la veracidad de imágenes que puedan sustentar la valoración hecha.
3. La tercera condición es realizar un estudio de agrietamientos en pisos y losas, de forma tal que nos permitan evaluar las condiciones que guardan ambos elementos en la construcción; esta condición, además, es de gran ayuda para determinar las tendencias de hundimiento del edificio en estudio. Es importante hacer notar la condición que ciertos edificios presentan al momento de haber sufrido modificaciones recientes, en los que los pisos y losas no presentan grietas por el poco tiempo que han estado expuestos a los esfuerzos de hundimiento. Esta condición hace casi imposible el dar un diagnóstico certero del estado que guarda el edificio. Lo recomendable para estos casos es realizar calas, que permitan descubrir zonas considerables para ser estudiadas.

4. Se debe realizar asimismo, el estudio de desplomos de muros, columnas y demás elementos estructurales; para esta actividad siempre es necesario tener elementos de alta precisión, que garanticen los buenos resultados de la investigación. En el caso de las fichas se realiza con un nivel de gota, cuya metodología fue proporcionada por el Dr. Efraín Ovando Shelley.
5. Determinar las condiciones de la cimentación del edificio, es otro de los aspectos a considerar, ya que este elemento puede ser determinante en el momento de elegir una metodología de nivelación, recimentación o corrección diferencial del inmueble. Nuevamente es importante resaltar la necesidad de realizar calas para tener mucho mayor certeza en los resultados y conocer de manera más amplia las condiciones de la cimentación.
6. Recabar información acerca de las tendencias de hundimiento de la zona. Este procedimiento generalmente es de investigación bibliográfica, en relación a trabajos de Mecánica de Suelos realizados en primera instancia en el edificio y en el peor de los escenarios información de estudios realizados a edificios cercanos al inmueble en estudio. Conocer las condiciones estratigráficas del lugar de trabajo es determinante para conocer las posibles tendencias de hundimiento en el futuro y las velocidades de hundimiento y características de comportamiento del tipo de suelo en el que está sustentado el edificio.
7. Es importante conocer la historia que el subsuelo ha tenido en la mayor cantidad de años posible, de manera que se puedan detectar los esfuerzos que ha soportado el mismo y saber los esfuerzos de preconsolidación que ha tenido, de forma que se aprecie la cantidad de hundimiento que se puede generar en el subsuelo a estudiar. De esta forma se debe recabar información acerca de construcciones previas en el lote, con sus características constructivas y el tipo de uso y pesos que soportaba. En esto se debe considerar las zonas que han sufrido con rellenos artificiales de materiales de poca homogeneidad y zonas con vestigios arqueológicos.

8. Conocer las características constructivas del inmueble, así como las etapas de construcción, cambios en la misma, usos a los que ha sido destinado, modificaciones considerables en su estructura. Y finalmente las intervenciones de remodelación o restauración previas.

9. Finalmente, valorar el efecto que un sismo representa en la aceleración de hundimientos de un edificio.

## **B. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONANTES.**

Una vez detectados todos los puntos que intervienen en las condicionantes de la estructura del edificio, se debe evaluar la condición de todos los elementos estructurales y detectar la problemática de cada uno de ellos. De esta forma se deben encontrar los siguientes aspectos:

- los efectos que producen los cambios de usos y cargas en ciertas zonas del edificio;
- la incidencia del hundimiento regional, la presencia de vestigios arqueológicos;
- las tendencias de hundimiento local del inmueble, de manera que se pueda tener una clara noción de los efectos que puede provocar a largo plazo este tipo de condiciones;
- las condiciones de desplomos y desniveles que presenta el edificio deben marcar las tendencias de hundimiento local y mejorar las posibilidades de presentar un tratamiento adecuado de mejoramiento en su comportamiento estructural;
- la interpretación de todas estas valoraciones deben presentar una ponderación de la condición estructural del inmueble y diagnosticar el tratamiento preventivo o correctivo a implementar.

## **C. DETERMINACIÓN DE LA CORRECCIÓN DEL EDIFICIO.**

Con el análisis general del inmueble tanto en las condiciones físico – estructurales, como en las geotécnicas, se debe tener la precisión de dar un diagnóstico preciso que involucre todos los aspectos y tome en cuenta las posibles variantes en el proceso de corrección.

Se debe dar un dictamen del edificio y considerar las correcciones necesarias en caso de precisarlo.

Se debe proponer una metodología de corrección que tome en cuenta aspectos económicos, del entorno del inmueble, de las restricciones del espacio en que se debe trabajar, de los tiempos de ejecución y de las tendencias de hundimiento en el futuro.

Para esto se debe hacer una relación de las metodologías de corrección adecuadas, contemporáneas y efectivas.

#### **D. SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL INMUEBLE.**

Como punto final del proceso, se debe realizar la instrumentación adecuada para hacer evaluaciones periódicas que permitan determinar la condición del inmueble en períodos de tiempo establecidos de manera adecuada, y que tomen en cuenta las posibles modificaciones de las tendencias y el mejoramiento del comportamiento estructural del edificio.

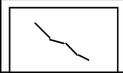
De manera importante, se debe prevenir la instrumentación de procesos subsecuentes para mejorar la metodología implantada de control de hundimientos, de manera que no afecte significativamente en un futuro en las actividades del edificio y no represente un incremento de costos en el proceso de seguimiento del monumento en cuestión.

De manera tentativa se propone elaborar fichas para la valoración de las condiciones físicas del inmueble en el siguiente formato, con la salvedad de que puede ser perfectible e incluir datos que no se incluyan en esta propuesta, y que dependa de las condiciones específicas del inmueble a tratar. Posteriormente se hace la aplicación de esta ficha en varios edificios estudiados.



<b>Datos del suelo</b>			
Estratigrafía:			
Influencia de la cimentación colindante en el edificio:			
Intervenciones en cimentación - estructura previas:			
Tendencias de hundimiento en la zona:			
Desplomes en el edificio:			
Deterioro del edificio debido a :			
Hundimiento	Contaminación	Daños físicos causados por el ser humano:	
Otros:			
Tipo de carga actual:			
Modificación de uso: (con la consecuente modificación de cargas)			

**DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA**

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
								
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

## 1.2. Método simplificado de Interpretación de daños estructurales en edificios históricos causados por el hundimiento diferencial.

Para una primera interpretación de la condición estructural de un inmueble, afectado por hundimientos diferenciales del suelo, se puede seguir el siguiente esquema metodológico, que puede servir para tomar medidas y mediciones más elaboradas posteriormente:

### 1. Valoración física del edificio de manera visual.

Es importante realizar un recorrido a lo largo y ancho del edificio, tanto en la parte interior como exterior, de tal forma que podemos detectar los puntos más afectados del edificio, y se pueda estudiar la estrategia a utilizar para la ubicación precisa de los agrietamientos, en una etapa posterior del proceso de valoración.

En este primer recorrido se pueden tomar en cuenta las siguientes consideraciones: el tipo de agrietamiento, su espesor y su continuidad en los elementos del edificio, para ubicar la gravedad del agrietamiento y dar más o menos importancia a este tipo de detalles.

Se debe analizar el tipo de material con el que se tiene que trabajar, para estudiar su capacidad de deformación y sus características mecánicas, de tal forma que desde esta primer valoración se detecte si los esfuerzos son grandes o medianos, y agrieten los materiales o los materiales son muy débiles y los esfuerzos que soportan son bajos y se agrietan de manera rápida.

En esta valoración se puede ubicar también si los agrietamientos están influenciados por otros elementos que no sean consecuencia del suelo mismo del edificio, sino por ejemplo, influencia de cimentaciones colindantes, del peso excesivo de edificios cercanos o de construcciones prehispánicas como se da en muchos ejemplos de los edificios del centro.

Un aspecto que no se debe dejar pasar a la hora de la valoración es el del mantenimiento que el inmueble tiene, ya que en algunos casos se identifica de manera preponderante un daño mayor en las condiciones físicas debido a esta falta de mantenimiento. Muchas veces existen agrietamientos en elementos debido a la presencia de vegetación incrustada en los materiales de losas, muros y pisos.

## **2. Valoración del entorno físico y de colindancias en que se localiza el edificio.**

Para ir detectando casos específicos del comportamiento de los agrietamientos en los edificios, se puede valorar la condición en la que se encuentran edificios cercanos o colindantes al nuestro, de tal forma que este comportamiento puede determinar un comportamiento regional de hundimientos generalizados o puede quedar descartado éste; de manera alterna se puede ver la influencia de los edificios altos y sus cimentaciones.

De manera importante se debe verificar la presencia de restos de construcciones prehispánicas en este medio para analizar las tendencias de hundimiento y agrietamientos.

De ser posible se debe tener una muestra del tipo de suelo que tenga la cimentación, para analizar sus características más básicas.

## **3. Realización de calas en las cimentaciones, para determinar su composición.**

De ser posible, se debe determinar las condiciones en las que está la cimentación actual del edificio, para analizar los posibles efectos y comportamientos que ésta puede tener.

## **4. Investigación documental de los antecedentes del edificio.**

Esta elaboración es importante para detectar los cambios de uso que han tenido a lo largo de su historia, ya que muchos de los agrietamientos que se presentan en los edificios es por sobrecargas, por ejemplo en el Palacio de la Medicina se puede detectar una sobrecarga en los pisos superiores debido a la ubicación de las pesadas cargas de sus valiosos libros, encerrados en sus prestigiosas bibliotecas.

De ser posible se deben ubicar planos de antecedentes estratigráficos, en donde se detecten las condiciones del suelo y sus tendencias de consolidación para detectar su estado de compresión de cada capa.

Finalmente, se deben detectar las etapas constructivas de los edificios para valorar los efectos que estas alteraciones han tenido en el mismo, de tal forma que pueda ser una de las causas de los agrietamientos y no tanto debido a efectos del comportamiento del subsuelo.

**5. Ubicación de agrietamientos en muros, pisos, techos y otros elementos del inmueble, que se reflejen en uno o más planos de agrietamientos.**

Se debe elaborar de manera detallada las diferentes clases de agrietamientos que incluyan: dirección, espesor, trayectoria, continuidad entre los elementos estructurales, para completar los planos que sean necesarios, tanto en la parte de los pisos, muros y losas, ya que cada uno de estos planos nos servirá para determinar las condiciones en la que se encuentra un inmueble, así como a determinar si las trayectorias de agrietamientos son indicativas de alguna tendencia o no, y de las variaciones que se dan de un nivel a otro, de las condiciones y respuestas de los materiales localizados en cada caso y posiblemente de una tendencia de hundimiento.

**6. Elaboración de un plano de desplomos de elementos verticales del edificio.**

Este plano está determinado por la elaboración detallada de los desplomos de los elementos verticales. Como paso 1 se debe tener un nivel de gota de un metro como medida de referencia, en realidad se debe ajustar en un nivel de 1.20 metros. En el paso 2, el nivel se coloca en el elemento a revisar, ya sea muro o columna, en el extremo que sea conveniente, puede ser en el extremo superior o el inferior del nivel y se realiza el movimiento del nivel hasta que se logre mantener el nivel de las gotas en forma nivelada. Para el paso 3, se verifica la distancia que se tiene del elemento medido (muro o columna) con respecto al nivel de mano y esa relación en mm es el porcentaje que se tiene de desplomo de dicho elemento. Como paso final, se elabora la anotación de este punto de desplomo en el plano del edificio del nivel correspondiente que previamente se debe tener.

En algunas paredes, la superficie no es homogénea, por lo que no se puede apoyar el nivel de gota en esa cara del muro, dado que la medición no sería exacta. En casos así, se toma la superficie que presente un elemento más plano, para que la medición sea precisa.

La anotación de cada medición de desplomos dará como consecuencia un plano detallado de desplomos que puede servir de manera importante para ubicar también las tendencias de hundimiento del inmueble.

**7. Ubicación de las tendencias de hundimiento que están presentes en el inmueble.**

Con base a los datos obtenidos en los puntos 4 y 5, se puede lograr elaborar un plano de las tendencias de hundimiento del edificio, el cual nos determinará los daños que se pueden presentar en cada uno de los elementos del edificio. Este plano puede ser de mucha utilidad si es que se puede marcar una tendencia de hundimiento. De la misma forma se pueden identificar más de una tendencia de hundimiento, lo que puede servir de explicación a los efectos que estos producen en los elementos del inmueble a estudiar.

**8. Interpretación de resultados.**

Con estos elementos se puede tener una buena interpretación de los daños presentados en el edificio debido a los agrietamientos del mismo. Con este análisis se puede tener una muy buena aproximación al problema que presenta el edificio, que nos determinará un punto intermedio, en el que se pueden dar recomendaciones para atacar y solucionar el problema, si el análisis lo permite; o por el otro lado, detectar los estudios que se deben complementar para la elaboración de un diagnóstico más preciso. Entre estos estudios están: la elaboración de un estudio de desplomos con métodos equipos electrónicos o con elementos mecánicos más precisos; el estudio de mecánica de suelos de ser preciso; el estudio de la resistencia de los materiales involucrados en el estudio; y finalmente el estudio químico de las reacciones que tienen los elementos constructivos con la presencia del suelo, del agua y del aire.

**1.3. Marco Normativo Actual para considerar las Alternativas de Solución para el Hundimiento Diferencial.****Términos en los que se aborda el problema por las teorías de Restauración.**

Los orígenes de la Restauración se encuentran en Francia, manifestándose por vez primera tras la Revolución Francesa: el Gobierno de Convención afirma el principio de conservación de monumentos del pasado.

Con Eugene Viollet-le-Duc, se da unidad y cuerpo a todo el conjunto de ideas que se tenía respecto a la restauración. Toda su teoría la plasma en el concepto de "Restauración estilística", que resume en términos generales lo siguiente: "Restaurar un edificio no significa conservarlo, repararlo o rehacerlo, sino obtener su completa forma prístina, incluso aunque nunca hubiera sido así... Es preciso situarse en el lugar del arquitecto primitivo y suponer que cosa haría él si volviera al mundo y tuviera delante de sí el mismo problema". En Francia, hasta este momento se practicaba la restauración con escaso rigor y con una metodología muy pobre. Posterior a esta teoría está la de John Ruskin, que se resume en la "Restauración romántica", cuya argumentación está relacionada a mantener intacta la obra monumental, por lo tanto no tiene razón de ser la restauración como tal. En sus apreciaciones indica la conveniencia de dejar que un monumento quede en ruinas, ante la opción de su reconstrucción. Basa su teoría en la cuestión de que así como no se puede resucitar a un muerto, tampoco se puede restaurar el espíritu original de la concepción arquitectónica como tal.

Ante estas dos posiciones tan antagónicas surge la teoría de "Restauración romántica", del arquitecto italiano Camillo Boito, la que asume un tono mediador entre las dos posturas anteriores. Plantea la mínima intervención restauradora, admitiendo nuevas adiciones en casos extremos, con la condición de que se note la diferencia en estas adiciones respecto a la construcción primera. Se menciona que Boito es el pionero de la "Restauración científica". El arquitecto italiano establece en ocho puntos su tesis respecto a la restauración, lo que será la primera carta de restauro.<sup>1</sup>

A continuación Álvarez menciona los aspectos más relevantes en cuanto a la "Restauración de monumentos":

- Intervención mínima.
- Respeto de la autenticidad.
- Evidente diferenciación entre lo existente y lo restaurado.
- Rechazo de reglas generales, reconociendo la individualidad de cada restauración.
- Limitar las intervenciones a casos de verdadera necesidad.

---

<sup>1</sup> Álvarez de Buergo Ballester, Restauración de edificios monumentales. CEDES, Madrid.

Hasta aquí no se hace referencia del entorno natural del edificio respecto al suelo. Se plantea la integridad física del edificio y la no intervención del mismo, se pone especial interés en diferencias los elementos arquitectónicos como tal y no se aprecian cuestiones de identificación de causas de desajustes en la estructura debido a los hundimientos.

Es importante remarcar el aspecto del entorno natural, porque este trabajo plantea la necesidad de determinar los efectos que el suelo tiene en las construcciones.

Se necesita establecer un punto de partida, desde donde se pueda determinar las consecuencias que se tienen en un edificio cuando es afectado por el hundimiento; de tal forma que se pueda dar una interpretación cuantitativa de los daños que tiene un edificio debido a dicha problemática.

Desde este punto de vista, conviene establecer las bases por las que es necesario valorar las condiciones de un monumento y determinar las medidas adecuadas para tratar de revertir o cuando menos detener el daño que pueda estarle ocasionando el hundimiento.

A continuación se hace referencia a las Cartas Internacionales que se refieren a la Restauración Arquitectónica; las que no tocan mucho el aspecto de la condición del suelo en relación con la estructura del monumento.

### **Primera Carta Restauero 1883.**

Camilo Boito desarrolla en ocho puntos la forma en que se acepta una adición en un monumento y esta carta, que se presenta en el III Congreso de Arquitectos e Ingenieros Civiles de Roma en 1883, se asume como la primera Carta del Restauero.

1. Diferencia de estilo entre lo antiguo y lo nuevo.
2. Diferencia de materiales en sus fábricas.
3. Supresión de molduras y decoración en las partes nuevas.
4. Exposición de las partes materiales que hayan sido eliminadas en un lugar contiguo al monumento restaurado.
5. Incisión de la fecha de la actuación o de un signo convencional en la parte nueva.
6. Epígrafe descriptivo de la actuación fijada en el monumento.

7. Descripción y fotografías de las diversas fases de los trabajos depositados en el propio monumento, o en lugar público próximo (Condición sustituible por la publicación).
8. Notoriedad visual de las actuaciones realizadas.

Esta carta divide la restauración en tres grupos: la "arqueológica", de consolidación técnica y obligada acción mínima, la "pictórica", para edificios medievales en la que adquieren sentido los criterios románticos de respetar su condición antigua y pintoresca, y la "arquitectónica", para los edificios clásicos, en la que ha de atenderse a las cuestiones compositivas unitarias que la caracterizaron..

En esta carta se habla básicamente de la protección que se debe tener en los métodos de intervención en una restauración, y pone de base los aspectos a valorar. Como una primera interpretación de las intervenciones en monumentos, es lógico que se establezcan estos criterios y no se visualicen los problemas que los hundimientos generan.<sup>2</sup>

### **Carta de Atenas 1931.**

En ese año, la Sociedad de Naciones con sede en Ginebra, a través de la Oficina Internacional de Museos, tuvo una reunión en la que se establecieron los siguientes puntos importantes:

1. Prevención en la consolidación y reconstrucción.
2. Necesidad de respetar los conjuntos y perspectivas pintorescas, sobre todo en la proximidad de los monumentos antiguos.
3. Se recuerda que el colectivo tiene derechos y prescripciones ante la propiedad privada.
4. Conveniencia de utilizar los recursos tecnológicos disponibles.
5. Concierto de especialistas en torno al Patrimonio, en especial el "acercamiento de los arquitectos con los representantes de las ciencias físicas y naturales para lograr resultados seguros de cada vez mayor aplicación"
6. Importancia de la técnica de conservación en el tema arqueológico, pero que puede ser genéricamente extendido a todo tipo de Monumentos, precisando la estrecha colaboración entre el arqueólogo y el arquitecto. Distinción de las nuevas situaciones

---

<sup>2</sup> Álvarez, et.al.

evolutivas. “La obra afortunada restituirá los elementos originales encontrados, esto es, la anastilosis. Los materiales utilizados a tal fin deberán ser siempre reconocibles”.

7. Importancia del respeto a los monumentos y la utilidad de la documentación internacional mediante la publicación de inventarios y la constitución de archivos a nivel nacional y su difusión internacional.
8. “El empleo juicioso de todos los recursos de la técnica moderna, muy especialmente del concreto armado.”

En esta carta se puede mencionar un punto en el que se refiere al tema: en el punto cinco se habla de la intervención de especialistas en torno al Patrimonio, por lo tanto es necesario plantear como incluir estos especialistas en las áreas en las que se ve involucrado el Patrimonio, específicamente en el problema que se refiere a las condiciones del suelo, que en la ciudad de México es una determinante para evaluar los procedimientos a seguir en materia de intervención arquitectónica.

### **Carta italiana del Restauro, 1931.**

Fue redactada por Gustavo Giovannoni, se basa primordialmente en los conceptos vertidos en la Conferencia Internacional de Atenas del mismo año.<sup>3</sup>

### **Carta de Atenas, 1933.**

En 1933, el Comité Internacional de Arquitectura Moderna, elaboró un documento, publicado hasta 8 años más tarde por Le Corbusier de forma anónima.

De los 95 puntos de la Carta, se dedican al Patrimonio histórico de la ciudad solamente los seis últimos del apartado “Estado actual de las ciudades”.

Entre la Carta de Atenas del 33 y la Venecia de 1964 se han producido El tratado de Washington en 1935 (prevé que después de las guerras deben firmarse tratados de

---

<sup>3</sup> Álvarez, et.al.

---

---

salvaguardia del Patrimonio) y el Convenio de la Haya en 1954 (se acuña el Patrimonio y Objetos Culturales como Bienes Culturales).<sup>4</sup>

### **Carta de Venecia, 1964.**

Se elabora en 1964, en un intento de retomar los principios de la Carta de Atenas. La Restauración se define en este documento como una operación excepcional cuya finalidad es la de revelar los valores estéticos e históricos de un monumento, respetando los elementos antiguos y las partes auténticas diferenciando todo elemento añadido del resto.

También se hace referencia a la posible utilización de técnicas modernas, verificadas científicamente y siempre que las técnicas tradicionales sean inadecuadas; se hace hincapié en la realización de un plan de conservación permanente de los monumentos y la necesidad de documentación de todos los trabajos de restauración, conservación y excavación.

Las diferencias con la Carta de Atenas se refieren a distintas matizaciones. Una de ellas es en la que se define como monumento histórico, tanto la creación histórica, como el ambiente histórico y paisajístico que lo constituye.<sup>5</sup>

En la carta de Venecia de 1964, se hace mención a la posible utilización de técnicas modernas, verificadas científicamente, las que puedan ser utilizadas como alternativas de solución a una problemática específica. En materia de la intervención arquitectónica que se ha realizado en los últimos años en la ciudad de México, se han puesto en práctica nuevas técnicas que han tenido muy buenos resultados, especialmente en la consolidación de elementos estructurales y por lo tanto es importante contar con especialistas en la materia. Se debe fundamentar que en las evaluaciones realizadas para determinar las condiciones de un edificio, tanto físicas como estructurales se detecten problemas generados por el hundimiento diferencial de los suelos, de manera que sea requisito de evaluación la inclusión en alguna ficha de análisis respectivo.

En una parte del artículo 7 de esta carta, se menciona una parte que describe de manera importante el problema de los edificios asentados en el centro de la ciudad de México, dice: "El monumento es inseparable de la historia de la cual es testigo, y también del medio en el cual está situado.", esto sin duda alguna marca el medio natural en el que los edificios están

---

<sup>4</sup> Álvarez, et.al.

<sup>5</sup> Álvarez, et.al.

inmersos en la ciudad, por lo tanto es importante valorar la condición del suelo en cada análisis respectivo de los inmuebles, ya que en la mayoría de los casos, existen afectaciones importantes de manera directa debido al hundimiento diferencial de los suelos.

### **Carta del Restauro de 1972.**

El Ministerio de Instrucción Pública de Italia difunde en 1972 este documento, el que incluye varios apartados: arquitectura, pintura, escultura, arqueología, conjuntos monumentales, históricos o ambientales.

Se define la restauración en esta carta de la siguiente manera: "Cualquier intervención destinada a mantener en funcionamiento, a facilitar la lectura y a transmitir íntegramente al futuro las obras y los objetos definidos".

Se hace referencia a algunas prohibiciones relevantes:

- queda prohibido cualquier adición de estilo o analógica.
- sólo se admite la remoción o demolición de elementos que alteren los valores históricos o falsifiquen la obra.
- se prohíbe la remoción, reconstrucción o traslado a lugares diferentes de los originales.
- no deben alterarse las condiciones accesorias o ambientales del monumento, a no ser que las condiciones tradicionales se hayan perdido.
- queda prohibido eliminar o alterar las pátinas. Nunca se debe llegar a la superficie desnuda de los materiales.

Las intervenciones que si se permiten son las siguientes:

- se admiten aquellas adiciones, modificaciones o inserciones verificadas históricamente o que tengan una función soportante, siempre y cuando queden claramente diferenciadas como adiciones, y que no supongan alteración cromática o de los materiales.
- pueden realizarse anastilosis que estén fielmente documentadas.

Toda intervención que se realice deberá documentarse de un reporte fotográfico, antes y después de la misma, así como cualquier investigación y análisis eventual.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Álvarez, et.al.

---

---

## **Recomendación sobre la Protección, en el Ámbito Nacional, del Patrimonio Cultural y Natural.**

**París, 1972.**

Este documento establece los lineamientos para que las naciones participantes adopten todos los criterios fundamentales bajo sus marcos legales y normativos para la conservación del patrimonio cultural y natural.

Para la aplicación estricta del planteamiento de este trabajo, en el punto 9 de los principios generales, se establece lo siguiente:

“9. Se desarrollará una política activa de conservación del patrimonio cultural y natural, en la vida colectiva. Los Estados Miembros habrán de emprender una acción concertada de todos los servicios públicos y privados interesados con objeto de formular esa política y de aplicarla. Las medidas de carácter preventivo y correctivo referentes al patrimonio cultural y natural se habrán de completar con otras que tiendan a dar a cada uno de los bienes de ese patrimonio una función que lo integre en la vida social, económica, científica y cultural, presente y futura del país, función compatible con el carácter cultural y natural del bien considerado. La acción emprendida para proteger el patrimonio cultural y natural habrá de poder aprovechar los progresos científicos y técnicos de todas las disciplinas relacionadas con la protección, la conservación y la revalorización del patrimonio cultural o natural.”

De la misma forma, se establece la intervención de todos los especialistas involucrados en el tema, de tal forma que la participación de cada especialista, fortalezca la propuesta de intervención de los monumentos.

En 1974 con la declaración de Bolonia, se establecen los principios de conservación total.<sup>7</sup>

### **Carta europea del Patrimonio Arquitectónico de 1975.**

Dicha carta fue adoptada por el Comité de Ministros del Consejo de Europa y proclamada solemnemente en el Congreso sobre Patrimonio Arquitectónico Europeo, celebrado en Ámsterdam. Por iniciativa del Consejo de Europa se declara a 1975, el Año Arquitectónico Europeo.

---

<sup>7</sup> Álvarez, et.al.

Se redacta dicho documento, cuyo objetivo es alcanzar una mayor unidad entre sus miembros con el propósito de salvaguardar y tomar conciencia de los ideales y principios que constituyen su patrimonio común. Es en esta carta donde aparece el concepto de "conservación integrada". Este concepto ha dado lugar a diversos estudios sobre las relaciones entre ordenación y conservación, los costos de restauración y la compatibilidad de las características arquitectónicas de los edificios antiguos con las construcciones modernas y con las normas de habitabilidad y seguridad requeridas hoy en día.<sup>8</sup>

### **Recomendaciones de Nairobi, 1976.**

Este documento está referido a la conservación, restauración y rehabilitación de los conjuntos con valor histórico en todos los ámbitos: monumental, urbano o rural. Este documento elaborado por la UNESCO, menciona de manera importante los siguientes puntos:

"1. A efectos de la presente recomendación:

a) Se considera "conjunto histórico o tradicional" todo grupo de construcciones y de espacios, incluyendo a los sitios arqueológicos, que constituyan un asentamiento humano, tanto en medio urbano como en medio rural, cuya cohesión y valor son reconocidos del punto de vista arqueológico, arquitectónico, prehistórico, histórico, estético o sociocultural.

Entre estos "conjuntos" que son muy variados pueden distinguirse en especial los lugares prehistóricos, las ciudades históricas, los barrios urbanos antiguos, los pueblos y aldeas así como los conjuntos monumentales homogéneos, entendiéndose que estos últimos deberán por lo común ser conservados en toda su integridad.

c) Se entiende por "salvaguardia" la identificación, la protección, la conservación, la restauración, la rehabilitación, el mantenimiento y la revitalización de los conjuntos históricos o tradicionales y de su medio."

Es importante mencionar el aspecto relativo al mantenimiento de los conjuntos históricos, en este caso, se debe ver la pertinencia que este punto tiene en el presente estudio, dado que la propuesta de realizar mantenimiento a los edificios inmerso dentro del conjunto histórico, es primordial."

---

<sup>8</sup> Álvarez, et.al.

Y al respecto a las medidas jurídicas y administrativas en su punto 17, inciso b menciona la participación de diversos especialistas:

“b) Los planes y documentos de salvaguardia se deberían preparar después de haberse efectuado todos los estudios científicos necesarios por equipos pluridisciplinarios compuestos, en particular, de:

especialistas en conservación y restauración, incluidos los historiadores del arte;

arquitectos y urbanistas;

sociólogos y economistas;

ecólogos y arquitectos paisajistas;

especialistas en sanidad pública y bienestar social;

y, en general, de todos los especialistas en disciplinas relacionadas con la protección y ordenación de los conjuntos históricos (o tradicionales);”

Dado el problema que engloba al centro histórico de la ciudad de México, debido al hundimiento diferencial de los suelos, es pertinente mencionar otros puntos mencionados en este documento, dada la pertinencia del caso, en las Medidas técnicas, económicas y sociales, se mencionan los siguientes puntos:

“19. Debería hacerse un análisis de todo el conjunto, incluida su evolución espacial, que integrase los datos arqueológicos, históricos, arquitectónicos, técnicos y económicos. Debería establecerse un documento analítico encaminado a determinar los inmuebles o los grupos de inmuebles que deben protegerse cuidadosamente, conservarse bajo ciertas condiciones, o, en ciertas circunstancias destruirse, lo que permitiría a las autoridades suspender todos los trabajos incompatibles con esta Recomendación. Además, debería establecerse, con ese mismo fin, un inventario de los espacios abiertos, públicos y privados, así como de su vegetación.

20. Además de esta investigación arquitectónica, se necesitan estudios detallados de los datos y las estructuras sociales, económicas, culturales y técnicas, así como del contexto urbano o regional más amplio. Estos estudios deberían incluir, de ser posible, datos demográficos y un análisis de las actividades económicas, sociales, y culturales, los modos de vida y las relaciones sociales, los problemas del régimen de propiedad del suelo, la infraestructura urbana, el estado de las vías urbanas, las redes de comunicación y las relaciones recíprocas entre la zona protegida y las zonas circundantes. Las autoridades competentes deberían atribuir suma

importancia a esos estudios y comprender que sin ellos no cabe establecer planes válidos de salvaguardia."

Finalmente, menciona un punto importante en cuanto al apartado IV. Investigación, enseñanza e información:

"48. Los Estados Miembros y todas las colectividades interesadas deberían fomentar las investigaciones y los estudios sistemáticos sobre:

- los aspectos urbanísticos de los conjuntos históricos (o tradicionales) y de su medio;
- las interconexiones entre salvaguardia, urbanismo y planificación del territorio;
- los métodos de conservación aplicables a los conjuntos históricos;
- la alteración de los materiales;
- la aplicación de las técnicas modernas al trabajo de conservación;
- las técnicas artesanales indispensables para la salvaguardia."

Este documento refleja lo que debe regir en el tratamiento de los espacios históricos y monumentales, con la finalidad única de su revitalización.

### **Carta Sobre el Turismo Cultural**

**Bruselas, Bélgica. 1976.**

Este documento establece los principios elementales sobre los que se entiende el turismo cultural. Establece las normas para que se conserven dichos sitios culturales y se protejan de la degradación implícita con la presencia de dicho turismo. Se debe procurar que el turismo cultural tenga un crecimiento anárquico.

### **Coloquio de Quito de 1977.**

En él se recuerda que el Patrimonio debe ser conservado como alternativa de experiencia en lo referente a :

- Conjunto y asentamientos humanos del pasado.
- Los pueblos, aldeas o ciudades.
- Por sí mismos o por el acervo común de los que lo habitan.

Define como centros históricos aquellos asentamientos humanos, vivos, fuertemente condicionados por una estructura física proveniente del pasado, reconocibles, como representativos de la evolución de un pueblo. Como tales se comprenden tanto los asentamientos que se mantienen íntegros, desde aldeas a ciudades, como aquellos que a causa de su crecimiento constituyen hoy parte o partes de una estructura mayor.

Los centros históricos, por sí solos y por el acervo monumental que contienen, representan no solamente un valor cultural, sino también económico como social.

No sólo son patrimonio cultural de la humanidad, sino que pertenecen en forma particular a todos aquellos sectores sociales que lo habitan. Es decir, el verdadero monumento es el ciudadano.

Posteriormente, en 1982, se redacta la Carta de Berlín, valorando la dimensión humana en la gestión y el Patrimonio como valor de aportaciones científicas, lo que hoy se ha llamado ya, trabajo pluridisciplinar.<sup>9</sup>

#### **Carta de los Jardines Históricos y Paisajes, o Carta de Florencia, 1982.**

Este documento está básicamente relacionado a la salvaguardia de los jardines históricos, que en este caso no se relaciona de manera tan directa con el trabajo actual.

#### **Convenio de Granada de 1985.**

Suscrito por los miembros del Consejo de Europa, tiene por objeto la protección jurídica de las obras monumentales frente a todo tipo de agresiones y establece los mecanismos de preservación y conservación.

#### **Documento de Nara, 1994.**

Básicamente lo podemos resumir en lo establecido en el siguiente artículo:

---

<sup>9</sup> Álvarez, et.al.

“3º. El documento de “Nara sobre la Autenticidad”, es concebido en el espíritu de la “Carta de Venecia de 1964”; sobre ésta, el documento constituye una ampliación conceptual. El patrimonio cultural se sitúa en un lugar importante en todas las sociedades.”

El presente trabajo está encaminado a interpretar las condiciones de los hundimientos en el centro histórico y determinar acciones para intervenir los edificios que presenten mayores daños, por lo que conviene determinar las condicionantes para poder incidir en este rescate y definir las acciones que se deben atender para la correcta ejecución de trabajos de recuperación de edificios.

En términos generales no se establece claramente el papel de la evaluación que se debe hacer a todo monumento en relación al problema del hundimiento diferencial de los suelos. Es importante plantear dicha forma de evaluación para determinar la condición estructural de un edificio dado los hundimientos y las tendencias de hundimiento de la zona. Se debe incluir la participación de especialistas en materia de suelos, principalmente en zonas como la de la ciudad de México. En la normatividad actual referente a como intervenir un monumento no se han establecido los parámetros de evaluación de una intervención en el aspecto el subsuelo interactuando con el edificio o monumento. Es importante fundamentar este análisis dado la urgencia de valorar adecuadamente un monumento dadas las condiciones del suelo y las condiciones estructurales del mismo.

En la carta de Atenas de 1931, y en las recomendaciones de Nairobi de 1976, se pone énfasis en la inclusión de especialistas de todas las áreas que participen en la intervención de monumentos históricos. Esto sin duda identifica que de la participación de los especialistas en todas las áreas, saldrá una mejor propuesta de conservación de un monumento.

Bajo estas premisas, es que se debe anexar un análisis de las condiciones del inmueble dado los efectos de los hundimientos diferenciales del suelo, principalmente en el centro histórico de la ciudad de México.

Para esto, simplemente se debe mencionar que en las fichas que actualmente usa el INAH, para obtener información y clasificar los inmuebles del centro histórico de la ciudad de México, no incluye ningún dato de las condiciones del inmueble de acuerdo a su entorno natural, respecto al suelo, ni la consignación de datos estratigráficos del inmueble o de los inmuebles cercanos, para verificar esto se analiza la ficha del Templo y Ex convento El Carmen.



Templo  
y Ex  
convento  
El  
Carmen

LOCALIZACIÓN	
Número de clave	090011890044
Estado	Distrito Federal
Municipio	Álvaro Obregón
Localidad	San Ángel
Colonia	San Ángel
Calle y núm.	Revolución 2
Otra localización	Esquina Monasterio
IDENTIFICACIÓN	
Nombre del conjunto	Templo y Ex convento El Carmen
Uso original	Templo, colegio, claustro, capillas y anexos
Uso actual	Templo, museo, oficinas
Época de construcción o modificación	Siglos XVI-XX

#### ASPECTOS LEGALES

Régimen de propiedad: Federal

#### DATOS HISTÓRICOS



*Documentales:*

La mística doctora Santa Teresa de Jesús fue quien inspiró a fray Gerónimo Gracián de la Madre de Dios, provincial de la Reforma Teresiana del Carmelo, a enviar frailes de esa orden para la nueva fundación y para la evangelización de los naturales de la Nueva España.

Se nombró comisario a fray Juan de la Madre de Dios acompañado de 11 frailes, los cuales se embarcaron en San Lucar de Barrameda el 11 de julio de 1585, tomando puerto en San Juan de Ulúa el 27 de septiembre siguiente.

En ese mismo año llegaron los carmelitas a la ciudad de México, al convento de San Sebastián Atzacolco administrado entonces por los franciscanos, quienes lo cedieron a aquéllos a fin de que fundaran un convento; poco después siguieron los conventos de Puebla y Atlixco. En la provincia de San Alberto se fundaron los conventos de Valladolid, Guadalajara y Celaya, entre otros.

En mayo de 1597, los esposos Andrés Mondragón y Elvira Gutiérrez les ceden las huertas de Chimalistac. La fundación del colegio se hace oficialmente en 1613. Fray Rodrigo de San Bernardo, provincial de la Orden, encargó a fray Andrés de San Miguel la elaboración de los planos del convento.

Fray Andrés de San Miguel fue “uno de los hombres de ciencia más notables de su tiempo: insigne matemático, geógrafo, hidrógrafo y astrónomo, sobresalía todavía más como arquitecto; numerosas edificaciones suyas, en diversos puntos del país [...] dan fe de sus grandes dotes de hábil constructor”.

De este modo, fray Andrés elaboró los planos que le encomendó su superior y el 29 de junio de 1615 se colocó la primera piedra del colegio y del monasterio que estaba destinado a ser uno de los más importantes y hermosos de la Nueva España.

Las obras de la construcción del colegio duraron dos años bajo la dirección de fray Andrés, quien tuvo a su cargo 116 alarifes. El templo se empezó a construir en 1624, se puso bajo la advocación de San Ángel Mártir, nombre que poco a poco fue adquiriendo el poblado de San Jacinto Tenanitla.

Para el año de 1633 doña Ana Aguilar y Niño donó parte de sus propiedades a los carmelitas, a condición de que le cedieran el patronato de la iglesia y quedara como titular Santa Ana.

Sin embargo, la población no aceptó el nombre de Santa Ana y siguió refiriéndose al convento, e incluso a la población de San Jacinto, con el nombre de San Ángel o San Ángel, debido a que el convento de los carmelitas incrementaba las actividades sociales y económicas de la zona, hecho que le daba más vida y animación a la localidad.

Sus límites, según Fernández del Castillo, eran “desde Chimalistac hasta la Plaza del

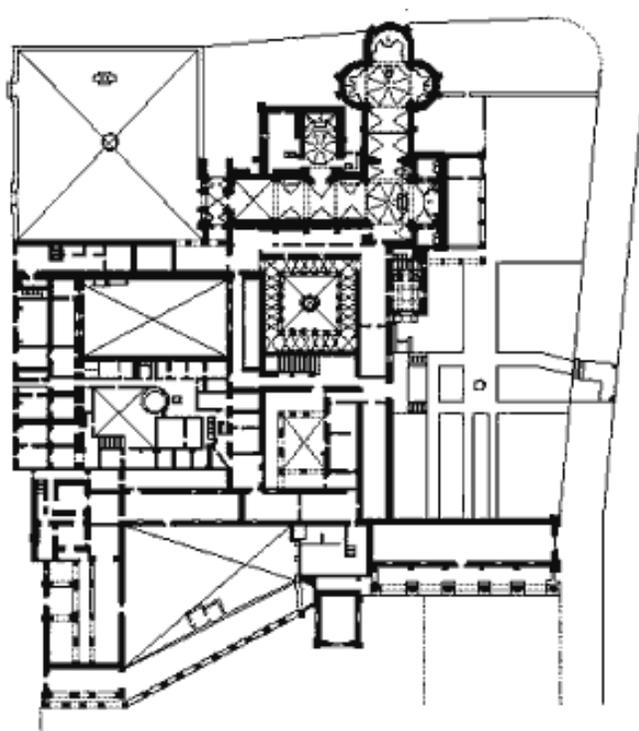
Carmen, ahí daba vuelta hasta la puerta de la iglesia a seguir frente al actual palacio municipal, torcía a la hoy calle de Porfirio Díaz a dar vuelta casi hasta la Plaza de San Jacinto (pues adelante de la barda de la huerta había una hilera de accesorias y la casa del Ayuntamiento), seguía hasta el puente de Loreto, torcía por el pedregal a dar vuelta hasta Chimalistac y San Jacinto; la cerca de la parte del pedregal al sur no limitaba todo lo que le correspondía, y, sin embargo, lo que formaba la huerta, el Convento y dependencias, etc., tenía una extensión de más de una legua y media de circunferencia, todo bardeado con una pared de cinco varas de alto por término medio”.

Por esta gran extensión de terreno cruzaban los ríos Chico y de la Magdalena, lo que permitió la construcción de represas y puentes, así como la prosperidad de la huerta, que llegó a tener más de 13,000 árboles frutales de diversas especies. Conocida como la capilla de “El Señor de Contreras”. Cuando, en 1856, el padre Rafael Checa fraccionó y vendió una parte de la huerta del convento, se dividió en terrenos de 36 varas de frente por 200 de fondo.

Desde el 7 de julio de 1921 el Convento de El Carmen se destinó a la SEP para instalar un museo dependiente del Instituto Nacional de Antropología e Historia, y el templo, de propiedad federal, está abierto al culto católico.

Una parte del convento pertenecía en esa época al Ayuntamiento; después sirvió para cárcel municipal (cuartel de gendarmería) y para bodegas de limpia del Distrito Federal.

Fue sede de la Sociedad Mexicana de Arquitectos Restauradores y del Instituto de Investigaciones para la integración Social del Estado de Oaxaca y finalmente se destinó al INAH, donde actualmente se encuentra el Departamento de Etnología y Antropología Social y el Museo de El Carmen.



El Templo y el Ex convento del Carmen se declararon monumento histórico el 7 de abril de 1932. Algunos elementos que conformaban los conventos carmelitas a partir de la Leyes de Reforma fueron expropiados, por lo que, más tarde, pasaron a manos de particulares y otros quedaron fuera del convento, como la Cámara del Secreto y el Pórtico de Recreación y Aljibe, que son de propiedad federal.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Fernández del Castillo, Francisco, Apuntes para la historia de San Ángel (San Jacinto Tenanitla) y sus alrededores, tradiciones, historias, leyendas, Imprenta del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología, México, 1913.
- Conde y Díaz Rubín, José Ignacio, "El Convento del Carmen de San Ángel", en Ciudad de México y sus Villas San Ángel y Tlacopac, Artes de México, núm. VII, México, 1969.

- Puig, Juan, La arquitectura carmelitana en San Ángel.
- Archivo Geográfico de la CNMH.

## OBSERVACIONES



Imponente conjunto conventual, obra del eminente arquitecto carmelita fray Andrés de San Miguel. No obstante haber sido dividido en varias partes y haber perdido casi la totalidad de la huerta por la apertura de las avenidas de los Insurgentes y Revolución, este conjunto todavía conserva gran parte de sus elementos originales y aún se le puede admirar en toda su magnificencia.

Actualmente está formado por el atrio, cargado hacia la esquina norte, el cual antecede al templo; su barda aún contiene dos sobrias portadas que ostentan el escudo papal en cartelas.

En el interior, en tres de sus esquinas, existen nichos de paños labrados en relieve con formas de lacerías geométricas y venera superior, para posar la imagen de un santo. Al centro de este atrio jardinado hay una fuente de piedra de planta mixtilínea y en un extremo se levanta la cruz atrial.

El templo, ubicado al norte del conjunto, cuya nave mira al poniente, tiene dos capillas dispuestas perpendicularmente: la Capilla Sabatina y la Capilla de Jesús Nazareno con sus importantes lienzos.

Su fachada principal es de estilo herreriano, y son notables su espadaña y las tres cúpulas revestidas de azulejos que coronan el inmueble. Actualmente está abierto al culto católico (véase la ficha 090011890045).

El convento se ubica al costado sur del templo y conserva gran parte de sus áreas y espacios originales. Lo ocupa actualmente el Museo de El Carmen del INAH, en lo que fueron principalmente dependencias como la portería, sala capitular, claustro principal, sacristía, antesacristía con su área de lavabos y en el sótano las criptas.

En planta alta se encuentran las celdas, la biblioteca y la Capilla Doméstica; tiene otro patio conocido como el de "los naranjos", donde se encuentra el refectorio y anterrefectorio (véase la ficha 090011890046).

Sobre la avenida Revolución, marcada con el número 7, una parte del convento está ocupada por las oficinas del museo (ver ficha 090011890049). Otras secciones del convento que fueron parte de sus antiguas dependencias y que son contiguas a estas oficinas, son el ahora inmueble marcado con el número 1734, que actualmente es utilizado como set cinematográfico (véase la ficha 090011890050).

Y al lado de este inmueble se encuentra lo que fue una casa, de mayores dimensiones que

el anterior, actualmente sin uso, a cargo de Servimet, y marcado con el número 1736, el cual conserva en uno de sus extremos parte del acueducto que surtía de agua al aljibe con el que se regaba la huerta del convento (véase la ficha 090011890051).

Sobre la calle de Monasterio número 30 existe otra sección del convento ocupada por oficinas de Televisa (véase la ficha 090011890043).

Dos elementos importantes del conjunto quedaron sobre la acera poniente de la avenida Revolución, siendo el aljibe o depósito de agua con el que se regaba la huerta del convento la actual Casa de la Cultura Jaime Sabines (véase la ficha 090011890052), y lo que fue el pórtico de recreación del aljibe es ocupado por un Centro de Desarrollo Infantil (véase la ficha 090011890042).

### **BIENES MUEBLES**

Pese a las modificaciones sufridas a través del tiempo, el Ex convento del Carmen conserva en buen estado algunos de sus componentes y mobiliario.

Entre ellos podemos mencionar el artesanado que decora el techo de la sacristía, de clara influencia mudéjar, además de varios muebles, esculturas y pinturas, obras realizadas por notables artistas de la época virreinal.

Entre estos últimos cabe mencionar los lienzos de Cristóbal de Villalpando, ubicados en la sacristía. Otros pintores que contribuyeron a la colección del actual Museo de El Carmen son Juan B Herrera y Juan Correa

Cabe mencionar que en esta ficha no se menciona en ningún momento el entorno físico del inmueble, así como tampoco los antecedentes y condiciones estratigráficas imperantes, en parte puede ser a que no está directamente enmarcado en el centro de la ciudad, pero el inmueble debe tener estas referencias para tener la mejor información de todos los aspectos y poder tomar soluciones más rápidas en caso de daños físicos importantes.

Para que se incluyan datos tan importantes para entender el comportamiento de los edificios con afectaciones de hundimientos diferenciales, se debe pugnar para que se incluyan datos de condiciones estratigráficas, de antecedentes estratigráficos, así como de la presencia de restos de construcciones prehispánicas, pues de otra forma nunca se podrá tener completo el panorama que está influyendo en un edificio y por lo tanto faltarán elementos para considerar en las propuestas de solución que se adopten. Para que esta información sea considerada se debe hacer la propuesta tanto al INAH como al INBA, en la Reglamentación respectiva para cualquier

caso de restauración de edificios patrimoniales localizados en el centro histórico de la ciudad de México, así como en lugares que presenten condiciones parecidas al medio en que se encuentran los edificios del centro. De no hacerse con estas instituciones, se puede llegar al caso de invertir en restauraciones que estén encaminadas al fracaso al largo plazo, debido a las tendencia de hundimiento tan alarmantes que se están presentando en la ciudad de México.



Fig. 1.1 Edificio del Antiguo Palacio de Medicina. Fuente propia.

De la misma forma, Patrimonio Universitario de la UNAM, debe implementar de manera sistematizada esta Reglamentación, para sus edificios localizados en el centro de la ciudad, ya que algunos de ellos son de los más aquejados por estos problemas de hundimientos diferenciales y de la forma en que se trabaje en cada caso dependerá la solución más adecuada.

Como una propuesta de trabajo se puede trabajar en una programación de las intervenciones que deben realizarse en cada caso, dependiendo de las condiciones actuales de agrietamiento y

de las condiciones de su entorno y de las tendencias de hundimiento, para eficientar su programa de mantenimiento a sus inmuebles, así como de sus erogaciones en este rubro, es decir que en una primera etapa se trabaje con edificios cuya intervención debe ser mayor, abarcando desde los elementos de muros, losas, columnas, etc., hasta la intervención de la cimentación o el subsuelo; para en una segunda se trabaje con elementos de muros, pisos, columnas, losas, etc., y en una tercera y última en donde se intervenga de manera superficial los elementos, casi de manera estética, debido a los pocos daños que tenga en su estructura.

Finalmente, se debe trabajar en el monitoreo constante de los inmuebles a través de nivelaciones periódicas que detecten movimientos de hundimientos de manera significativa y que permitan diseñar estrategias de intervención y de mitigación de daños estructurales en los edificios.

Dados los pronósticos de hundimientos diferenciales que se presentarán en el centro histórico de la ciudad de México, este es el camino más seguro para enfrentar este gran reto que involucrará a los arquitectos y como lo dicen la carta de Atenas y las recomendaciones de Nairobi a todos los especialistas involucrado en esto: restauradores, arqueólogos, ingenieros, químicos, y en este caso en especial, a los profesionales en Mecánica de Suelos.



Fig. 1.2 Edificio del Antiguo Palacio de Medicina. Daños en los pisos del primer nivel, donde se presentan agrietamientos fuertes. Fuente propia.

# **II Análisis del problema del hundimiento en algunos edificios del Centro Histórico de la ciudad de México.**

---



Como parte central de este trabajo, se hace el análisis de varios edificios que se encuentran localizados en el centro histórico de la ciudad de México; en primera instancia se trataba de un trabajo más extenso en relación al número de edificios a estudiar, pero paulatinamente se revisaron solamente seis pertenecientes a la UNAM.

Como un antecedente a este trabajo, se tomó el análisis que el Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, hizo respecto a la condición física y estructural de los edificios de la UNAM en el centro histórico, en la que determinó una apreciación respecto a las condiciones vistas en dicho estudio.

Así de esta manera podemos resumir que dicho análisis determinó en su momento el estado de los edificios en cuanto a su condición física, estructural.

Este estudio contempla los edificios de la UNAM, en este perímetro, los cuales son 21 en su totalidad y la clasificación que se tiene de ellos en relación a su estado físico los clasifica desde un estado en ruinas hasta un estado muy bueno.

A continuación se presenta dicha relación:

No.	Dependencia	Uso actual	Estado
1	Facultad de Ingeniería y Palacio de la Minería	Estudios superiores y Educación Continua	Entre Muy bueno y Bueno
2	Real Seminario de Minas	Museo de la Minería	Entre Bueno y Regular
3	Facultad y Palacio de Medicina	Administración, Académico y Cultural	Entre Bueno y Regular
4	Excarceles de la Perpetua	Administrativo	Entre Malo y Ruinas
5	Secundaria	Vacío	Regular
6	Protomedicato	Vacío	Entre Bueno y Regular
7	Escuela Nacional de Artes Plásticas	División de Educación Continua de Posgrado	Malo
8	Real Academia de Bellas Artes de San Carlos	División de Educación Continua de Posgrado	Malo
9	Talleres de restauración de San Carlos	Talleres de Restauración y Mantenimiento	Entre Muy bueno y Bueno
10	Facultad de Derecho y Antigua Escuela de	Académico, Estudios Superiores, Educación	Entre Regular y Malo

	Jurisprudencia	Continua	
11	Palacio y Facultad de Odontología.	Vacío	Entre Malo y Ruinas.
12	Antiguo Colegio de San Ildefonso y Coordinación de Difusión Cultural	Museo (comodato).	Entre Bueno y Regular
13	Pabellón de Artesanías	Comercio - Restaurante	Entre Regular y Malo
14	Dirección General de Preparatorias y Antiguo Anexo Preparatoria No. 2. Difusión Cultural E.N.P.	Cultural, Administrativo, Bodega.	Entre Regular y Malo
15	Dirección General de Actividades Cinematográficas	Administrativo	Malo
16	Depósito de Filmoteca	Bodega de películas	Malo
17	Instituto de Investigaciones Bibliográficas y Antigua Biblioteca Nacional de San Agustín	Museo del libro	Malo
18	Ex Hemeroteca de San Pedro y San Pablo	Museo de la Luz	Bueno
19	Facultad y Palacio de Economía	Académico, Administrativo	Entre Regular y Malo
20	Real y Pontificia Universidad de México	Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad	Entre Bueno y Regular

Cabe mencionar que de acuerdo a este análisis, se da cuenta del estado de los edificios de hace unos cuantos años, por lo que esta información ubicaba al ahora Palacio de la Autonomía, en un estado casi de ruinas, por lo que después de la restauración puede decirse que se clasificaría en un estado Muy Bueno bajo este criterio de valores utilizados. El mismo criterio se puede establecer para el Palacio de Economía, que tuvo un proceso de restauración que lo dejó en buenas condiciones.

Es importante mencionar que este criterio también establece un estado Malo para la Academia de San Carlos, siendo que un análisis que se presenta más adelante, no se ve en tan malas condiciones.

Al tener este estudio realizado por la misma dependencia de la UNAM, se establece el Programa para realizar las mediciones de grietas y desplomes de algunos edificios, de los que al

final del mismo no se incluyó al Palacio de la Minería y al Antiguo Colegio de San Ildefonso, mismos que estaban considerados para abarcar en este trabajo.

Una de las razones para que no se abarcaran estos edificios fue la gran cantidad de tiempo que se perdió en el proceso de tramitar permisos ante autoridades de algunos edificios, como en el caso de San Carlos, en San Ildefonso sucedió lo mismo en la parte de la zona de la Sala Fósforo, donde no se pudo obtener un apoyo decidido para elaborar este trabajo.

Algunos otros inconvenientes se sumaron para que la meta inicial no se cumpliera, uno de ellos fue la falta de apoyo de alumnos de Servicio Social de las Facultades de Arquitectura e Ingeniería, mismos que harían la elaboración de los levantamientos más rápidos.

La muestra de edificios hecha, sin embargo es buena, ya que se pudieron identificar casos muy importantes en cada uno de los edificios analizados.

La clasificación que se presenta en la parte anterior, puede modificarse de alguna forma con este trabajo, pero de manera fundamental se pueden establecer criterios de clasificación más específicos, en donde se establezcan relaciones directas entre condiciones físicas estructurales y como las tendencias de hundimiento podrían influir en su comportamiento inmediato.

Para realizar este estudio se establece entonces la forma de evaluar los edificios con la metodología establecida en el capítulo anterior, por lo que se realizó el levantamiento de los siguientes edificios:

1. Palacio de Economía.
2. Palacio de Medicina.
3. Ex cárceles de la Perpetua.
4. Protomedicato.
5. Secundaria.
6. San Carlos.
7. Anexo de San Carlos
8. Edificio del PUEC.
9. Palacio de la Autonomía.

---

---

Una vez establecidos los criterios para analizar estos edificios, se presentan los resultados de los mismos a través de las fichas determinadas.

Para abordar los datos históricos se tomaron en cuenta algunos formatos establecidos en las fichas de catalogación de la Dirección General del Patrimonio Universitario de la UNAM.

En la etapa de realización de este trabajo algunos de los inmuebles se encontraban en trabajos de restauración por lo que no fue posible realizar los levantamientos de agrietamientos y desplomos de éstos. En los edificios que si fue posible realizar esta labor se anexan planos que establecen las grietas y desplomos del edificio. En algunos otros edificios las condiciones de estos, casi en ruinas no permitían realizar este análisis.

Es importante señalar que las condiciones que presentaron algunos, tienen clara influencia de la presencia de restos prehispánicos, como lo indican las 9 ventanas arqueológicas localizadas en algunos edificios del centro<sup>1</sup>.

Esta influencia tiende a ser cada vez más dañina para los inmuebles, ya que existe el fenómeno de la precompresión al suelo establecido por estos edificios y la diferencia de hundimiento entre un suelo natural y la superficie o base piramidal.

Al estar en contacto con este tipo de casos, nos encontramos que algunos tienen aparte de todos estos, la presencia de agua que afecta la cimentación, como en el caso del Palacio de Medicina, en el que una corriente constante de agua se filtraba a sus cimientos y no era un manantial que salía de este sitio, como muchos mencionaban, sino que era una fuga de agua de la red de agua potable de la ciudad. Es importante mencionar éste tipo de casos ya que en verdad este efecto puede ser el que esté afectando de manera paulatina en el inmueble y no se puede establecer claramente la causa.

---

<sup>1</sup> La Jornada, marzo de 2007.

<b>Antigua Escuela de Economía.</b>	Época: s. XX
Ubicación: Cuba No. 92, Centro Histórico, D.F.	
Observaciones:	

Uso actual: Asociación de Ex- Alumnos de la Facultad de Economía de la UNAM.	Fecha uso actual: 2006
--	------------------------

**SITUACIÓN LEGAL:** Adquirido por la UNAM en 1988. La Asociación de Ex-Alumnos lo restauró con recursos propios y con los del Fondo para el Fortalecimiento Patrimonial para la restauración de la azotea. Existe un Comodato para su uso a favor de la UNAM.

<b>DATOS FÍSICOS:</b>			
Superficie Terreno:	812.0 M <sup>2</sup>	Niveles:	03
Superficie	2018.0 M <sup>2</sup>	Valor	avalúo:
Construcción:			
<b>Estado de Conservación:</b> En proceso de restauración al 100 %.			
Fecha última de intervención: 1994-1998. Septiembre del 2000. 2003.			
Prioridad de atención: 02.		Potencial de uso: Alto.	
Porcentaje de uso actual: 90% (existe oficina de Educación Continua que ocupa un 5% del área total de edificio).			
<b>Observaciones:</b> Se realizaron trabajos actividades de restauracion integral en difrentes áreas. La restauración fue terminada en su totalidad excepto la azotea restaurada en junio de 1998. En el 2000 restauró la escalera de madera ubicada en la parte norte del edificio y el vitral del cubo de la escalera.			

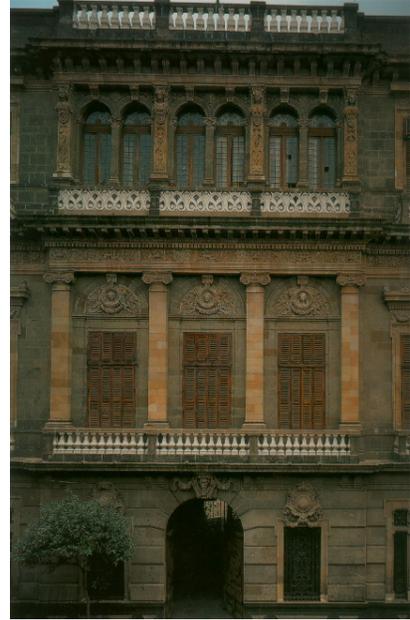
<b>Características Constructivas:</b>
Estructura: Muros de materiales mixtos.
Techumbres: Viguería sustituda en algunas partes por sistemas contemporáneos.
Ornamentación: Fachada monumental de estilo ecléctico del siglo XX, profusión de estucados, tapices, vitrales.
Características Especiales: Inmueble de alto valor arquitectónico.
<b>Requerimientos de intervención:</b> En proceso de restauración en la etapa terminal del proyecto de adecuación. Supervisión INBA/UNAM. En 1998 se realizó la restauración de la azotea con base a la sustitución del acabado final y la impermeabilización. Por otra parte en este mismo año se realizó un levantamiento físico por medio de la participación institucional de la Facultad de Arquitectura y la Dirección General de Patrimonio.
<b>Bienes Artísticos:</b>
<b>Pintura Mural:</b> Pintura mural decorativa.
<b>Bienes Muebles:</b>
<b>Vitrales:</b> Vitrales decorativos emplomados de la época.
<b>Otros:</b> Escalera metálica, elevador.

**Contexto Urbano:** De grán valor histórico ambiental. Zona declarada patrimonio de la humanidad. (UNESCO). Operan restricciones federales (INAH) por su ubicación. Supervisión del INBA, en virtud de ser posterior a 1899.

Otros Datos:



**Croquis de localización**



**Fachada Principal**



**Detalle del Patio Principal**

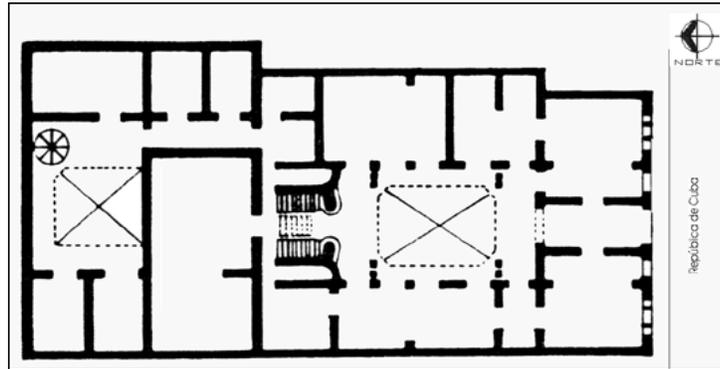


**Vista de la Escalera Principal desde el Acceso**

	
<p>Detalles de los trabajos de sustitución de piso en el primer patio</p>	<p>Detalle de la estructura de mampostería en muros. Vista de los trabajos de electricidad.</p>
	
<p>Detalle de las ménsulas que soportan al pasillo superior, las que presentan grietas en la zona superior.</p>	<p>En la parte superior de la ménsula se presenta el agrietamiento descrito.</p>
	
<p>Detalle de los trabajos de restauración de la losa en la que se aprecia la bóveda catalana.</p>	<p>Detalle en el que se nota la intervención de 1994-1998, en la que se incluyeron apoyos de la estructura con columnas metálicas.</p>

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio:	Palacio y Facultad de Economía					
Ubicación:	Cuba 92					



Condiciones para evaluar edificios

Agrietamientos en :

Muros: en colindancia posterior del inmueble

Pisos : NO

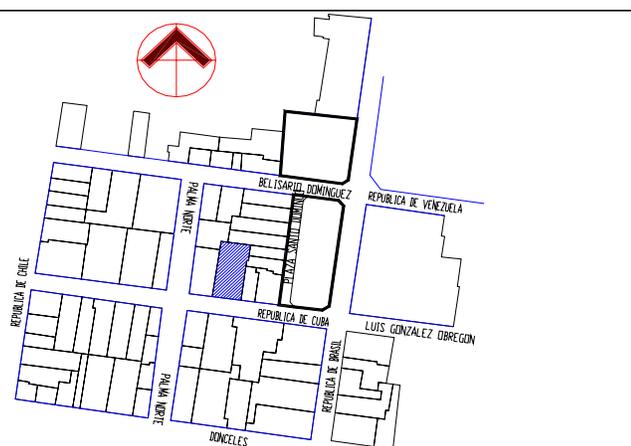
Losas : NO

Croquis de agrietamiento o foto:



Humedad en :
Muros: en cuarto posterior
Pisos
Losas: cuarto posterior y toda la colindancia posterior
Tipo de estructura: Estructura de Mampostería y materiales varios, con columnas centrales.
Cimentación:
Muros: Ladrillo rojo y mampostería
Losa: losas de bóveda catalana y vigas de madera y hierro.

Datos del edificio:	
Siglo: XX	Año del edificio: 1904
Configuración estructural: Sistema estructural con patios (2) y paredes gruesas	
Ornamentación: Vitrales, estucos, cantera labrada, tapices y plafones ornamentados con esculturas.	
Geometría: Rectangular con claros centrales	
Uso actual: Oficinas	
Peso que soporta actualmente: Mobiliario y peso propio	
Datos de edificios colindantes: Existe un edificio colindante en la parte oeste que data de 1940 de nombre "El Portillo", cuya configuración estructural es a base de marcos rígidos, es de 7 niveles y actualmente tiene un uso comercial en P:B. y de oficinas en los pisos posteriores.	
En la parte este está un edificio del siglo XVII en el que se tiene un uso de locales comerciales, la mayoría de negocios de imprenta. La condición del edificio presenta desplomos hacia el norte y su estructura es de mampostería y cantera.	
En las colindancias posteriores se tienen localizados espacios destinados a estacionamientos públicos, que hacen que el edificio no tenga por el momento influencia de cimentaciones actuales, pero sí de cimentaciones anteriores.	
croquis:	

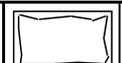
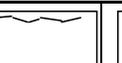


<b>Datos del suelo</b>	
Estratigrafía:	sin datos.

**Influencia de la cimentación colindante en el edificio:**  
 Se debe revisar la influencia del edificio colindante de 7 niveles, ubicado en Cuba esq. Palma. Por lo que respecta a los edificios en la parte posterior, tienen bastante influencia en el edificio, dado que actualmente en la parte norte del edificio están presentándose agrietamientos y desprendimientos en muros del edificio de Economía

Intervenciones en cimentación - estructura previas:			
<b>Trabajos de Restauración y Conservación</b>			
1996 (Sociedad de Exalumnos de Economía) Se hicieron trabajos de restauración en muros y plafones en herrería, carpintería y barniz y limpieza general del edificio, trabajos de albañilería y pintura.			
1996 (Sociedad de Ex alumnos de Economía) se hicieron trabajos de restauración en muros y plafones en herrería, carpintería y barniz y limpieza general del edificio, trabajos de albañilería y pintura.			
1997 Se hizo la obra de instalación eléctrica de alumbrado contactos y fuerza de planta baja, primero y segundo nivel.			
1997 Se hizo la obra de instalación eléctrica de alumbrado contactos y fuerza de planta baja, primero y segundo nivel. 1998 Proyecto de restauración de la primera etapa, se construyó el domo en la escalera del patio "A". y reparación de azotea (impermeabilización y cambio de enladrillado de zonas dañadas y se rehabilitaron las bajadas de agua pluvial).			
1998 Restauración de la escalera de madera.			
1998 Proyecto de restauración de la primera etapa, se construyó el domo en la escalera del patio "A". y reparación de azotea (impermeabilización y cambio de enladrillado de zonas dañadas y se rehabilitaron las bajadas de agua pluvial).			
1998 Proyecto de restauración de la escalera de madera norponiente.			
2000 Ejecución del proyecto de la escalera de madera norponiente			
2000 - 2002 Segunda etapa del Proyecto de restauración Integral, restauración del portón principal, construcción del cárcamo de desagüe del patio norte, Trabajos de restauración de la primera etapa ( restauración de la herrería de la azotea, se restauró carpintería en puertas y ventanas, se restauraron dos tragaluces).			
Tendencias de hundimiento en la zona:			
Desplomes en el edificio: principalmente se presenta en muros, aunque en el 2o. Patio, en una columna se nota un ligero desplomo de 1%. En la segunda planta también se presentan desplomos leves			
Deterioro del edificio debido a :			
Hundimiento		Contaminación	Daños físicos causados por el ser humano:
Otros:	abandono de las instalaciones		
Tipo de carga actual: mobiliario, y peso propio.			
Modificación de uso: (con la consecuente modificación de cargas)			
Aparentemente no se ha dado una modificación en el uso del inmueble de manera grave, por lo que el deterioro del mismo no se debe a modificación de cargas.			

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
								
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

		A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1 mm							
Grietas espesor mayor de 1 mm							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

		A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1 mm								
Grietas espesor mayor de 1 mm								
Pérdida de material							NO	
Varillas	Visibles						NO	
	Rotas						NO	
	No existen						--	

<b>Edificio: Antigua Escuela de Odontología</b>	Época: S. XX
Ubicación: Lic. Primo Verdad No. 2	
Uso actual: Parte en instalaciones de educación	Fecha uso actual: 2006

**DATOS FÍSICOS:**

Superficie 3167 M<sup>2</sup> Niveles: 02  
 Terreno: 7610 M<sup>2</sup>

Superficie

Construcción:

**INTERVENCIONES PREVIAS:**

1991. Octubre 1994 cubierta del patio principal. Se terminó el proyecto en diciembre de 1995. En 1997 se inició la primera etapa de restauración. En septiembre del 2000 se licita la segunda etapa de restauración. En 2001 continúa la segunda etapa de restauración. En agosto de 2003 se trabaja en la terminación de la restauración para darle un uso a todo el edificio.

**Observaciones:** Este edificio recibió mantenimiento preventivo consistente en limpieza, deshierbe e impermeabilización parcial en área del Paraninfo. Trabajos preliminares por la Escuela Taller España. En julio de 1995 se realizó proyecto de restauración. En abril de 1997 comenzó la restauración integral del edificio: se recuperó espacios originales eliminando elementos adosados. En 1998 se realizó trabajos de exploración arqueológica a través del personal del Templo Mayor INAH. En Octubre de 1998 la obra tiene un avance de obra al 60%. En Noviembre del 2000 se inició la segunda etapa de restauración consistente en la instalaciones básicas y especiales, restauración de fachadas y acabados finales. En el 2001 continuó la segunda etapa de restauración, elaboración de proyecto para la recuperación del acceso sobre la calle de Primo Verdad y adecuación de los espacios para el uso definitivo. (Datos de la Dirección General de Patrimonio Universitario). La última restauración se realizó desde finales de 2001 hasta 2003, considerando un nuevo proyecto arquitectónico y el complemento ejecutivo en planos. En este trabajo se incluyó la inyección de grietas. Esta remodelación tuvo un costo aproximado de 30 millones de pesos.<sup>2</sup>

**Características Constructivas:**

**Estructura:** Muros de materiales mixtos; Muros de tabique; Muros de tepetate.

**Techumbres:** Viguería. Estructuras de concreto, cúpula acristalada. Bóveda catalana, bóvedas metálicas.

**Ornamentación:** Fachada estilo ecléctico; cantera y cerámica, estucados.

**Características Especiales:** Especiales: Inmueble con gran valor arquitectónico.

**Requerimientos de intervención:** Ninguno

**Bienes Artísticos:**

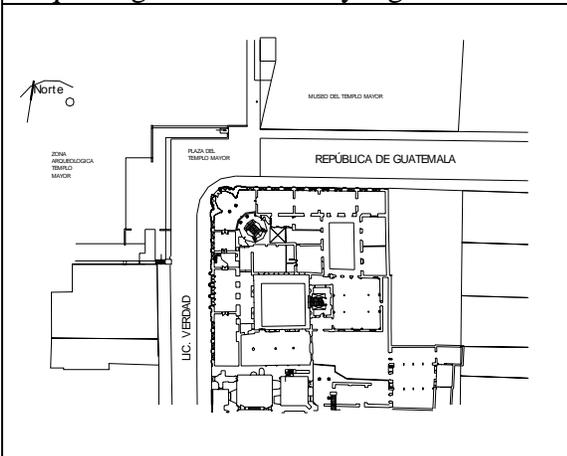
**Pintura Mural:** Con la Restauración realizada en 1998 se encontró pintura mural decorativa al templo del siglo XVII en el área correspondiente al anexo. Por otra parte se encontró pintura decorativa del siglo XIX en un muro colindante al Templo de Santa

<sup>2</sup> Chavarría, Rosa Ma. *Trascendencia histórica del Palacio de la Autonomía*. Gaceta UNAM, No. 3745, 6 de septiembre de 2004. México.

Teresa.  
**Bienes Muebles:** esculturas (bustos)  
**Vitrales:** Existen vitrales en la parte que corresponde a la escalera principal.  
**Otros:** Existe una placa que conmemora la Autonomía Universitaria con características Art Deco.  
 El Paraninfo presenta una intrincada obra de carpintería (S. XX)

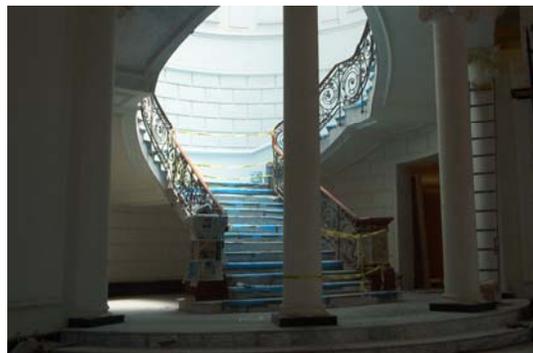
**Relación con el entorno:** Representa un punto importante en el contexto ya que se encuentra en zona patrimonial.

**Datos de edificios colindantes:** Está colindante con el Templo Mayor, el ex - Convento de Santa Teresa, en la esquina de la calle se encuentra el edificio de la primera imprenta de América Latina, frente al edificio está la Subdirección de Estudios Arqueológicos del INAH y algunos edificios de comercios.



**Croquis de Localización**

**Vista General de la Fachada**



**Restos de construcciones anteriores**

**Detalle del Vestíbulo Principal**



**Detalle de la construcción del convento**



**Detalle de la construcción del convento**



**Detalles de la Restauración**



**Detalles de la Restauración**

	
<p><b>Escalera en el área del CELE.</b></p>	<p><b>Recubrimiento de grietas en los muros.</b></p>
	
<p><b>Ventana arqueológica. Época prehispánica.</b></p>	<p><b>Ventana arqueológica. Época colonial.</b></p>

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

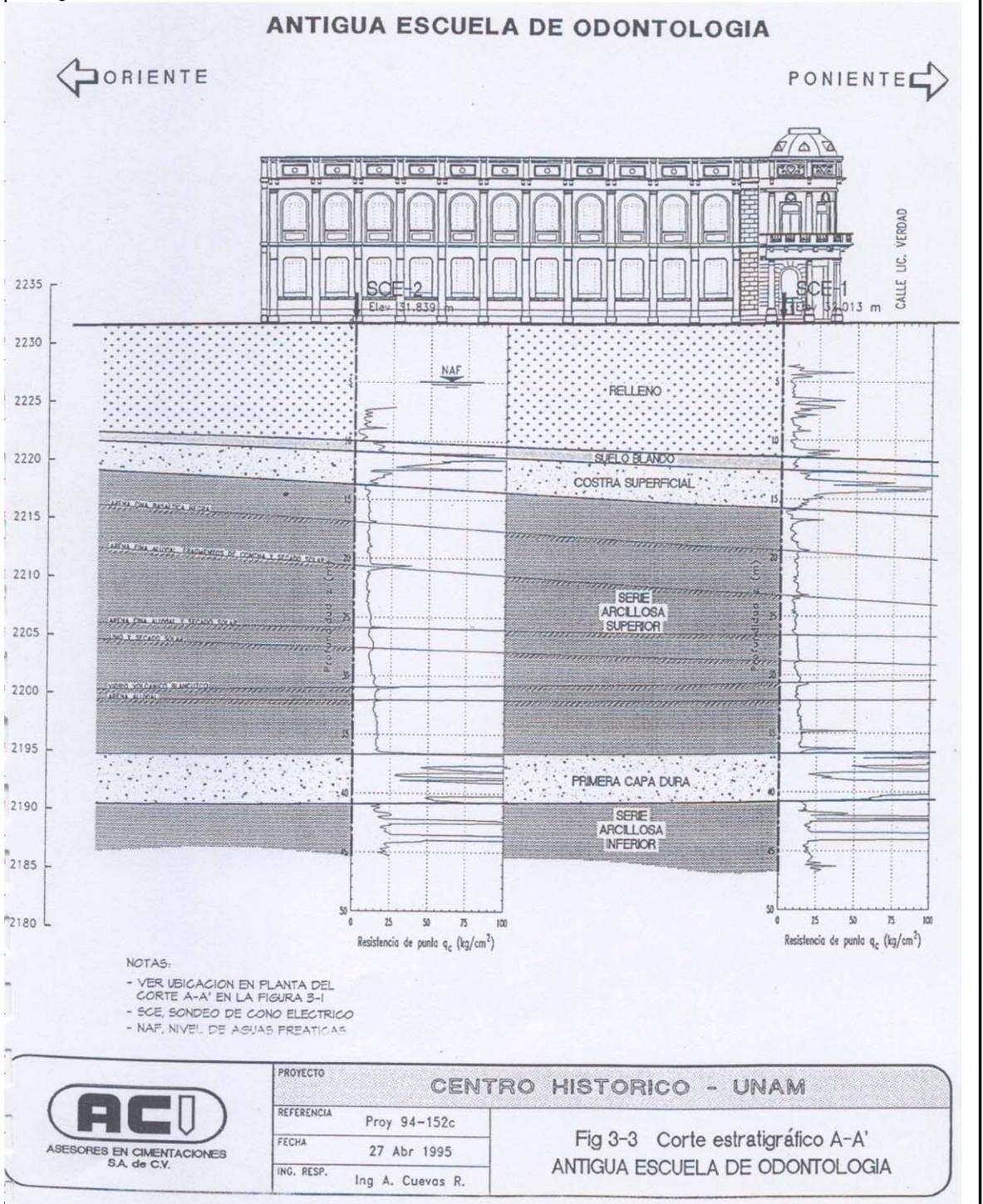
Edificio: Palacio de Odontología  
 Ubicación: Lic. Primo Verdad No. 2

**Condiciones para evaluar edificios**

Agrietamientos en :	
<b>Muros:</b> Se presentan agrietamientos en los muros del extremo norte.	
<b>Pisos:</b> Se notan agrietamientos en la zona de la escalera de acceso en la esquina norte, aunque la mayoría están ocultos por los nuevos pisos.	
<b>Losas:</b> en losas de azotea.	
Croquis de agrietamiento o foto:	
	
	
	

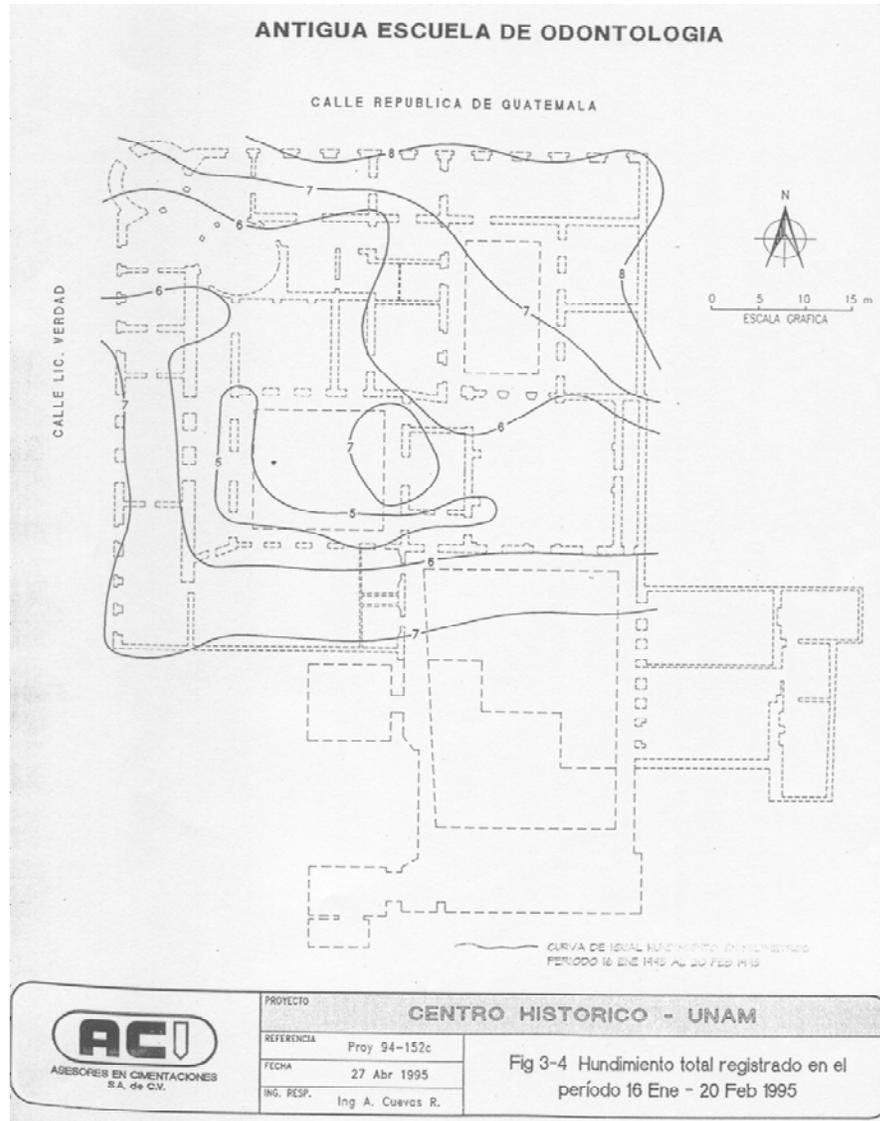
Humedad en :	
Muros NO	
Pisos NO	
Losas NO	
Geometría: Estructura de mampostería con patios interiores	
Uso actual: Educación, oficinas.	
Peso que soporta actualmente: Peso de mobiliario	

**Datos del suelo**  
Estratigrafía:



Influencia de la cimentación colindante en el edificio: Se aprecia un efecto de las construcciones previas en el edificio, dadas las tendencias de hundimientos ubicadas en zonas específicas.

Tendencias de hundimiento en la zona: hacia el externo norte y oriente de la zona.



Desplomes en el edificio:			
Deterioro del edificio debido a :			
Hundimiento	Contaminación	Daños físicos causados por el ser humano:	
Otros:			
Tipo de carga actual: tiene poca carga muerta, pero en algunas zonas se incrementará su carga viva.			
Modificación de uso: (con la consecuente modificación de cargas)			
Ha sufrido modificación de cargas, pero no han sido perjudiciales para el edificio.			

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Vanillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Vanillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

**Edificio: Facultad y Palacio de Medicina** Época: Siglo XVIII  
 Ubicación: República de Brasil esq. República de Venezuela  
 Uso actual: Museo. Instalaciones Educación Fecha uso actual: 2001  
 Continua, Facultad de Medicina.

**DATOS FÍSICOS:**

Superficie 4674. M<sup>2</sup> Niveles: 2  
 Terreno: 0 M<sup>2</sup>  
 Superficie 8111.  
 Construcción: 0

**INTERVENCIONES PREVIAS:** Fue restaurado en 1980. Ha tenido mantenimiento preventivo. Inyección de grietas en arco en esquina sur oriente del patio principal en 1990. La grieta volvió a aparecer en 1993. Se impermeabilizó en 1994. Nuevas grietas aparecieron en crujía Norte en Octubre de 1995. Se retiraron sillares con riesgo de desplome en Diciembre de 1995. Se consolidó estructuralmente columna del patio principal en octubre de 1996; de la misma forma se consolidaron los muros de la oficina del director, terminando este trabajo en octubre de 1996. En 1997 se realizaron los trabajos de consolidación parcial de muros agrietados. En Agosto del 2000 se iniciaron trabajos de actualización del sistemas de redes, voz y datos. En Marzo del 2001 se realizaron trabajos de inyección de grietas en el área correspondiente a Sección Administrativa. En 2005 se empezó a trabajar en la inyección de micropilotes.

**Características Constructivas:**

**Estructura:** Muros de mampostería, arcos y columnas, losas de vigas de madera.

**Techumbres:** Restauración mediante losas planas y traveses de concreto armado.

**Ornamentación:** Fachada Sur S. XVIII, estilo Barroco de gran calidad. Cantería, recubrimientos de tezontle.

**Características Especiales:** Presenta una magnífica portada de acceso en esquina. Con una portada compuesta de un arco semiocagonal.

**Requerimientos de intervención:** Presenta asentamientos severos. Requiere inyección constante en arcos, bóveda, muros y subsuelo.

**Bienes Artísticos:**

**Pintura Mural:** Pintura ornamental de diversas épocas en muros, dinteles, pilastras.

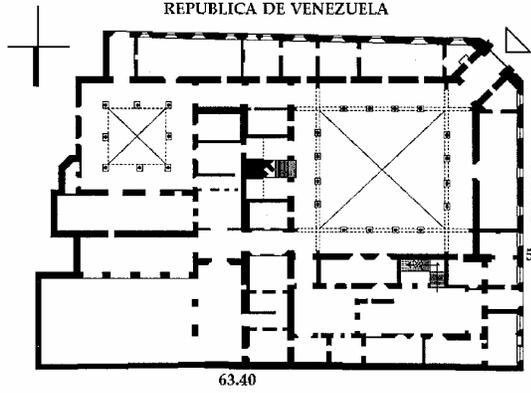
**Bienes Muebles:** Diversos óleos, colecciones de aparatos médicos, acervo bibliográfico (histórico). Escultura.

**Vitrales:**

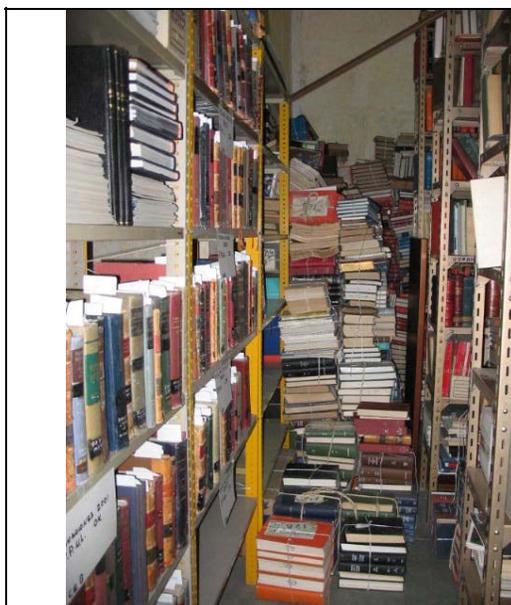
**Otros:** Recreación de botica, con mobiliario y equipo de época.

**Relación con el entorno:** Representa un punto importante en el contexto ya que se encuentra en zona patrimonial.

**Datos de edificios colindantes:** edificios con características similares en cuanto a su configuración estructural y a los materiales.

	
<p><b>Croquis de Localización</b></p>	<p><b>Vista General de la Fachada</b></p>

	
<p><b>Patio interior del edificio.</b></p>	<p><b>Biblioteca.</b></p>



**Exceso de carga en planta alta.**



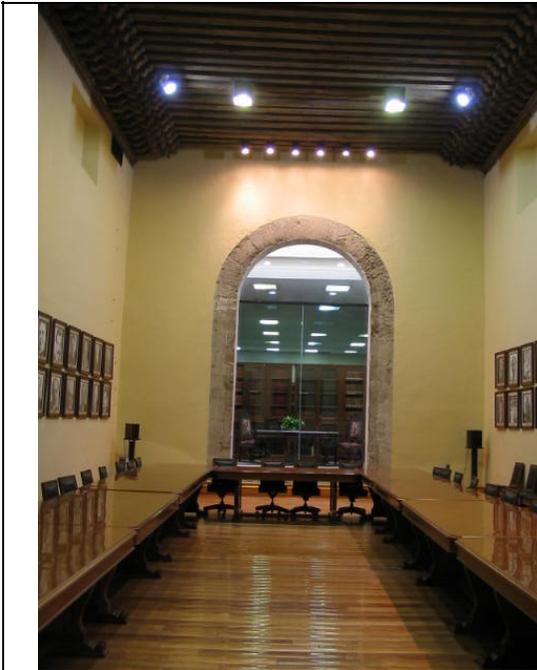
**Detalles de intervenciones de restauración.**



**Escalera principal del primer patio.**



**Vista del arco suspendido.**



**Sala de Directores.**



**Apuntalamiento de arcos.**



**Pasillo superior en la parte del Museo.**



**Sala de reuniones.**

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio: **Facultad y Palacio de Medicina**

Ubicación: República de Brasil esq. República de Venezuela

**Condiciones para evaluar edificios**

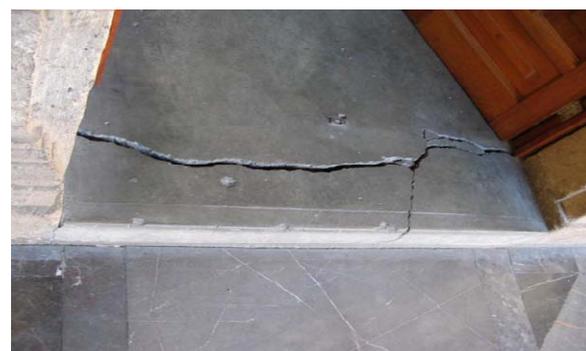
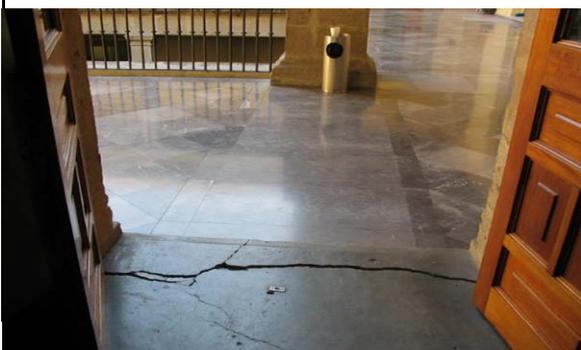
Agrietamientos en :

Muros: Se ubican agrietamientos casi en todas las direcciones y espesores.

Pisos: Muchos pisos se encuentran agrietados, incluyendo los de planta alta.

Losas: Misma condición. Agrietamientos en losas intermedias como en azoteas.

Croquis de agrietamiento o foto:



Humedad en :
Muros: NO
Pisos: NO
Losas: NO
Tipo de estructura:
Cimentación: Mampostería
Muros: Mampostería.
Losa: Bóveda catalana. Partes con losas de concreto armado.

Datos del edificio: Edificio que ha cambiado sus usos en distintas ocasiones. Por lo tanto se han incrementado cargas en algunos casos
Siglo: XVIII.
Geometría: Estructura de mampostería con patios interiores
Uso actual: Museo. Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina.
Peso que soporta actualmente: Está excedido en el peso de libros en áreas de bibliotecas en planta alta.
Datos de edificios colindantes: Sin influencias negativas.
croquis:

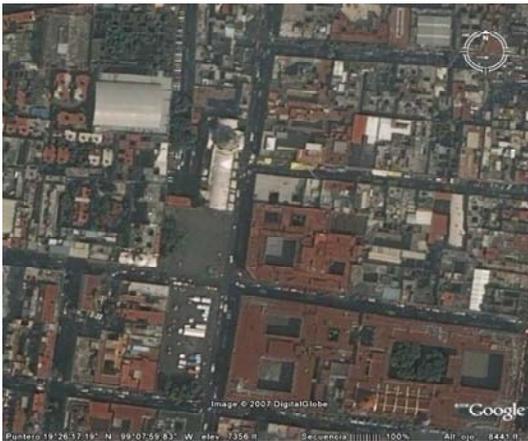


Image © 2007 DigitalGlobe  
 Google  
 Pastoro 19°26'17.18" N 99°07'59.83" W elev: 7356 ft  
 Secuencia: 100%  
 Alt: ojo: 8441 ft

**Datos del suelo**

**Estratigrafía:**

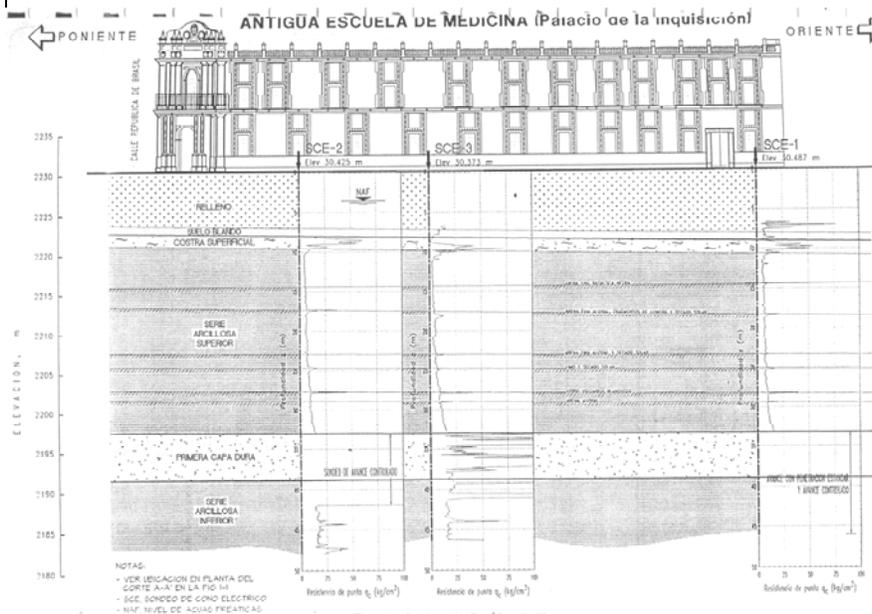


Fig 1-3 Corte estratigráfico A-A'

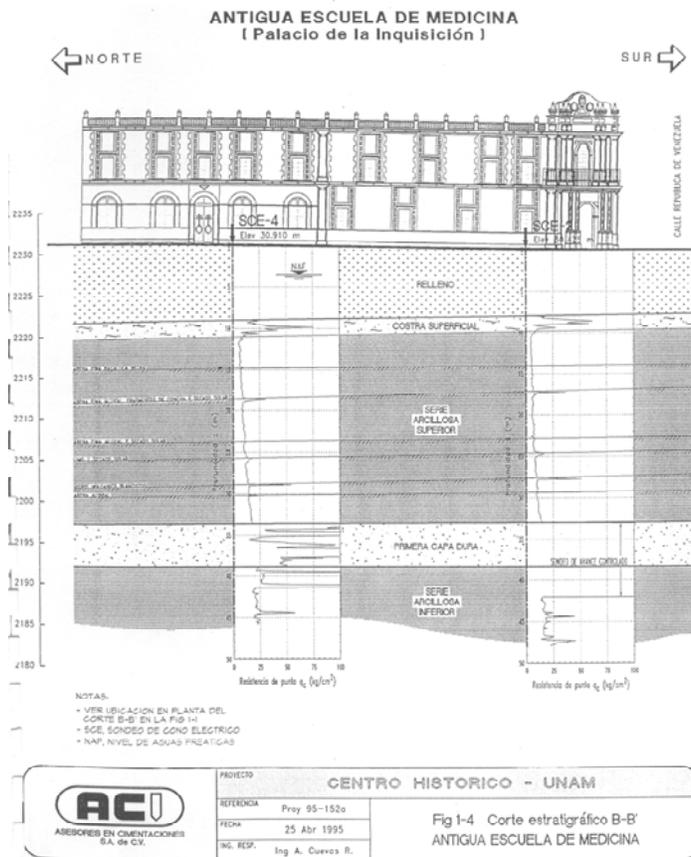


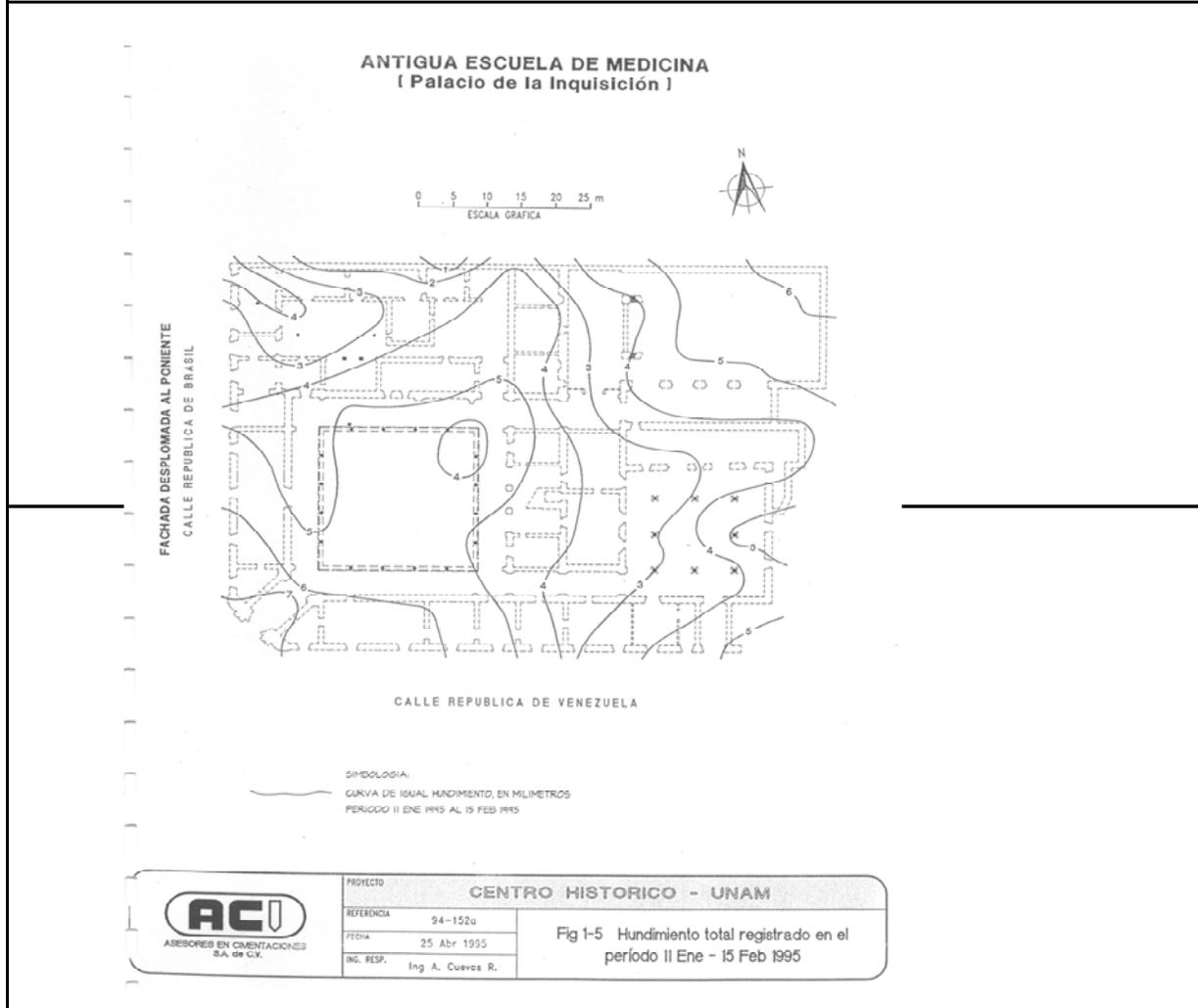
Fig 1-4 Corte estratigráfico B-B'  
ANTIGUA ESCUELA DE MEDICINA

 AREBONES EN CIMENTACIONES S.A. de C.V.	PROYECTO	CENTRO HISTORICO - UNAM	
	REFERENCIA	Pray 95-152a	
	FECHA	25 Abr 1995	
	ING. RESP.	Ing. A. Cuevas R.	

Influencia de la cimentación colindante en el edificio: No se presenta influencia de cimentaciones colindantes en el edificio.

Intervenciones en cimentación - estructura previas: Se ha trabajado en reestructuraciones en la parte alta.

Tendencias de hundimiento en la zona:



Desplomes en el edificio: se ubicaron desplomes en muros y columnas en diferentes tendencias. Estos desplomes quedan registrados en el plano respectivo de desplomes. DM1

Deterioro del edificio debido a :

Hundimiento  SI Contaminación  SI Daños físicos causados por el ser humano:  SI

Otros:  Modificación en las cargas existentes.

Tipo de carga actual: Mobiliario. Estantería metálica. Peso muerto. Peso libros.

Modificación de uso: (con la consecuente modificación de cargas)

En la parte alta existe una sobrecarga en algunas áreas con acervo bibliográfico.

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

**Edificio: Antiguas Cárceles de La Perpetua.** Época: Siglo XVIII  
 Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro D.F.  
 Histórico.  
 Uso actual: Instalaciones Educación Continua, Fecha uso actual: 2001  
 Facultad de Medicina.

**DATOS FÍSICOS:**  
 Superficie 2246 M<sup>2</sup> Niveles: 2  
 Terreno: 2710 M<sup>2</sup>  
 Superficie  
 Construcción:  
 INTERVENCIONES PREVIAS: Restauración en proceso, área con acceso por  
 Venezuela 8 1990-1994. Diciembre del 2000, apuntalamiento.  
 Se realizó restauración parcial con avance de obra deficiente.

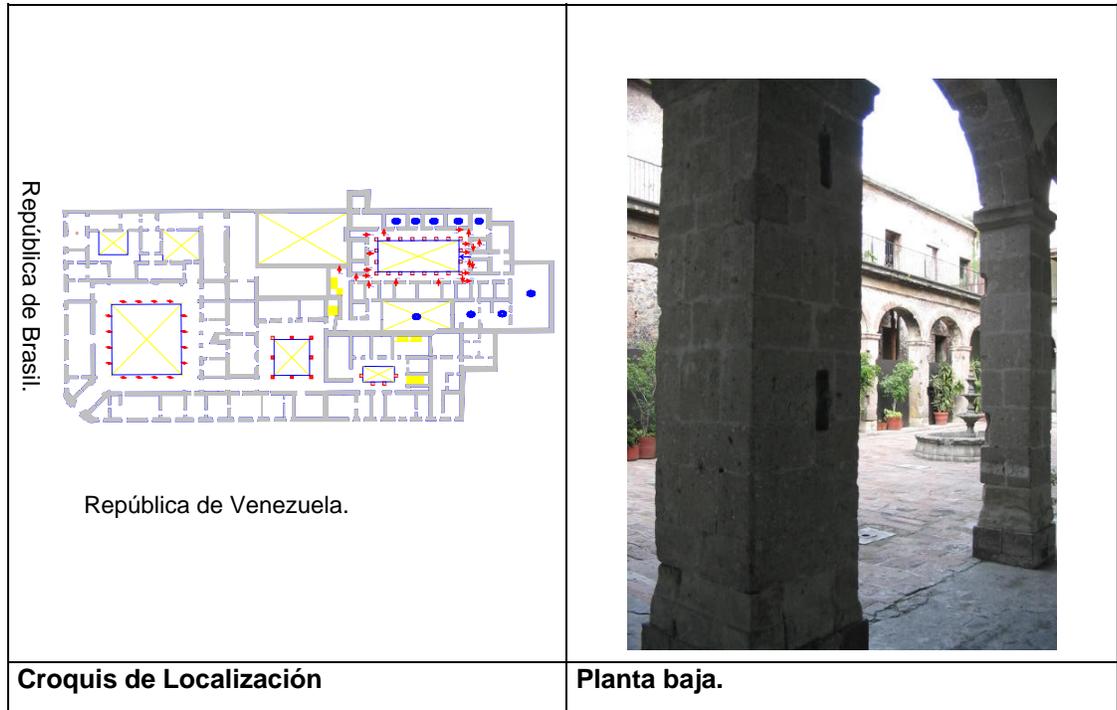
**Características Constructivas:**  
**Estructura:** Muros de mampostería, arcos y columnas de cantera, losas de vigas de  
 madera.  
**Techumbres:** Viguera, lámina de asbesto, losa reticular.  
**Ornamentación:** La fachada hacia Venezuela la integra al Palacio de Medicina.  
 Cantera, recubrimiento de tezontle.  
**Características Especiales:** Presenta diversas etapas constructivas desde el siglo XVII  
 hasta el XIX.  
**Requerimientos de intervención:** Presenta asentamientos severos. Urge la  
 consolidación estructural preventiva en todo el inmueble. Se necesita consolidar  
 especialmente la parte sur, dado los agrietamientos tan severos que sufre.

**Bienes Artísticos:**  
**Pintura Mural:** Algunos vestigios de pintura decorativa sin restaurar.  
**Bienes Muebles: Vitrales:**  
**Otros:** Existieron plafones con ornamentación de yeso.

**Relación con el entorno:** Representa un punto importante en el contexto ya que se  
 encuentra en zona patrimonial.

---

**Datos de edificios colindantes:** edificios con características similares en cuanto a su  
 configuración estructural y a los materiales.





**Estructura a base de arcos.**



**Agrietamientos significativos.**



**Existe una zona con gran deterioro físico.**



**Edificio acondicionado para aulas.**



**Viguería de madera.**



**Apuntalamiento de la zona.**



**Zona deteriorada**



**Presencia de humedad en la zona.**

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio: **Antiguas Cárceles de La Perpetua.**

Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro Histórico.

**Condiciones para evaluar edificios**

Agrietamientos en :

Muros: Se ubican agrietamientos casi en todas las direcciones y espesores.

Pisos: Muchos pisos se encuentran agrietados, incluyendo los de planta alta.

Losas: Misma condición. Agrietamientos en losas intermedias como en azoteas.

Croquis de agrietamiento o foto:

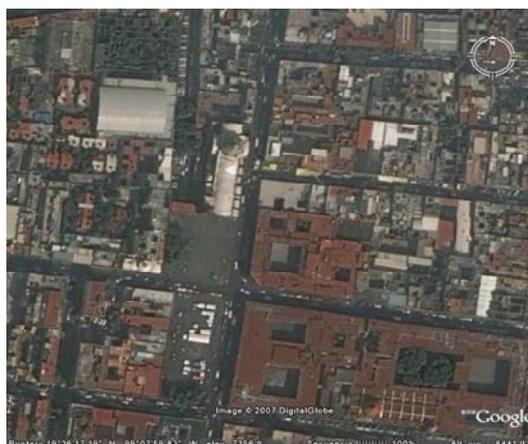


Humedad en : Presenta humedad en la mayoría de los elementos con presencia de plantas.
Muros: SI
Pisos: SI
Losas: SI
Tipo de estructura:
Cimentación: Mampostería
Muros: Mampostería.
Losa: Bóveda catalana.

Datos del edificio: Edificio que es usado parcialmente para aulas y oficinas.

Siglo: XVIII.
Geometría: Estructura de mampostería con patios interiores
Uso actual: Museo. Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina.
Peso que soporta actualmente: Soporta poco peso.
Datos de edificios colindantes: Sin influencias negativas.

croquis:



**Datos del suelo**

Estratigrafía:

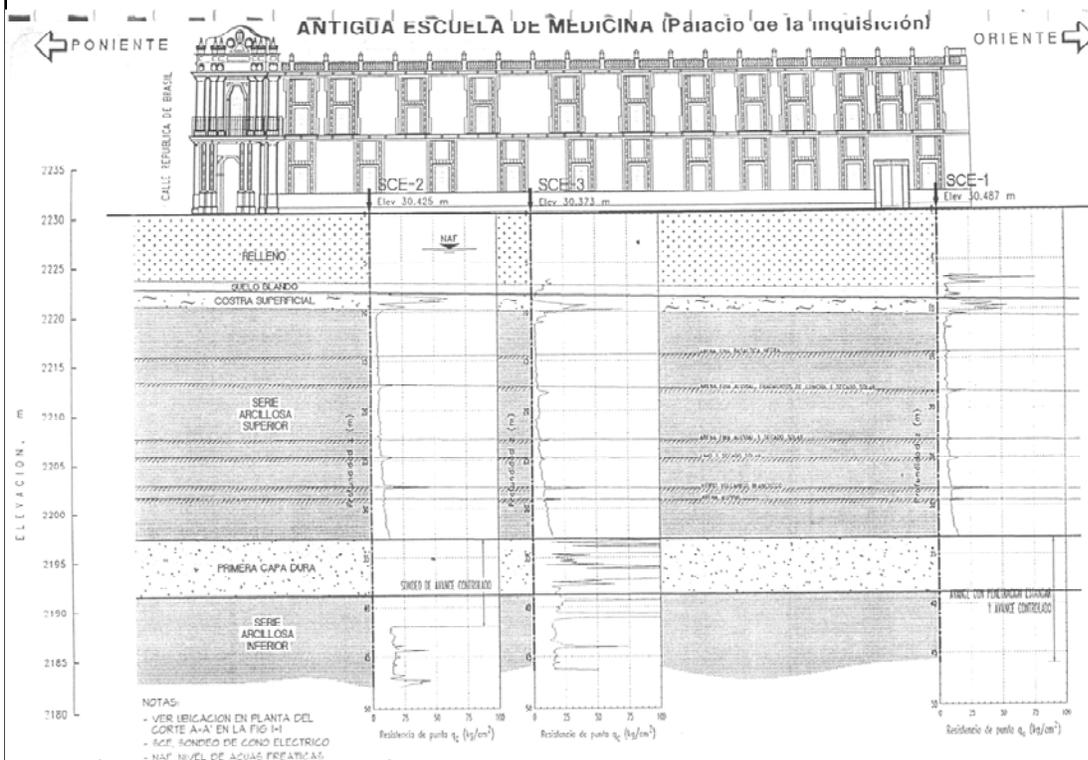
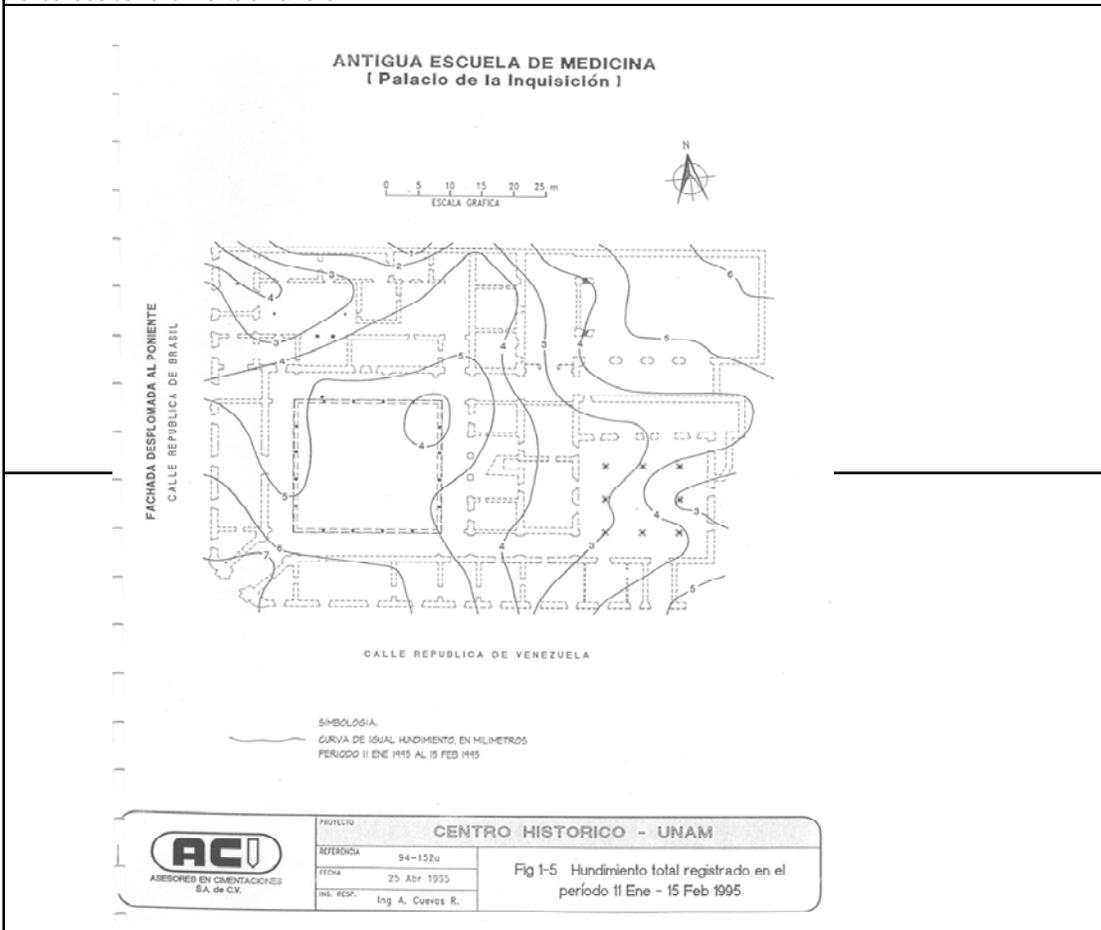


Fig 1-3 Corte estratigráfico A-A'

Influencia de la cimentación colindante en el edificio: No se presenta influencia de cimentaciones colindantes en el edificio.

Intervenciones en cimentación - estructura previas: Se ha trabajado en reestructuraciones en la parte su únicamente.

Tendencias de hundimiento en la zona:



Desplomes en el edificio: se ubicaron desplomos en muros y columnas en diferentes tendencias.

Estos desplomos quedan registrados en el plano respectivo de desplomos. **DM1**

Deterioro del edificio debido a :

Hundimiento	SI	Contaminación	SI	Daños físicos causados por el ser humano:	SI
-------------	----	---------------	----	---	----

Otros:

Tipo de carga actual: Mobiliario. Estantería metálica. Peso muerto.

Modificación de uso (con incremento de carga): NO.

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

<b>Edificio: Secundaria.</b>		Época: Siglo XVIII	
Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro D.F.			
Histórico.			
Uso actual: sin uso		Fecha uso actual: 2001	
<b>DATOS FÍSICOS:</b>			
Superficie	2246	M <sup>2</sup>	Niveles: 2
Terreno:	2710	M <sup>2</sup>	
Superficie			
Construcción:			
INTERVENCIONES PREVIAS: Restauración en proceso, área con acceso por Venezuela 8 1990-1994. Diciembre del 2000, apuntalamiento.			
Se realizó restauración parcial con avance de obra deficiente. En Diciembre del 2000 se realizaron trabajos de apuntalamiento en la planta alta y retiro de los terrados del Protomedicato. En 2001 se colocó cubierta provisional para cubrir áreas en donde ocurrió pérdida el terrado del Protomedicato; bajo la supervisión técnica y asesorías estructurales.			
<b>Características Constructivas:</b>			
<b>Estructura:</b> Muros de mampostería, arcos y columnas de cantera, losas con terrados y losas de concreto armado.			
<b>Techumbres:</b> Viguera, lámina de asbesto, losa reticular.			
<b>Ornamentación:</b> La fachada hacia Venezuela la integra al Palacio de Medicina. Cantera, recubrimiento de tezontle.			
<b>Características Especiales:</b> En proceso de reparación.			
<b>Requerimientos de intervención:</b> Se necesita una intervención integral.			
<b>Bienes Artísticos:</b>			
<b>Pintura Mural:</b> Algunos vestigios de pintura decorativa sin restaurar.			
<b>Bienes Muebles: Vitrales:</b>			
<b>Otros:</b> Existieron plafones con ornamentación de yeso.			



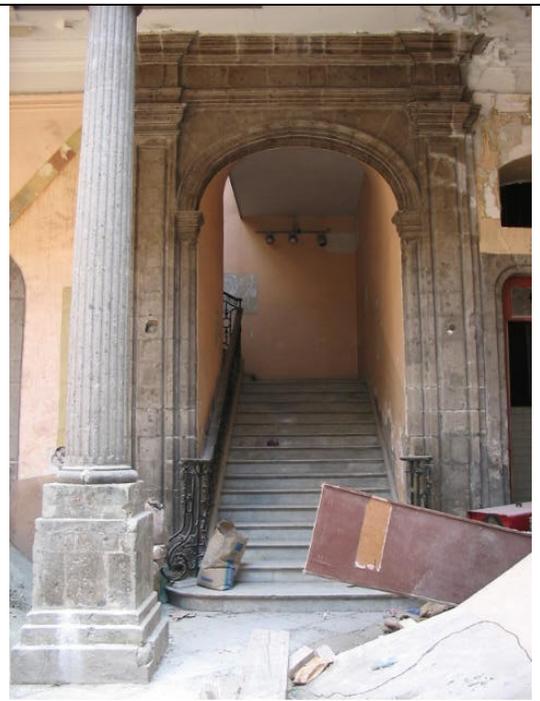
**Patio interno.**



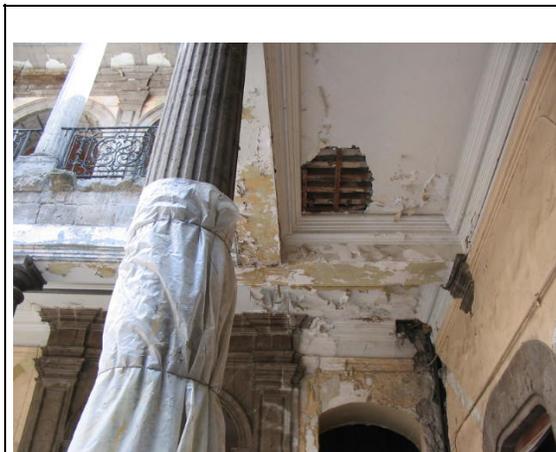
**Zona sin entrepiso.**



**Detalles del barandal de la escalera.**



**Escalera principal.**



**Sistemas constructivos originales.**



**Sistemas constructivos mixtos.**

	
<p><b>Acceso del edificio. Con molduras de yeso.</b></p>	<p><b>Zona con losa reticular.</b></p>
	
<p><b>Apuntalamiento en muchas zonas.</b></p>	<p><b>Zona muy deteriorada.</b></p>

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio: **Secundaria.**

Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro Histórico.

**Condiciones para evaluar edificios**

Agrietamientos en :

Muros: Se ubican agrietamientos fuertes en algunos muros.

Pisos: No se pudo precisar, debido a las malas condiciones del edificio

Losas: Misma condición.

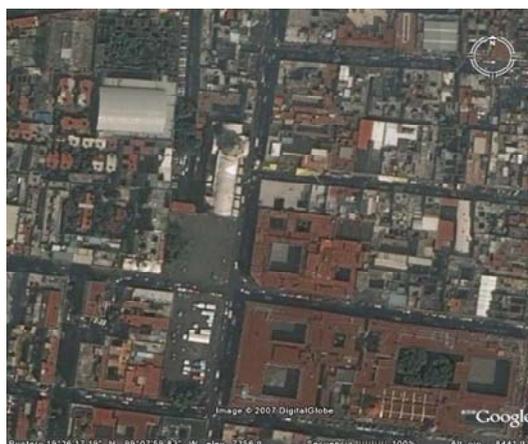
Croquis de agrietamiento o foto:



Humedad en : Presenta humedad en la mayoría de los elementos con presencia de plantas.
Muros: NO
Pisos: NO
Losas: NO
Tipo de estructura:
Cimentación: Mampostería
Muros: Mampostería. Mixtos con tabique.
Losa: Bóveda catalana. Losa de casetones. Losa de concreto armado

Datos del edificio: Edificio con muchas partes a restaurar.
Siglo: XVIII.
Geometría: Estructura de mampostería con patios interiores
Uso actual: Sin uso.
Peso que soporta actualmente: Soporta poco peso.
Datos de edificios colindantes: Sin influencias negativas.

croquis:



**Datos del suelo**

Estratigrafía:

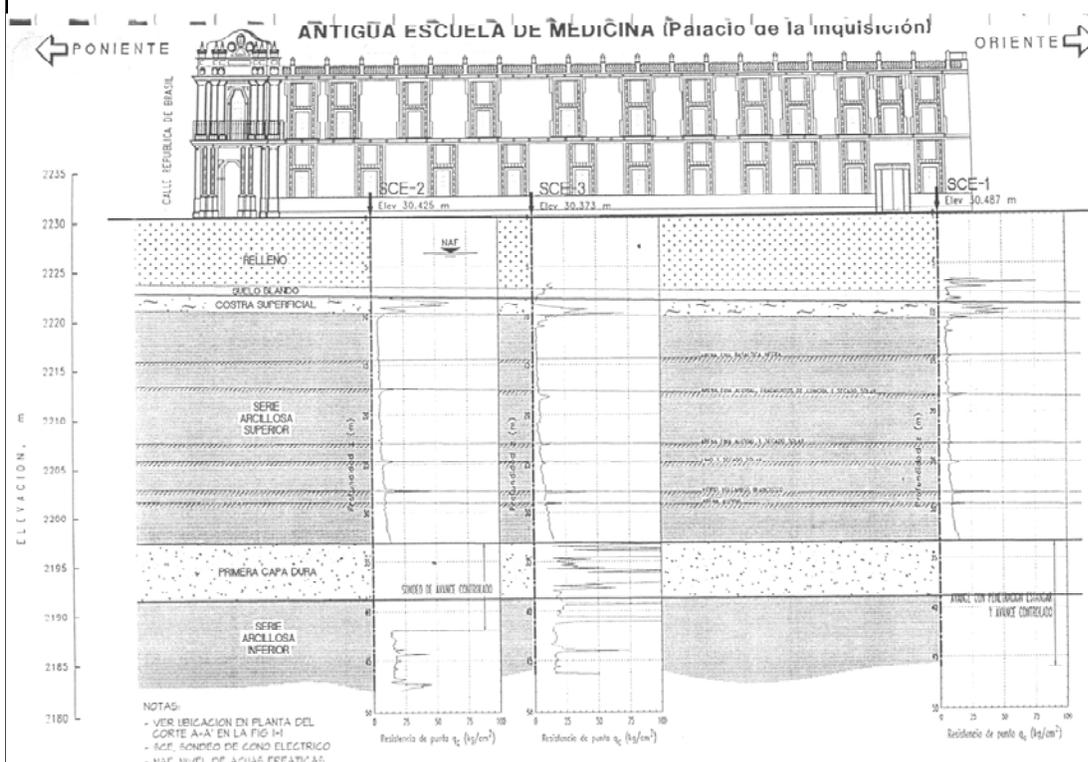


Fig 1-3 Corte estratigráfico A-A'

7

Catálogo de Monumentos en el centro histórico de la ciudad de México, afectados por el hundimiento.

Influencia de la cimentación colindante en el edificio: No se presenta influencia de cimentaciones colindantes en el edificio.

Intervenciones en cimentación - estructura previas: Se ha trabajado en reestructuraciones en la parte su únicamente.

Tendencias de hundimiento en la zona:

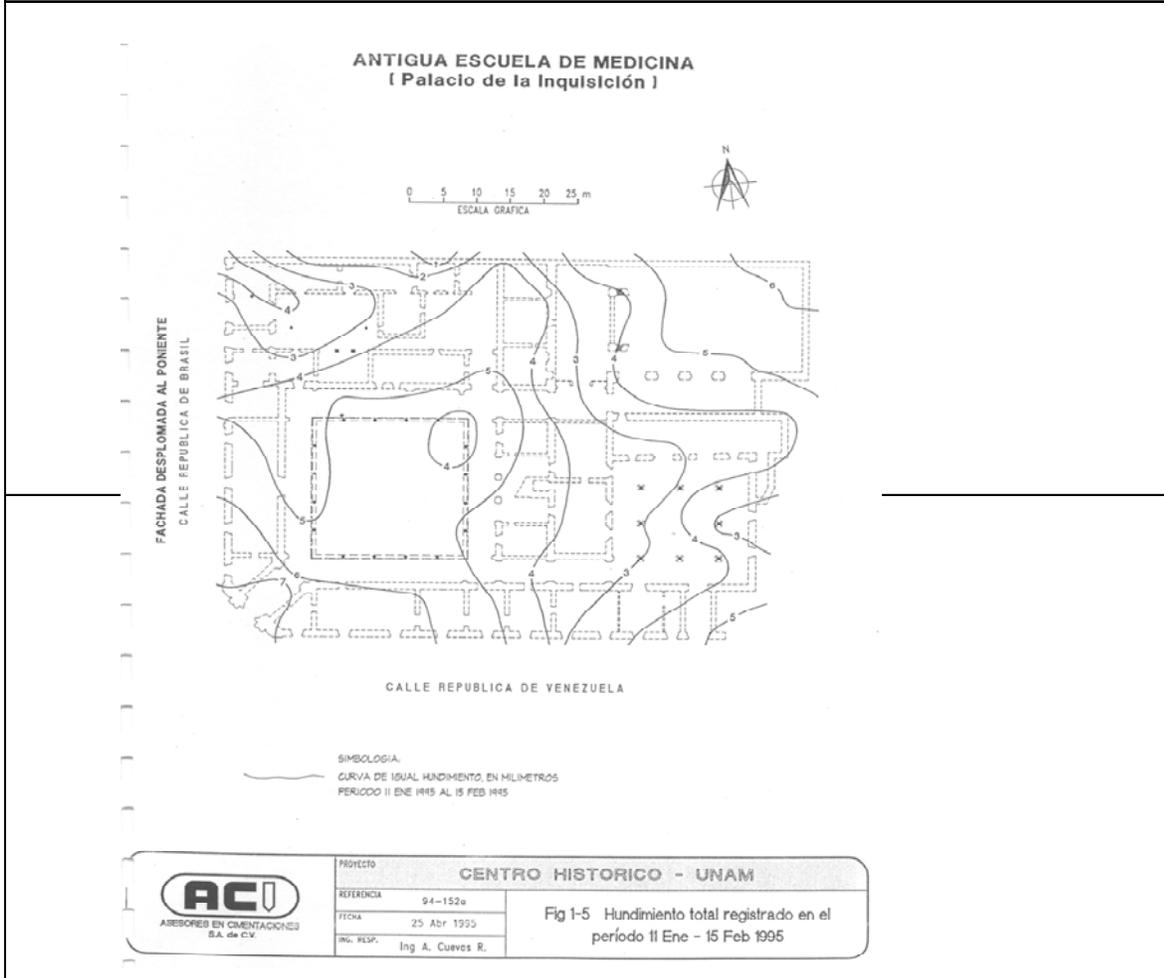


Fig 1-5 Hundimiento total registrado en el período 11 Ene - 15 Feb 1995

Desplomes en el edificio: No se pudo tomar muchos datos de este edificio.

Estos desplomos quedan registrados en el plano respectivo de desplomos. **DM1**

Deterioro del edificio debido a :

Hundimiento	SI	Contaminación	SI	Daños físicos causados por el ser humano:	SI
Otros:					

Tipo de carga actual: Material de escombros.

Modificación de uso (con incremento de carga): NO.

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

<b>Edificio: Protomedicato.</b>	Época: Siglo XVIII
Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro D.F. Histórico.	
Uso actual: sin uso	Fecha uso actual: 2001

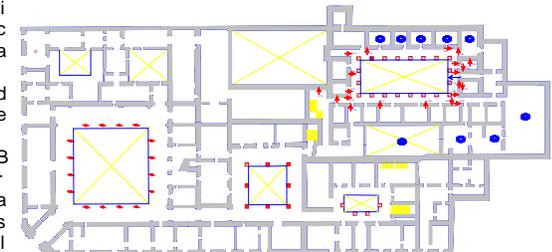
<b>DATOS FÍSICOS:</b>	
Superficie	2246 M <sup>2</sup> Niveles: 2
Terreno:	2710 M <sup>2</sup>
Superficie	
Construcción:	
<b>INTERVENCIONES PREVIAS:</b>	

<b>Características Constructivas:</b>
<b>Estructura:</b> Muros de mampostería, arcos y columnas de cantera, losas con terrados y losas de concreto armado.
<b>Techumbres:</b> Viguería, losa concreto armado.
<b>Ornamentación:</b> La fachada hacia Venezuela la integra al Palacio de Medicina. Cantera, recubrimiento de tezontle.
<b>Características Especiales:</b>
<b>Requerimientos de intervención:</b> Se necesita una intervención integral.

<b>Bienes Artísticos:</b>
<b>Pintura Mural:</b> Algunos vestigios de pintura decorativa sin restaurar.
<b>Bienes Muebles: Vitrales:</b>
<b>Otros:</b> Existieron plafones con ornamentación de yeso.

**Relación con el entorno:** Representa un punto importante en el contexto ya que se encuentra en zona patrimonial.

**Datos de edificios colindantes:** edificios con características similares en cuanto a su configuración estructural y a los materiales.

<p>R e p ú b l i c a  d e B r a s il</p>  <p>República de Venezuela.</p>	
---	--

Croquis de Localización	Vista del patio interior.
	
<p><b>Elementos muy deteriorados.</b></p>	<p><b>Presencia de plantas en muros.</b></p>

	
<p><b>Muchas zonas están apuntaladas, debido al gran deterioro que presentan, y no se pueden acceder a estas zonas.</b></p>	<p><b>Se localizan muros con mucha humedad, que indica el grado de abandono tan grande que tiene este edificio.</b></p>

	
<p><b>La humedad es un factor muy fuerte en el deterioro del edificio.</b></p>	<p><b>Presencia de materiales originales todavía en el edificio.</b></p>

	
<p><b>Escalera ubicada en el patio. Se nota el cambio de losa en esta zona.</b></p>	<p><b>Bóveda catalana original.</b></p>

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio: **Protomedicato.**

Ubicación: República de Venezuela 8 y 10. Centro Histórico.

**Condiciones para evaluar edificios**

Agrietamientos en :

Muros: Se ubican agrietamientos fuertes en algunos muros.

Pisos: No se pudo precisar, debido a las malas condiciones del edificio

Losas: Misma condición.

Croquis de agrietamiento o foto:



Humedad en :	Presenta humedad en la mayoría de los elementos con presencia de plantas.
Muros:	SI
Pisos:	SI
Losas:	SI
Tipo de estructura:	
Cimentación:	Mampostería
Muros:	Mampostería. Mixtos con tabique.
Losa:	Bóveda catalana. Losa de arcos y vigas metálicas.

Datos del edificio: Edificio con muchas partes a restaurar.

Siglo:	XVIII.
Geometría:	Estructura de mampostería con patios interiores
Uso actual:	Sin uso.
Peso que soporta actualmente:	Soporta poco peso.
Datos de edificios colindantes:	Sin influencias negativas.



Datos del suelo  
Estratigrafía:

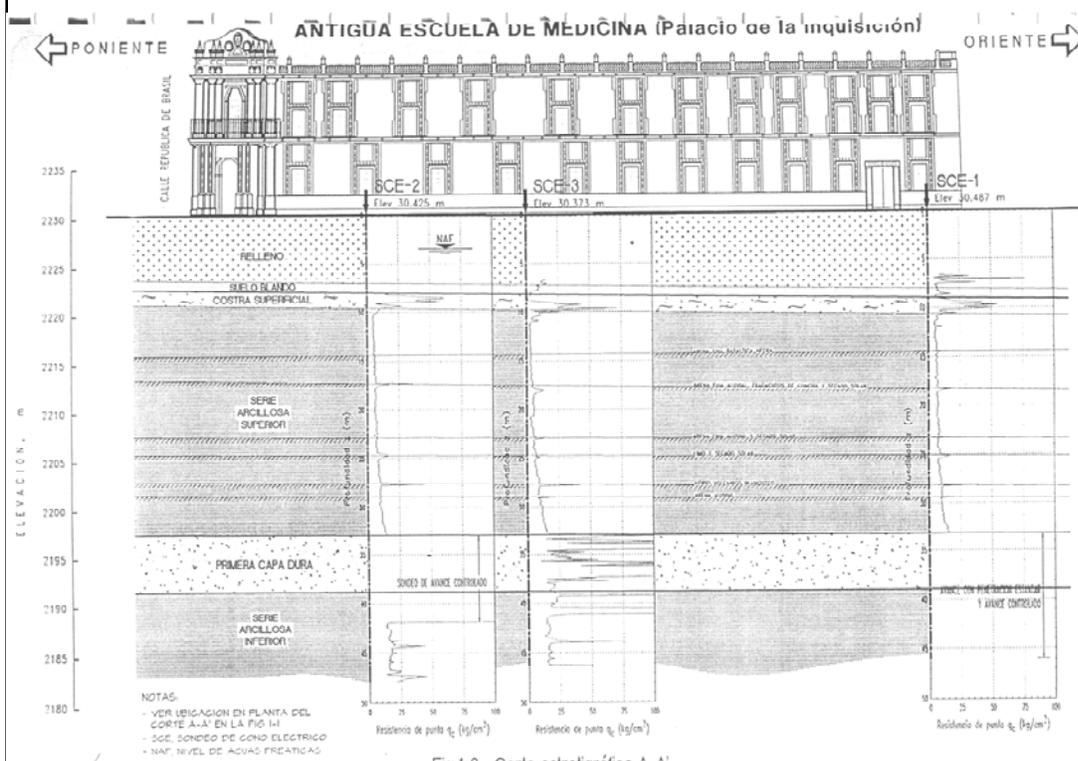
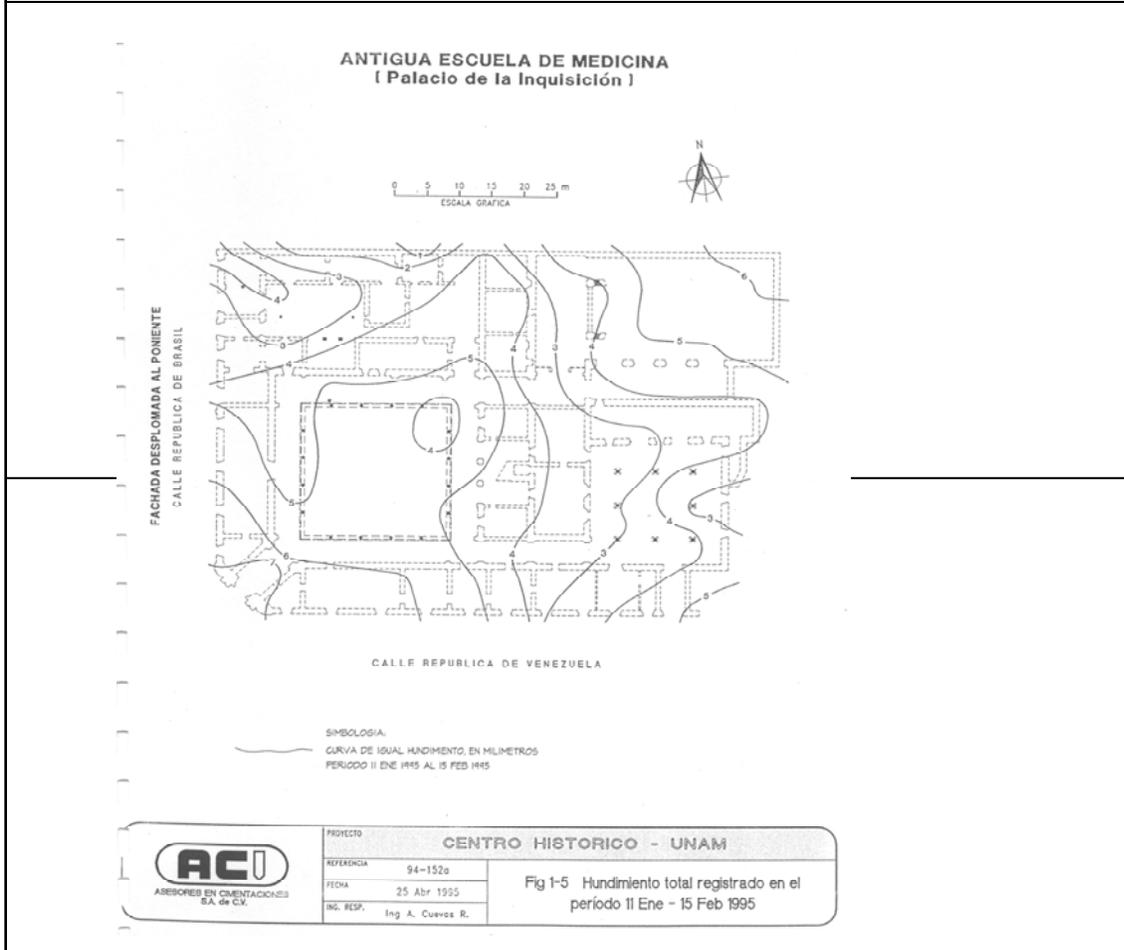


Fig 1-3 Corte estratigráfico A-A'

Influencia de la cimentación colindante en el edificio: No se presenta influencia de cimentaciones colindantes en el edificio.

Intervenciones en cimentación - estructura previas: Modificaciones realizadas por la gente que invadió el lugar.

Tendencias de hundimiento en la zona:



Desplomes en el edificio: No se pudo tomar muchos datos de este edificio.

Estos desplomes quedan registrados en el plano respectivo de desplomos. **DM1**

Deterioro del edificio debido a :

Hundimiento  SI Contaminación  SI Daños físicos causados por el ser humano:  SI

Otros:  Presencia de mucha humedad.

Tipo de carga actual: Ninguna.

Modificación de uso (con incremento de carga): NO.

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

**Edificio: Antigua Academia de San Carlos.** Época: S. XVIII  
 Ubicación: Academia No. 22, Centro Histórico, D.F.  
 Uso actual: División de estudios de pogrado de la ENAP. Sociedad de Ex-alumnos de la Facultad de Arquitectura. Fecha uso actual: 2000

**DATOS FÍSICOS:**

Superficie 4366.0 M<sup>2</sup> Niveles: 03  
 Terreno: 10497. M<sup>2</sup>  
 Superficie 0

**Construcción:**

**INTERVENCIONES PREVIAS:** Este inmueble fue intervenido en 1990; la restauración se realizó en el patio posterior en la parte que corresponde a la Facultad de Arquitectura. En marzo de 1992 se realizaron trabajos de restauración de la cubierta de la biblioteca y el salón conocido como Toreo. En Agosto de 1996 la intervención fue con base a la recuperación de la herrería y una parte de la azotea correspondiente al Fondo Reservado, mediante el sistema de enladrillado, alumbre y jabón. Otra intervención, fue la realizada en las salas de Exposiciones Temporales en 1996. En 1997 la biblioteca y fondo reservado. En 1999 se realizó trabajos de restitución del 80% de domos de mala calidad y la restauración del 20% de estructuras originales. En septiembre del 2000 se inician los trabajos de restauración de las galerías de arte. En el 2000 la Dirección General de Obras inició trabajos de rehabilitación de las áreas que albergarán la Sección Administrativa y la Sección escolar. En 2001 se realizó trabajos de restauración de las Galerías para conformar el Museo del Acervo Gráfico de la Academia, esto incluye otras partidas como la intervención del pretil y aplanado de la fachada norte.

**Características Constructivas:**

**Estructura:** Muros y materiales pétreos, mixtos y de tabique en algunas áreas.

**Techumbres:** Estructura heterogenea; losas de concreto, armaduras de madera, viguería.

**Ornamentación:** Fachada de estilo Neo-renacentista S. XIX. Medallones y esculturas.

**Características Especiales:** Este inmueble presenta diversas etapas constructivas facilmente detectables, por lo que se integran valiosas obras de arte a la arquitectura presente.

**Requerimientos de intervención:** Este inmueble requiere de una intervención integral liberando múltiples adosamientos y agregados. Aunque las tendencias de hundimiento en la zona no son tan altas, si tienen muchos agrietamientos.

**Bienes Artísticos:**

**Pintura Mural:** Pintura mural decorativa de diversas épocas. Obras murales de los alumnos. Valioso plafón decorativo con medallones de Sagredo en galerías Clavé.

**Bienes Muebles:** Pintura de caballete, Profusas colecciones de esculturas, yesos, escayolas, obra gráfica, numismática, pintura contemporanea, fotografía, biblioteca.

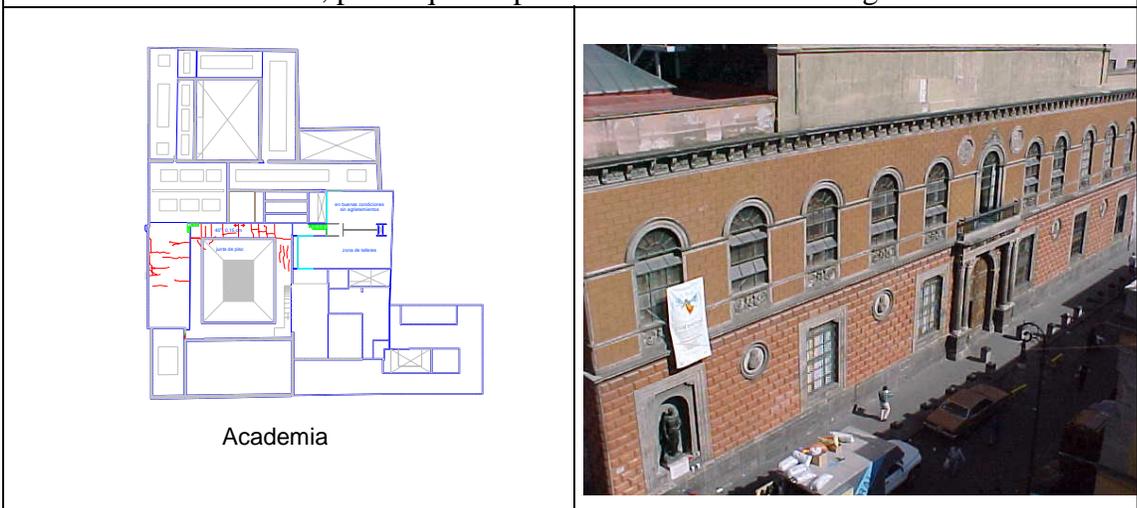
**Vitrales:** Existe en el inmueble el Escudo Universitario ubicado en el cubo de la

escalera;  
**Otros:** Medallones en fachada, esculturas en nichos.

**Relación con el entorno:**

De gran valor histórico y ambiental. Zona declarada patrimonio de la humanidad. (UNESCO). Operan restricciones federales. (INAH).

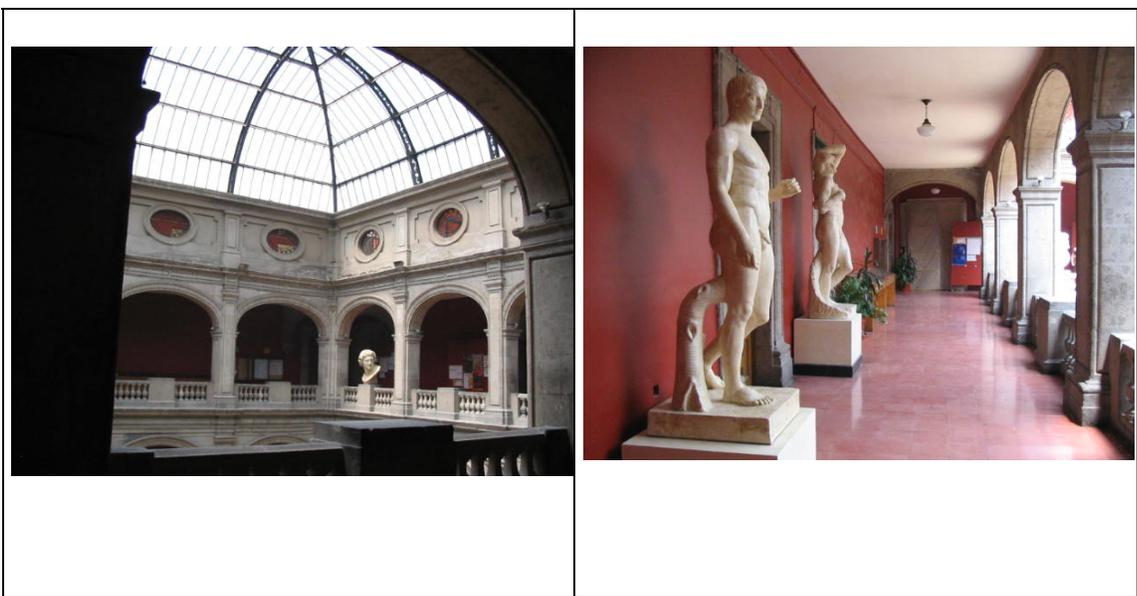
**Datos de edificios colindantes:** Edificios con características similares en altura y materiales constructivos, por lo que no presentan una influencia negativa.



Academia

**Croquis de Localización**

**Fachada.**



**Detalle del primer patio.**

**Pasillo en el segundo nivel, se aprecian los elementos arquitectónicos de este edificio.**



**Detalle de grietas en el remate de columna.**



**Elementos de cantera.**



**Zona de los talleres en San Carlos.**



**Detalle de las bancas del pequeño auditorio.**

	
<p><b>Vista hacia la salida de calle.</b></p>	<p><b>Patio del lado que pertenece a la Facultad de Arquitectura.</b></p>
	
<p><b>Detalle de las características constructivas en la zona de la Facultad de Arquitectura.</b></p>	<p><b>Vista de un taller de los que se usan en el Posgrado de la ENAP.</b></p>

FICHA PARA EVALUACIÓN DE EDIFICIOS

Edificio: **Antigua Academia de San Carlos.**

Ubicación: Academia No. 22, Centro Histórico, D.F.

**Condiciones para evaluar edificios**

Agrietamientos en :	
Muros: Se ubicaron agrietamientos tanto en P.B., como en P.A.	
Pisos: Presencia de grietas en algunos pisos.	
Losas: Se notaron agrietamientos en losas de azotea.	
Croquis de agrietamiento o foto:	
	
	
	

Humedad en : poca cantidad.
Muros: SI
Pisos: NO
Losas: NO
Tipo de estructura: Mixta.
Cimentación: Mixta.
Muros: Mampostería. Ladrillo.
Losa: Vigas de madera. Concreto armado.

Datos del edificio:

Siglo: S. XVIII

Geometría: Planta con patios centrales.

Uso actual: Educativo.

Peso que soporta actualmente: En la parte alta existe la biblioteca, que es el único lugar con carga considerable.

Datos de edificios colindantes: Estructuras y Materiales similares. Sin efectos negativos para el inmueble.

croquis:

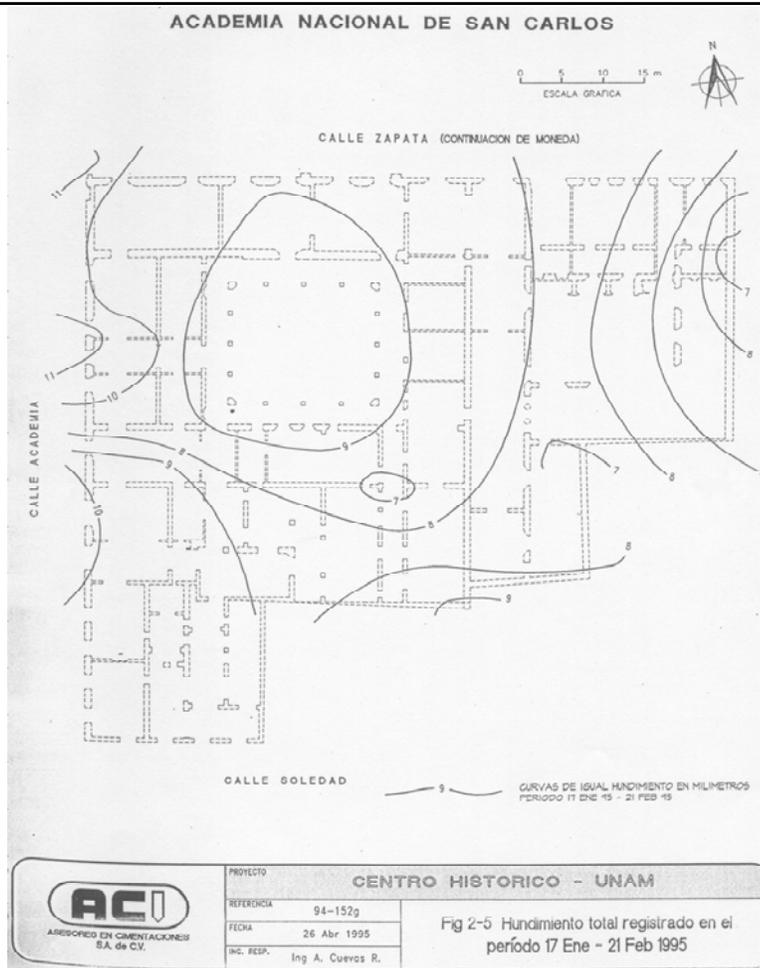




Influencia de la cimentación colindante en el edificio: sin influencia aparente.

Intervenciones en cimentación - estructura previas: no se han presentado intervenciones severas.

Tendencias de hundimiento en la zona:



Desplomes en el edificio: se ubicaron desplomes en muros y columnas en diferentes tendencias.

Estos desplomes quedan registrados en el plano respectivo de desplomos. DM1

Deterioro del edificio debido a :

Hundimiento	SI	Contaminación	SI	Daños físicos causados por el ser humano:	SI
Otros:					

Tipo de carga actual: carga de distintos aspectos dependiendo del taller o zona de la que se trate, pero sin excesos.

Modificación de uso: (con la consecuente modificación de cargas). Ninguna.

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)	H (OTRA)
Grietas ancho menor a 0.2 mm								
Grietas ancho entre 0.2 a menos de 0.8 mm								
Grietas ancho entre 0.8 a menos de 3 mm								
Grietas ancho entre 3 Y 6 mm								
Grietas espesor mayor de 6 mm								

DAÑOS EN TRABES

	A	B	C	D	E	F (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1						
Grietas espesor mayor de 1						
Pérdida de material						
Varillas	Visibles					
	Rotas					
	No existen					

DAÑOS EN COLUMNAS O CASTILLOS

	A	B	C	D	E	F	G (OTRA)
Grietas espesor hasta de 1							
Grietas espesor mayor de 1							
Pérdida de material							
Varillas	Visibles						
	Rotas						
	No existen						

<b>Edificio: Real y Pontificia Universidad.</b>	<b>Época: S. XVII</b>
Ubicación: Moneda 2	
Uso actual: <b>Sede del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad.</b>	
Fecha uso actual: 2001	

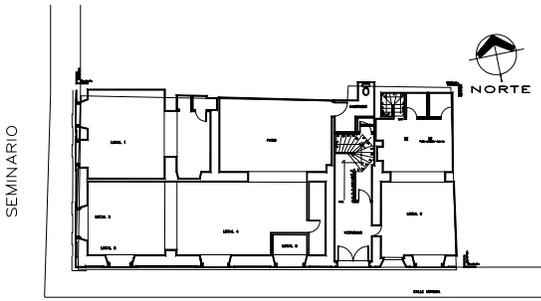
**DATOS FÍSICOS:**Superficie 307.0 M<sup>2</sup> Niveles: 03Terreno: 1040. M<sup>2</sup>

Superficie 0

Construcción:

INTERVENCIONES PREVIAS: Fecha de última intervención: Oct. 1995. Liberación de agregados, limpieza general. El proyecto fue realizado en diciembre de 1995. En Julio de 1996 se inician los trabajos de restauración del inmueble. En marzo de 1997 se termina con las obras de restauración. En Enero 1998 se inician los trabajos de adecuación al nuevo uso. En noviembre del 2000 se realizó la limpieza de la cantera. En enero de 1997 éste inmueble tuvo su restauración integral, la cual inició en julio de 1996, a la vez se realizó una consolidación importante en cuanto a su estructura. Se restituyó el sistema constructivo a base de viguería, entablado y rellenos de arena por un sistema de losas aligeradas manteniendo su conformación original. En Noviembre del 2000 se realizaron varios trabajos de mantenimiento del inmueble como: limpieza de la cantera de la fachada , limpieza de la herrería y limpieza de puerta principal.

**Características Constructivas:****Estructura:** Muros de carga, materiales mixtos.**Techumbres:** Losas aligeradas de vigueta y bovedilla con viguería de madera aparente.**Ornamentación:** Modificaciones de fines del S. XIX, algunos elementos del S. XVIII aún persisten.**Características Especiales:****Requerimientos de intervención:** Reparaciones menores.**Bienes Artísticos:****Pintura Mural:** Durante las calas de 1995 apareció pintura mural de época.**Bienes Muebles:****Vitrales:****Otros:** Se encontró una escalera de fierro fundido S. XIX, que durante exploración en 1995, esta fue restaurada y recolocada en el lugar original.**Relación con el entorno:** Con valor histórico y ambiental. Zona declarada patrimonio de la humanidad (UNESCO). Operan restricciones federales (INAH).**Datos de edificios colindantes:** Características constructivas y de materiales similares, por lo que no tienen efectos negativos para este inmueble. El problema real es la zona de monumentos prehispánicos.

	
<p><b>Croquis de Localización</b></p>	<p><b>Vista del edificio, ya restaurado.</b></p>

	
<p><b>La torre poniente de Catedral vista desde el edificio del PUEC.</b></p>	<p><b>Elementos constructivos después de la restauración.</b></p>

	
<p><b>Elementos de acero para reforzar la construcción.</b></p>	<p><b>Agrietamientos que se registran en menor medida en los enladrillados de azotea.</b></p>
	
<p><b>Detalle de agrietamientos aparentes en muros de azotea.</b></p>	<p><b>Presencia de pinturas originales de la decoración del edificio.</b></p>
	
<p><b>La parte alta del inmueble presenta un aspecto de buen estado.</b></p>	<p><b>Combinación de materiales en algunos espacios del inmueble.</b></p>

De los edificios analizados se desprende la siguiente tabla, la que nos indica las características de los inmuebles, su estado, su prioridad de intervención y la metodología propuesta para atacar el problema. Este proceso se debe seguir con los edificios en el centro histórico que pertenecen a la UNAM, para programar de manera óptima los tiempos, recursos y métodos a emplear.

Edificio.	Estado físico estructural.	Prioridad de Intervención.	Metodología para intervenirlo.
Palacio de Economía.	Muy bueno.	Baja.	Restauración de elementos arquitectónicos.
Palacio de Medicina.	Malo.	Inmediata.	Micropilotes en varias zonas, para contrarrestar las tendencias de hundimiento opuestas que se tienen.
Ex cárceles de la Perpetua.	Malo.	Inmediata.	Micropilotes en varias zonas, para contrarrestar las tendencias de hundimiento opuestas que se tienen.
Protomedicato.	Malo.	Inmediata.	Restauración integral, incluyendo reforzamiento de la cimentación en la zona sur del edificio.
Secundaria.	Ruinas.	Inmediata.	Restitución del inmueble.
San Carlos.	Bueno.	Mediano plazo.	Nivelaciones para determinar su condición y
Anexo de San Carlos	Bueno.	Baja.	Mantenimiento preventivo a los elementos estructurales.
Edificio del PUEC.	Bueno.	Baja.	Restauración de elementos arquitectónicos.
Palacio de la Autonomía.	Bueno.	Mediano plazo.	Micropilotes para aprovechar las tendencias de hundimiento de la zona y corregir los agrietamientos y desplomos.

# **III Casos representativos de procesos metodológicos empleados en edificios con problemas de hundimientos diferenciales en el centro histórico de la ciudad de México.**

---



Para poder llevar a cabo un proceso de rescate de un inmueble se requiere tener una visión integral del problema que pone en riesgo inmediato al mismo. No se debe partir de la idea de que el problema de rescate de monumentos arquitectónicos, en el centro histórico de la ciudad de México específicamente, debe partir de una estrategia de intervención de los elementos arquitectónicos, artísticos y decorativos únicamente, ya que se corre el riesgo de que este esfuerzo sea infructuoso en el largo plazo, dado que no se soluciona el problema fundamental del edificio, mismo que pone en grave riesgo a los bienes artísticos y arquitectónicos ya preservados en intervenciones reiterativas.

Se tiene la suficiente información y la técnica adecuada para poder llevar a cabo un estudio exhaustivo de las condiciones y características que el inmueble como tal, presentará en un futuro inmediato, determinando las acciones correctivas a implementar en el caso de que se presenten las condiciones predichas para las etapas de deformación del inmueble.

No vale la pena que se siga invirtiendo en restauraciones sucesivas de los inmuebles sin atacar el problema más recurrente en los edificios del centro: el hundimiento diferencial. Se gastan cantidades considerables de dinero en intervenciones que a la postre son paliativos demasiado costosos, y que ponen en peligro constante la estabilidad y seguridad de un edificio.

De los edificios que se han presentado como elementos de estudio cabe mencionar que básicamente se tienen identificados tres casos:

**A. El edificio que se han planteado como proyecto de intervención integral.**

En el que se contempla de manera conjunta el rescate del mismo. En este tipo de intervención se parte del diagnóstico que se tiene del problema específico, abarcando etapas de intervención y situaciones prioritarias; se parte por intervenir la estructura del edificio tanto en la superestructura como en la infraestructura con las técnicas pertinentes para cada elemento arquitectónico, de tal manera que los métodos correctivos no afecten de manera significativa a los mismos; estas técnicas y procedimientos se han establecido por un cuerpo de especialistas en la materia. Como parte complementaria y de manera paralela en ejecución se van interviniendo los elementos arquitectónicos y artísticos del edificio, sin que necesariamente se espere a la terminación de los trabajos de reforzamiento estructural o de nivelación o recimentación. Además se tiene la etapa de

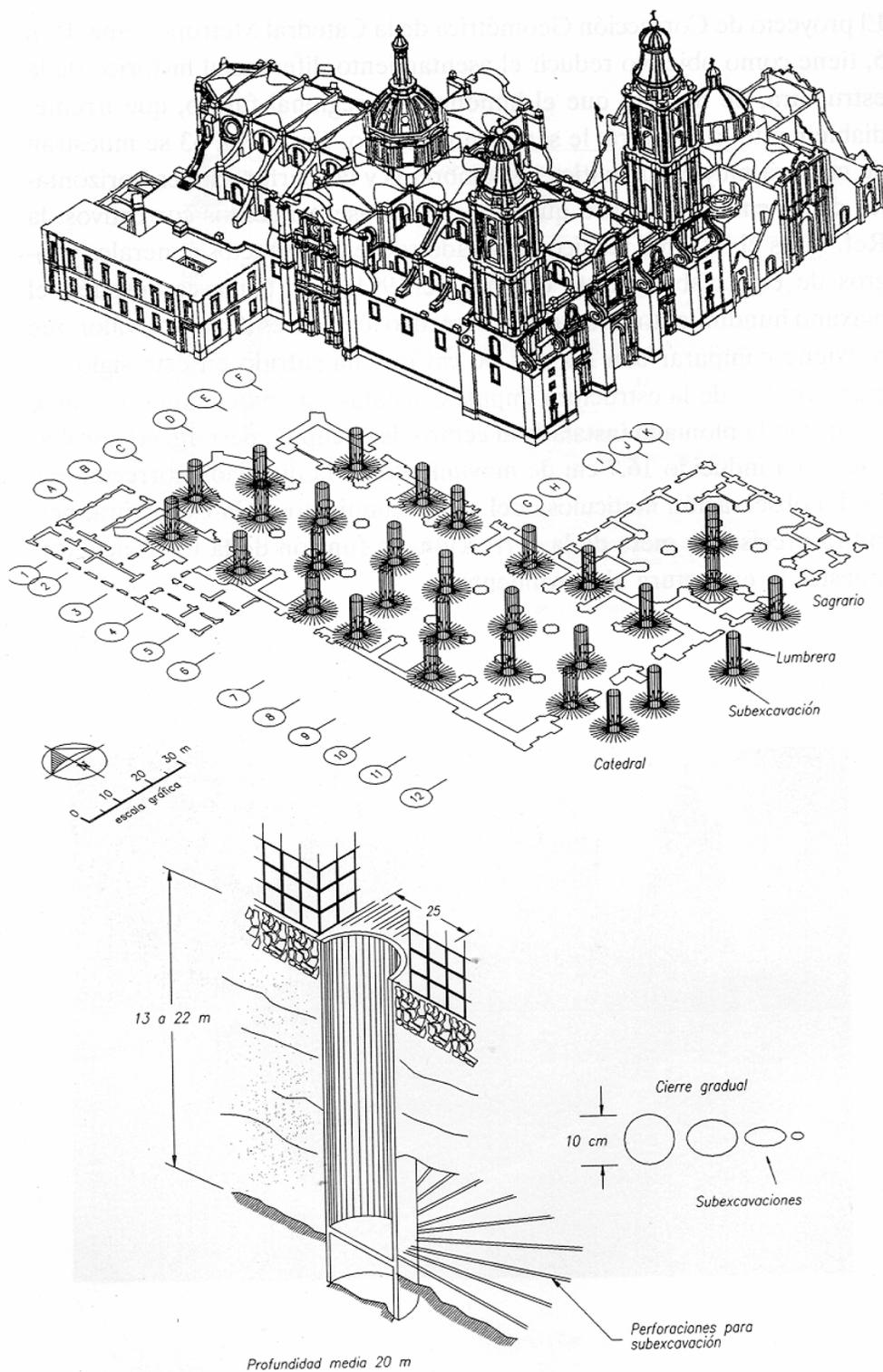
corrección de las tendencias de hundimiento, con técnicas de modificación del comportamiento físico de los suelos., para finalmente tener un monitoreo constante del comportamiento del edificio una vez terminada su intervención integral y de esta forma monitorear su respuesta con el paso del tiempo. Esta etapa es primordial, ya que se pueden dejar instrumentos de medición bastante sencillos como "testigos" del comportamiento, sin que sea demasiado costoso este proceso de revisión y presente un impedimento para revisar periódicamente el monumento. Aunado a esto se debe hacer notar la importancia de etapas de mantenimientos periódicos en los edificios. Esta solución es la idónea; sin embargo es la menos recurrente, ya sea por factores económicos o por falta de previsión a largo plazo; ya que garantiza que el conjunto de bienes artísticos que integran a un edificio patrimonial, se resguarde de forma más segura y a mayor plazo. De este tipo de intervención cabe mencionar el ejemplo más representativo de nuestra época y de nuestro lugar de estudio: La Catedral Metropolitana de la ciudad de México, en la que el proyecto integral abarcó todos los aspectos por considerar y se ha programado de manera eficiente cada trabajo específico, que requiere de especialistas en todas las áreas: restauradores, arquitectos, ingenieros geotécnicos y estructurales, topógrafos, y gran cantidad de técnicos en distintas disciplinas.

De 1992 a la fecha se ha venido trabajando en este inmueble para regresarlo a las condiciones que tenía en 1942<sup>1</sup>, con los resultados por todos conocidos, en donde en este momento se siguen con discusiones encaminadas a tomar las mejores decisiones en cuanto a su mantenimiento a largo plazo. La visión del problema de manera integral ha contribuido a que este disminuya notablemente y los riesgos que presentaba sean de proporciones mucho menores.

Cabe hacerse la pregunta: ¿este tipo de intervenciones integrales está en función del notable valor del inmueble? Quizá la respuesta sea afirmativa dadas las condiciones económicas por las que atraviesa el país, pero no debe restringirse y cerrar la posibilidad de este proceso a otros edificios del centro histórico.

---

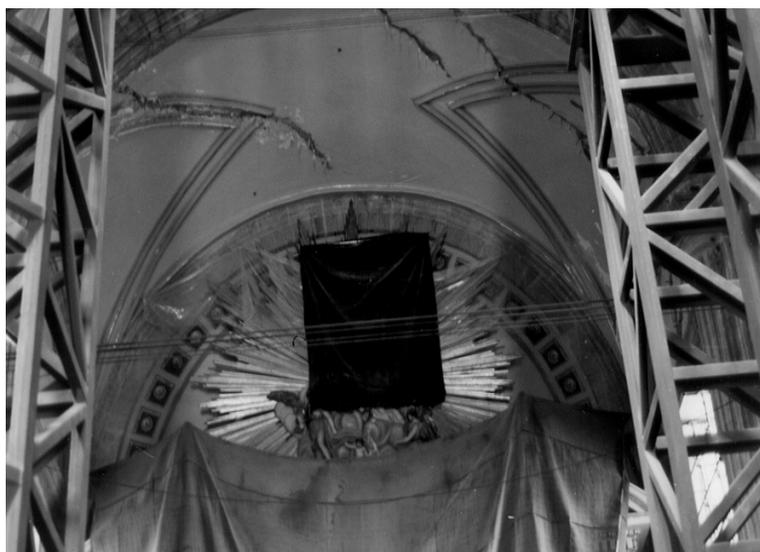
<sup>1</sup> López Carmona, Fernando. *Aspectos arquitectónicos y estructurales. Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana, Informe Técnico*. Amigos de la catedral, México, 1995.



Dibujo: Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana.

Figura 3.1. Esquema general de la subexcavación en la Catedral Metropolitana de la ciudad de México.

Figs. 3.2, 3.3 y 3.4. Vistas del proceso de subexcavación, metodología aplicada para la corrección de los desplomos presentados debido al hundimiento diferencial. Este proceso tuvo una planificación detallada y una supervisión constante para determinar los movimientos correctivos que presentaban los elementos estructurales de Catedral. Dada la importancia de este monumento, los costos de operación de este método de corrección no significaron un elemento que detuviera el mismo. Los excelentes resultados obtenidos en el proceso de la Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana de la ciudad de México, es reflejo de una planeación integral que soluciona todos los aspectos que se necesitan revisar en un proceso de intervención arquitectónica de un inmueble.



**B. Edificios en los que se han tenido intervenciones parciales y de inversión cuantiosa.**

Este tipo de intervenciones son bastante frecuentes y en las que se tiene bien determinado que la problemática de hundimiento diferenciales se detecta por los agrietamiento en elementos estructurales, como muros, losas y pisos. En estos casos se va a la restauración estética y se da prioridad a la renovación de los elementos originales del edificio como premisa fundamental, llegando en algunos casos a realizar proyectos de restauración, revitalizando los espacios y la reutilización del inmueble para fines y actividades actuales; este tipo de adecuaciones conlleva la implementación de sistemas de instalaciones especiales para cada uso del inmueble que logran poner a un inmueble histórico con las ventajas tecnológicas del presente. Como ya se ha mencionado, este tipo de intervenciones dan prioridad a cambios de pisos, rellenos de grietas en losas y muros con sus respectivos nuevos aplanados y pinturas, y sustitución de plafones. Todo esto lo único que logra es ocultar el testigo ocular del movimiento que presenta el edificio, ya que la presencia de grietas es lo que determina la posición en la que el edificio se está desplazando y al ocultarlas con nuevos elementos, se retarda la ubicación de estas tendencias. Generalmente, al rellenar las grietas con cierto tipo de mezclas, se tiene la reiteración de las mismas en un plazo de tiempo determinado y esta solución solamente alarga el plazo en el que se tendrá que intervenir de manera estructural el edificio, ya que no se detiene el hundimiento del edificio. El peligro que representa para el edificio este tipo de intervenciones, es que al momento en que nuevamente aparezcan las grietas, causadas por el desplazamiento de los elementos arquitectónicos puede ser demasiado tarde y se pongan en riesgo algunos elementos arquitectónicos; se tienen documentados casos en los que las losas de vigas de madera están a punto de caerse por el desplazamiento tan fuerte que han tenido y que al momento de intervenirlas casi no tienen soporte en los muros de carga. De la misma manera, la inversión que se hace para corregir los pisos, losas y muros son recursos con poco beneficio, ya que a mediano plazo se requerirá nuevamente de una intervención para mejorar su apariencia.

En este tipo de intervenciones se puede mencionar la intervención que se ha realizado en el antiguo Palacio de la Inquisición, en donde pese a reiteradas intervenciones periódicas y a constantes rellenos en grietas de muros, se mantienen los problemas principales y surgen las grietas en donde se terminaba el relleno de la grieta anterior; es de especial interés hacer ver que pese a obras de reforzamiento en elementos arquitectónicos aislados, como núcleos de escaleras, el problema persiste y aqueja al viejo edificio de manera constante y en cada vez

mayores lugares. El problema de hundimiento en este inmueble marca la pauta a seguir para futuras intervenciones, ya que se ha detectado de manera importante la presencia de dos tendencias de agrietamientos en el inmueble.

Fig. 3.5. Aparición de grietas en el Palacio de Medicina, sobre algunas que se habían inyectado previamente, para ocultarlas. Este proceso es reiterativo en algunos edificios del Centro Histórico, en los que, dependiendo del tipo de mezcla utilizado, no se ataca el problema de fondo que es el hundimiento diferencial. Las grietas son las muestras de que los edificios se siguen hundiendo, la inyección de grietas puede resultar inconveniente en ocasiones, dado que se oculta el testigo que se tiene de las velocidades de movimiento del inmueble.



Otro edificio con estas características es el Palacio de la Autonomía, en el que se han puesto grandes recursos para recuperar un inmueble bellissimo e integrarlo a las actividades cotidianas de la UNAM, un ejemplo claro de lo que se plantea como reto para cada edificio rescatado y restaurado: la integración a nuevas actividades y el uso constante de sus instalaciones. El principal problema, sin embargo, es la falta de visión del problema del hundimiento aquejado por las constantes grietas en muros y losas principalmente, así como el notorio desnivel en algunos espacios del edificio.

Fig. 3.6. Vista de los agrietamientos que presentaba el inmueble del ahora Palacio de la Autonomía, en el proceso de restauración. Se rellenaron las grietas y se les dio un tratamiento para “maquillar” este aspecto que visualmente resulta alarmante. Con las tendencias de hundimiento que se presentan en la zona y las condiciones del subsuelo, es altamente probable que los agrietamientos sigan apareciendo en un lapso de tiempo corto.



La intervención abarcó, como se ha mencionado la sustitución de pisos y el recubrimiento de muros y plafones. Con las tendencias de hundimiento de la zona y la cercanía al Templo Mayor, los movimientos diferenciales en el suelo no tardarán en aparecer en la estructura de tan digno edificio, con las consecuencias ya mencionadas: agravamiento del problema, reiteración de grietas y un efecto visual alarmante para los futuros usuarios del edificio.

Cabe señalar que este tipo de casos hace que la inversión en las intervenciones arquitectónicas, sea mayor con el paso del tiempo que si se hubiera tomado la decisión de tener un manejo integral de intervención y restauración arquitectónica.



Fig. 3.7. Vista del proceso terminado en la parte de la zona de las escaleras, en donde se aprecian los elementos arquitectónicos impecables, de tal forma que da la apariencia de no tener ningún problema relacionado a los hundimientos diferenciales. A la larga es cuando aparecerán nuevamente los agrietamientos que indicaran que el edificio sigue con el problema latente. La importancia de atacar el problema del hundimiento diferencial, a la hora de una intervención debe contemplar un programa integral de recuperación, de lo contrario se seguirán presentando agrietamientos, desplomos y las intervenciones son parciales. Los costos de intervención de este tipo de inmuebles, dadas las características de los detalles arquitectónicos que se tienen son altos, por lo que conviene que se hagan la menor cantidad de ocasiones. Eso se puede hacer con atacar el problema de raíz, es decir analizar que solución se dará a la cimentación.

C. Edificios con problemas de hundimiento y con intervenciones parciales debido a factores externos (físicos o económicos) limitantes.

Este tipo de edificios se han intervenido con técnicas de restauración en elementos arquitectónicos importantes y se tiene la información necesaria para determinar que se requiere de una intervención mayor, pero dadas las limitantes económicas, se han realizado solamente intervenciones menores preservando los elementos arquitectónicos primordiales y considerando importante tener acciones correctivas frecuentes. O en casos específicos se tiene detectado que los problemas de hundimiento son constantes pero no representan gran peligro para el inmueble.

En este tipo de edificios tenemos el caso de la Academia de San Carlos, en donde se tomó la determinación de no llevar a cabo acciones mayores, dado que los movimientos diferenciales del inmueble no representaba mayor peligro.

Otro ejemplo es el Palacio de Economía, en donde se atacó el problema más aquejante, que era en el muro poniente.



Fig. 3.8. En el proceso de restauración del Palacio de Economía, se trabajó en el problema más apremiante y se continuó con el proceso de restauración de los demás elementos arquitectónicos.

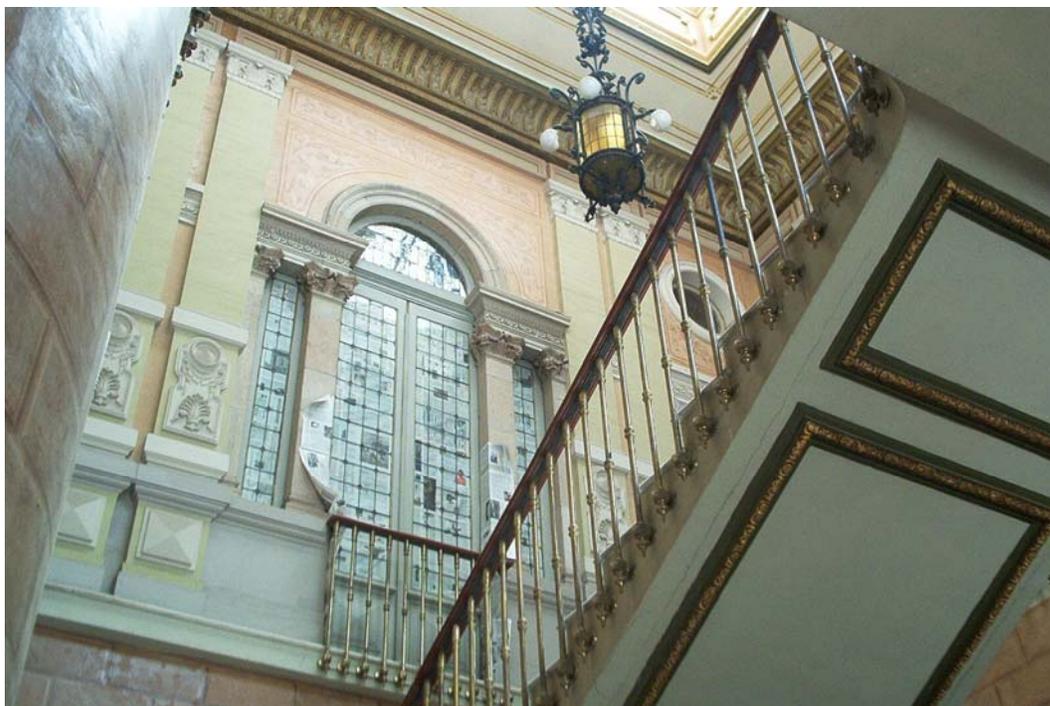


Fig. 3.9. Detalles de la restauración del inmueble, lo que muestra la importancia de éste para el Patrimonio Universitario.



Fig. 3.10. En el edificio de San Carlos no se ha trabajado mucho en los agrietamientos ya que las tendencias de hundimiento son bajas y no se presenta riesgo latente.

### 3.1. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS FRENTE AL HUNDIMIENTO DIFERENCIAL.

#### 3.1.1. CONSIDERACIONES INICIALES.

Para entender las diferentes opciones que se tienen para enfrentar un caso de hundimientos en edificios, se debe considerar la parte total del caso, como reaccionará a cierta metodología u otra. Depende principalmente de su configuración estructural y de los materiales utilizados en su construcción. En la zona centro, de los edificios analizados tienen una estructura de mampostería, a base de muros de carga y viguería, así como elementos de mampostería con bóvedas, principalmente en las iglesias. Se sabe de manera clara que la configuración estructural de los edificios juega un papel preponderante en su respuesta ante eventos sísmicos de una magnitud considerable; es por esto que los edificios coloniales asentados en el centro histórico de la ciudad, han enfrentado gran cantidad de eventos sísmicos de gran magnitud con relativo éxito, esto se puede explicar de manera clara, los edificios coloniales por ser construidos con materiales que soportan muy poco los esfuerzos de flexión tenían una densidad estructural alta, así como no eran muy esbeltos. Esta conformación da una respuesta adecuada a las ondas sísmicas. Los edificios bajos tienen períodos de vibración cortos, por lo que se encuentran con una respuesta favorable a las aceleraciones presentadas por el suelo y logran aceleraciones similares. Este factor se torna diferente cuando se trata de edificios con alturas entre los 20 y 40 metros, cuyos períodos de vibración son más elevados y se pueden producir colapsos en ellos. Los edificios de más de 40 metros producen efectos favorables para aminorar la aceleración del suelo. En la figs 3.11 y 3.12, se puede apreciar la preponderancia de edificios bajos con una densidad estructural elevada, lo que logró que muchos de estos edificios no se vieran muy afectados por el sismo del 85. Se aprecia de manera clara que aún en la actualidad los edificios altos en esta zona, (donde las ondas sísmicas se ven amplificadas por el tipo de suelo lacustre, haciendo un efecto de gelatina en la zona), no están presentes en gran cantidad a excepción de los templos. Cuando se presentan escenarios de suelos blandos los edificios deben tener preferentemente estructuras rígidas para contrarrestar estos movimientos, caso contrario en suelos duros donde si son benéficas las estructuras flexibles.<sup>2</sup>

Para entender pues dicho comportamiento las estructuras las podemos diferenciar en cuatro grandes rubros:

---

<sup>2</sup> INAH/CNMH. Normas y especificaciones generales para aplicar en edificios históricos dañados por el sismo de del 15 de junio. México, D.F., 1999.

1. Edificios con mamposterías con bóvedas.
2. Edificios a base de muros de carga y vigería.
3. Edificios con muros de carga y losas de concreto.
4. Estructuras hiperestáticas.



Figura 3.11 Vista del centro histórico de la ciudad, en donde se aprecia las construcciones bajas con las que se desplantó toda esta zona, con estructuras de mampostería y sistema de entrepiso de muros y vigas. Imagen: México en el tiempo. Fisonomía de una ciudad.

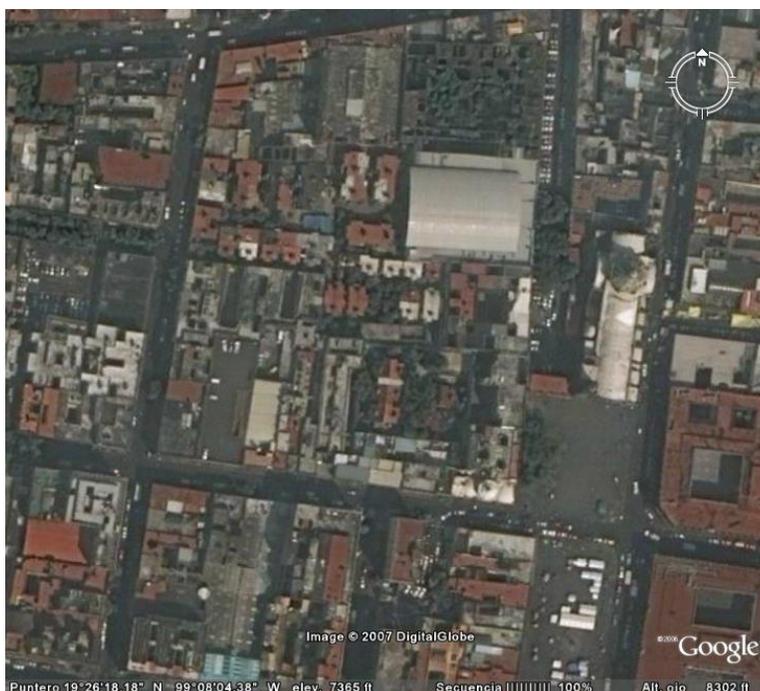
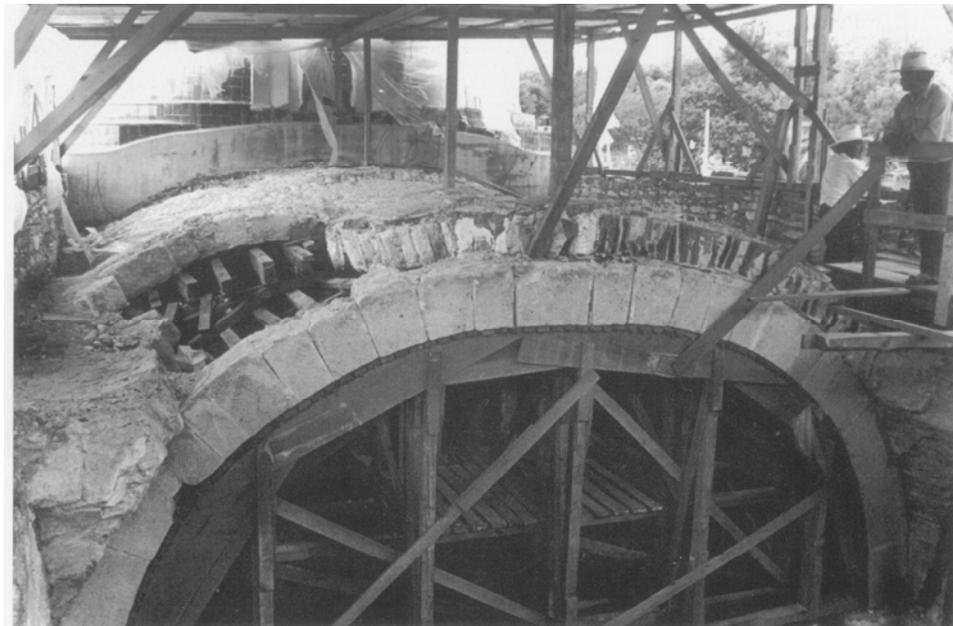


Figura 3.12 Vista actual del centro histórico de la ciudad, en donde se aprecia las construcciones bajas con las que se desplantó toda esta zona, con estructuras de mampostería y sistema de entrepiso de muros y vigas. Se aprecian además las estructuras de mampostería con techos de bóvedas, con que se caracterizaban las iglesias de la época.

### 3.1.2. EDIFICIOS A BASE DE MAMPOSTERÍAS CON BÓVEDAS.

Este tipo de edificios los podemos localizar preferentemente en las iglesias y en algunos edificios civiles con corredores en forma de bóvedas de cañón corrido, (fig. 3.13).



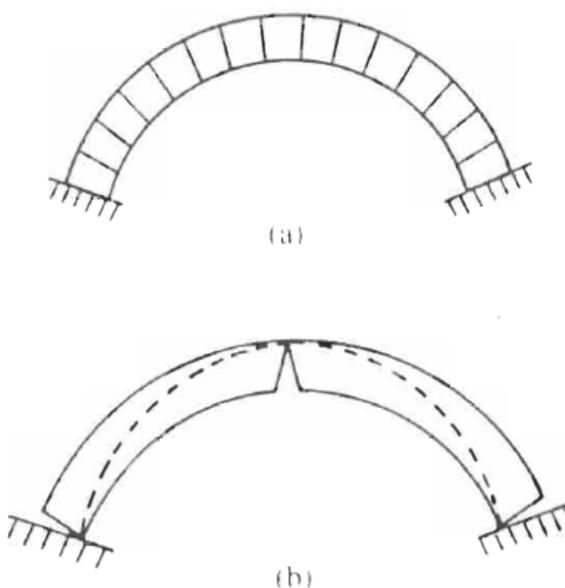
*Figura 3.13 Configuración estructural de un sistema de bóvedas apoyadas en la mampostería. Foto: Patrimonio y sismos. Memoria fotográfica de los sismos en 1999 en el estado de Oaxaca.*

Sus características estructurales son que trabajan a compresión en la parte de la cubierta, específicamente en las bóvedas, cuyos esfuerzos implican la construcción de contrafuertes para contrarrestar los empujes laterales de las bóvedas, de la misma forma obliga a trabajar con muros gruesos de mampostería. Una de las formas más comunes de encontrar en los edificios del centro, son las bóvedas de cañón corrido, se conoce comúnmente que la extensión del arco es la bóveda o la sucesión de arcos da forma a ésta. Menciona el Dr. Roberto Meli que “Al igual que para los arcos, el aspecto crítico para la estabilidad de las bóvedas es la rigidez de sus apoyos. En este caso se necesita evitar el movimiento hacia fuera en toda la longitud de la bóveda. La necesidad de un apoyo continuo entra en conflicto con la permitir acceso e iluminación al interior. Esto se resuelve perforando los muros de apoyo con arcos u otras aberturas que no afecten significativamente la rigidez del muro. Por la poca aptitud de la

mampostería para recibir tensiones, no es común que se haga trabajar la bóveda como viga en sentido longitudinal, sino que se propicia el apoyo continuo en sus bordes.<sup>3</sup>

En el caso de la falla de este sistema estructural es debido a la inestabilidad de los apoyos, a la falta de resistencia en los muros laterales o por excesos de esfuerzos que hacen que los arcos rebasen sus líneas de presión permitidas o establecidas para poder con su trabajo estructural. Generalmente las fuerzas internas de equilibrio de un arco son compensadas con las cargas externas que soportan. (Fig. 3.14).

Mientras no exista tensión en las bóvedas estas seguirán trabajando y resistiendo las fuerzas de compresión a las que están sometidas, pero cuando se exceden sus límites de equilibrio, empiezan solicitaciones de tensión a las que no están adecuadas, por lo que generalmente empiezan a ceder en sus puntos de quiebre, mismo que está marcado por el caso específico en donde se presente el exceso de esfuerzos de tensión y las fallas de cedencia de los apoyos lo marquen. (Figuras 3.15 a 3.17). Este tipo de estructuras se ven afectadas de manera general por el hundimiento diferencial ya que la diferencia de niveles de los apoyos, es muy frecuente, por lo que se debe prestar especial atención a los límites de trabajo de las bóvedas.



*Figura 3.14 Línea de esfuerzos de los arcos, sobre los cuales trabajan de forma adecuada estructuralmente. Cuando por diversas razones exceden esta línea de presión, empiezan a fallar o a ceder ante los esfuerzos de tensión. Dibujo tomado de Heyman.*

<sup>3</sup> Meli, Roberto. *Ingeniería estructural de los Edificios Históricos*. ICA, México, 1998.

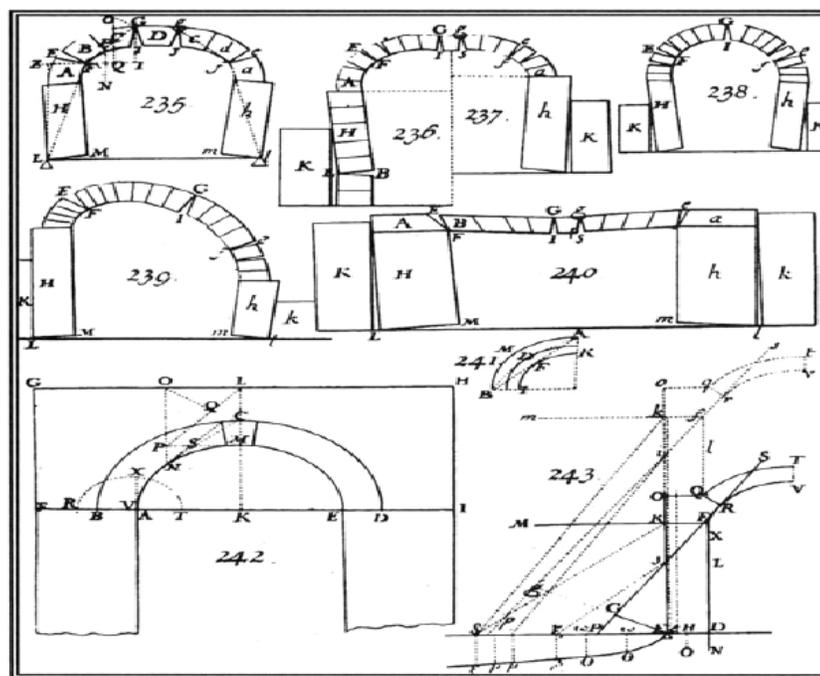


Imagen 3.15 Mecanismos de falla en bóvedas. Se aprecian algunos casos en los que pueden darse fallas estructurales debido a diversas circunstancias, generalmente asociados a la falla de los apoyos. Dibujo tomado IMT.

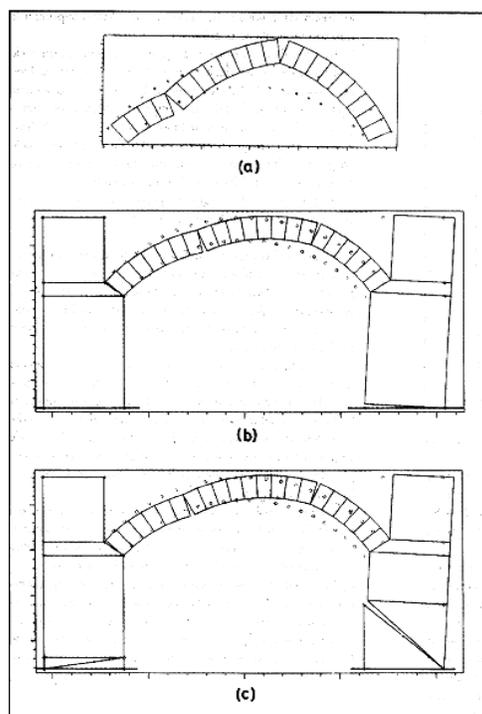


Figura 3.16 Mecanismos de colapso: a) arco, b) arco sobre contrafuertes rígidos, c) arco sobre contrafuertes fracturados. Tomado de Revista de Obras Públicas, diciembre 2003.

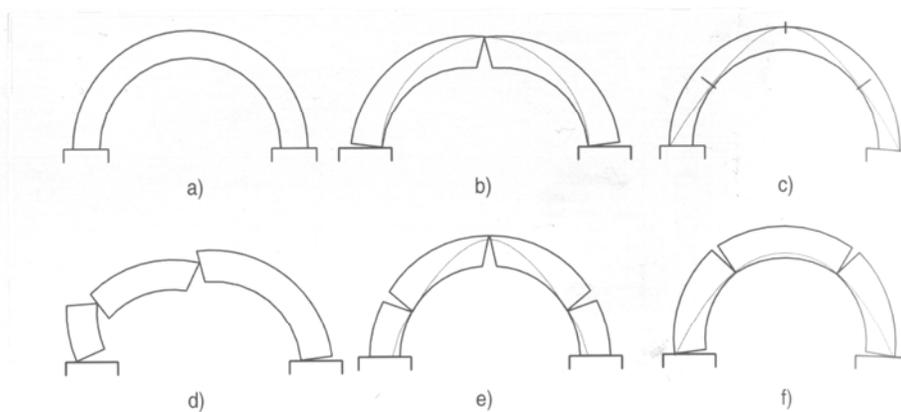


Imagen 3.17. "Ante carga vertical uniforme, la bóveda forma primero tres articulaciones plásticas (b), con las cuales se vuelve estáticamente determinada; al aumentar más la carga, idealmente se forman otras dos articulaciones en los lomos (c). En realidad, una mínima asimetría de la carga o de la geometría provoca que se forme primero una de las dos articulaciones en los lomos (d), con lo que se tiene un mecanismo y ocurre el colapso. Si los apoyos como es común, cede hacia fuera, el mecanismo es como el mostrado en (e); si los apoyos empujan hacia adentro se forma el mecanismo (f)." Tomado de Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos.

### 3.1.3. EDIFICIOS A BASE DE MUROS DE CARGA Y VIGUERÍA.

Edificios localizados casi en la totalidad de los casos analizados en este trabajo, en donde podemos encontrar infinidad de edificios cuyas características principales son, que trabajan con una transmisión de esfuerzos de las losas hacia los muros, pero que no tienen una continuidad estructural que permita contener los esfuerzos horizontales que producen las losas y terminan llegando a fallar en las uniones de losas y muros. Generalmente en los edificios coloniales se utilizó un sistema de vigas de madera conformando un sistema de entrepisos en la mayoría de ellos. Por cuestiones de durabilidad en las vigas de madera, en la actualidad pocos sistemas de vigámenes se conservan. Sin embargo en algunos edificios, se conservan vestigios de la sustitución de las vigas de madera por viguetas de acero con lámina corrugada de acero, mismas que tienen el mismo trabajo estructural al ser simplemente apoyadas en los muros, es decir no existen en su época los materiales que puedan ofrecer esta continuidad o unión estructural. Estos sistemas, al no poder brindar respuesta a estas solicitaciones estructurales que se presentan en las uniones, dejaron de ser usados en las construcciones posteriores, reflejo también de nuevas formas y expresiones arquitectónicas, dadas el avance tecnológico posterior. En las construcciones coloniales que se analizan en este trabajo se aprecia la forma clásica de estas construcciones con este sistema: vigas de madera apoyadas sobre muros de mampostería, sobre las que se da una trama de madera, tierra y loseta de barro, como una de las variantes utilizadas. (Figs. 3.18 a 3.21.). Otra de las formas que se puede encontrar este

sistema es un sistema de la bóveda catalana. (Figs. 3.22 y 3.23). Este tipo de edificios presentan problemas de desajuste en sus elementos debido al hundimiento, ya que como se ha hablado no soportan esfuerzos de tensión, que son producidos por el hundimiento diferencial de sus elementos estructurales.



*Figuras 3.18, 3.19.  
 Detalles de entrepiso  
 característicos en los  
 edificios coloniales en  
 el centro histórico de la  
 ciudad de México. Se  
 aprecian las vigas de  
 madera, el entramado  
 de madera y el relleno  
 de tierra, terminando  
 con el piso a base de  
 loseta de barro o  
 loseta cerámica.  
 Fuente propia.*





*Figuras 3.20 y 3.21. Detalles de entrepiso característicos en los edificios coloniales en el centro histórico de la ciudad de México. Se aprecian las vigas de madera, el entramado de madera y el relleno de tierra, terminando con el piso a base de loseta de barro o loseta cerámica. Fuente propia.*



*Figuras 3.22 y 3.23 Detalles de entrecimso característicos en los edificios coloniales en el centro histórico de la ciudad de México. Variantes de bóvedas catalanas y arcos metálicos apoyados con vigas metálicas. Fuente propia.*

El Dr. Meli<sup>4</sup> menciona que las principales debilidades de estos sistemas estructurales son la baja resistencia a la tensión que tienen las mamposterías. Precisa “Los sistemas estructurales básicos de las estructuras de mampostería son eficientes para resistir las cargas gravitacionales que se transmiten esencialmente por apoyo directo a través de fuerzas axiales de compresión;

<sup>4</sup> Meli, Roberto. Op. Cit.

no lo son para transmitir las fuerzas de inercia, que pueden actuar en uno u otro sentido y que pueden generar fuerzas de tensión entre dos elementos”.

De alguna manera este sistema tiene la virtud de responder a sollicitaciones básicas de compresión, lo que en teoría lo hace vulnerable ante los eventos sísmicos de considerable magnitud, cosa que se vio un tanto superada con las buenas reacciones que se han tenido en estos edificios en los sismos de más de 6.0 grados que se han presentado en los años recientes, dado que han resistido y respondido estructuralmente mejor que algunos edificios más recientes.

#### **3.1.4. EDIFICIOS CON MUROS DE CARGA Y LOSAS DE CONCRETO.**

A diferencia del sistema anterior, un edificio con losa de concreto permite resistir los efectos de tensión entre los dos elementos: muros y losa. Con este sistema se ubican algunos edificios que han sido remodelados y que se ha trabajado con este sistema para tener una mejor respuesta estructural ante los eventos sísmicos.

En algunos caso se han encontrado edificios que trabajan con sistemas de muros losas con los dos tipos mencionados hasta ahora, en una parte se tiene la construcción original con el sistema de vigas de madera y en otros se presenta el caso de losas de concreto con vigas y trabes de concreto formando marcos rígidos que forman un entramado de elementos que resisten mejor a los sismos. (Fotos 3.24 a 3.27).

La forma de trabajo estructural básicamente es la misma, transmisión de esfuerzos de los elemento horizontales a los verticales, pero la gran diferencia es la posibilidad a través de los elementos de concreto armado, que permite darle una continuidad estructural a los elementos, de tal forma que se logran las uniones de los elementos y se trabaja con esfuerzos de flexo compresión, cosa que no se logra con el sistema de apoyos simples. En la figura 6.18 se muestra un análisis comparativo de cómo trabajan estructuralmente los dos sistemas analizados anteriormente, en donde se representa como un sistema hace un sistema de diafragma (b), en el caso de los sistemas de muros y losas de concreto, logrando que los esfuerzos sean transmitidos hacia las vigas sobre los que se apoyan las losas y por otro lado los sistemas de muros de carga y losas de vigas de madera en los que las losas transmiten las fuerzas de inercias hacia los muros sobre los que se apoya, provocando que se presente empujes que en muchos casos provocan la falla de los muros de apoyo.



*Figuras 3.24 y 3.25. Algunas intervenciones en los edificios coloniales, han sido con la inclusión de elementos elasto plásticos, como el concreto armado, estas modificaciones muchas veces no se realizaron de manera adecuada por lo que actualmente se presentan problemas de agrietamientos debido a la mala ubicación de estos elementos. . Fuente propia.*



*Figuras 3.26 y 3.27. Aparición de losas con casetones en algunos edificios coloniales, se aprecia el sistema mixto que se presenta en estos casos, se notan los restos de los elementos originales de estos edificios. Fuente propia.*

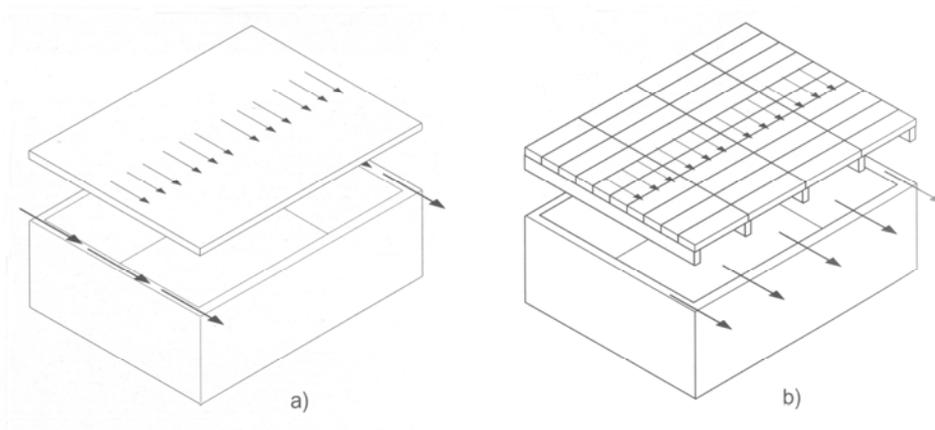


Figura 3.28. Comparación de los sistemas de estructurales basados en los muros de carga y vigas (a) y los sistemas estructurales a base de muros de carga y losas de concreto. Tomado de *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*.

### 3.1.5. ESTRUCTURAS HIPERESTÁTICAS.

Este tipo de estructuras, no son tan comunes en el área en que se presenta este estudio, sin embargo debido a diferentes circunstancias existe la presencia de éstas en la zona. (Fig. 3.29). Estos edificios son característicos del siglo XX, son sistemas estructurales que pueden resistir esfuerzos de flexión y de compresión, produciendo una libertad mayor en los claros que se pueden lograr, en su tamaño y altura.

La definición de hiperestático puede expresarse de la siguiente forma: "Característica de una estructura por la cual las cargas aplicadas pueden equilibrarse por múltiples trayectorias de fuerzas internas. Esto hace a la estructura redundante. La trayectoria "real" de fuerzas depende de las rigideces relativas entre los distintos elementos de la estructura".<sup>5</sup>

Este tipo de estructuras tienen el beneficio que se pueden modificar los elementos que componen la estructura para aumentar su resistencia, tal es el caso de los elementos prefabricados con la aplicación del presfuerzo. Se habla de hiperestaticidad interna y externa dependiendo de la estructura misma y de los apoyos externos.

<sup>5</sup> Meli, Roberto. Op. Cit.

Si bien es cierto que no existen muchos edificios con estas características en el centro de la ciudad, cuando se presentan, también se añade un problema a los edificios coloniales debido a los bulbos de presión que se forman con las nuevas cimentaciones, que son de mayor peso y mayor profundidad que las alledañas, provocando hundimientos en los edificios cercanos.



*Figura 3.29. Presencia de edificios con estructuras hiperestáticos en el centro histórico. Fuente propia.*

### 3.1.6. Metodologías empleadas para atacar los problemas de hundimientos diferenciales.

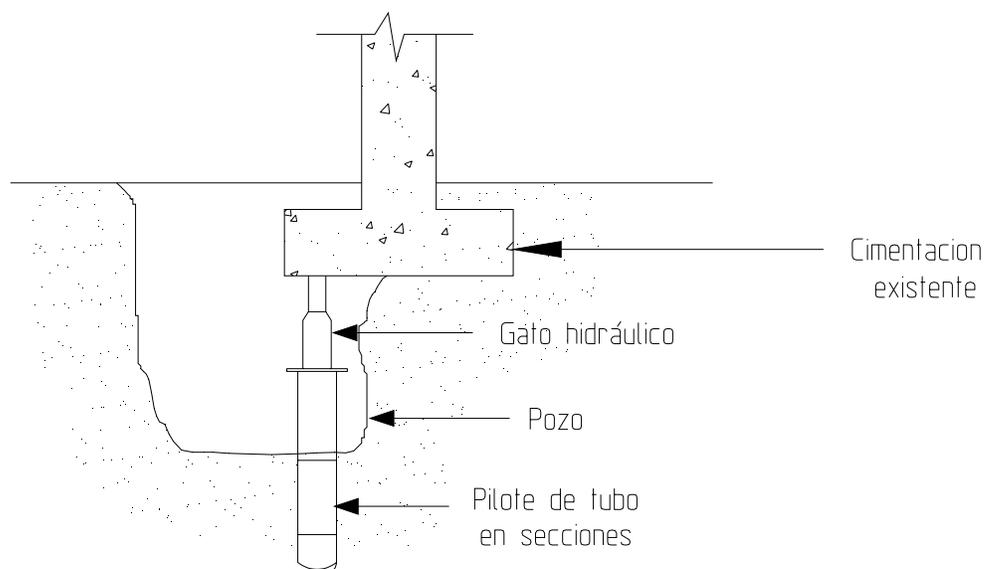
#### *3.1.6.1. Método del Pozo.*

Se requiere la excavación de un pequeño pozo debajo de parte de la cimentación existente. Se construye un nuevo cimiento profundo en el agujero o se introducen en el suelo pilotes de tubo por medio de gatos que reaccionan contra la cimentación existente. Los tubos en tramos de 60 cm, se introducen al suelo por medio del gato y después se excava el interior usando un cubo,

120

Catálogo de Monumentos en el centro histórico de la ciudad de México, afectados por el hundimiento.

un chorro de vapor o una barrena. La nueva cimentación se hace por secciones, de manera que la cimentación antigua no se encuentre nunca sin soportes (fig. 3.30).



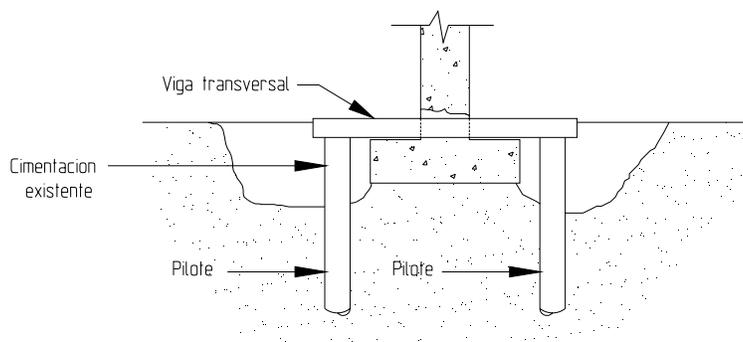
Dibujo: Teoría de cimentaciones para Arquitectos

a) Método del pozo. Se hincan los pilotes de tubo reaccionando el gato contra la cimentación existente

*Figura 3.30. Método del pozo.*

### ***3.1.6.2. Método de Vigas Transversales.***

Comprende la hincada de pilotes o la construcción de una nueva cimentación lo más próxima posible a la cimentación antigua. Esto es necesario cuando la cimentación antigua es tan pequeña o débil que es imposible excavar un pozo debajo de ella; como se dispone de mayor espacio para trabajar, es, con frecuencia, más económico que el método de los pozos. La carga se transfiere de la cimentación antigua a la nueva por medio de vigas transversales que se colocan debajo de la cimentación antigua o a través de ella. Las grapas o abrazaderas fuertemente atornilladas, o muescas hechas en el concreto o soldadas a una columna de acero, permiten colocar vigas transversales por arriba del cemento (fig. 3.31).

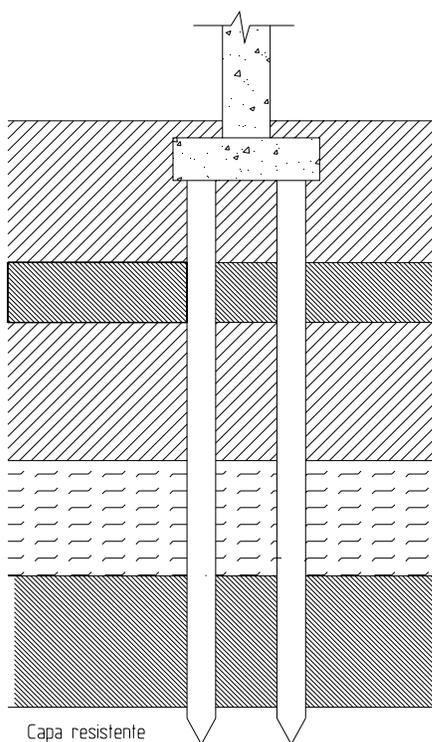


b) Método de las vigastransversales.  
Se hincan los pilotes a los lados de la cimentación existente

Figura 3.31. Método de vigas transversales.

### 3.1.6.3. Recimentación por medio de Pilotes de Punta.

Consiste en apoyar la cimentación en pilotes que se desplantan en la capa dura. Estos pilotes son los que soportan todo el peso de la cimentación y del edificio. Sin embargo en la ciudad de México dado el alto índice de hundimiento presentado, los edificios generalmente sobresalen del piso o de los jardines, como en el caso de el Ángel de la Independencia entre muchos (fig. 3.32).



Dibujo del autor

Figura 3.32. Método de pilotes de punta.

#### **3.1.6.4. Sistema “Pali Radice”**

Este procedimiento es de origen italiano, (patentado en 1950, por el Ingeniero italiano Fernando Lizzi), se realiza a base de pilotes de concreto con alma de acero, que se sitúan debajo de las cimentaciones a realizar, mediante perforaciones oblicuas.

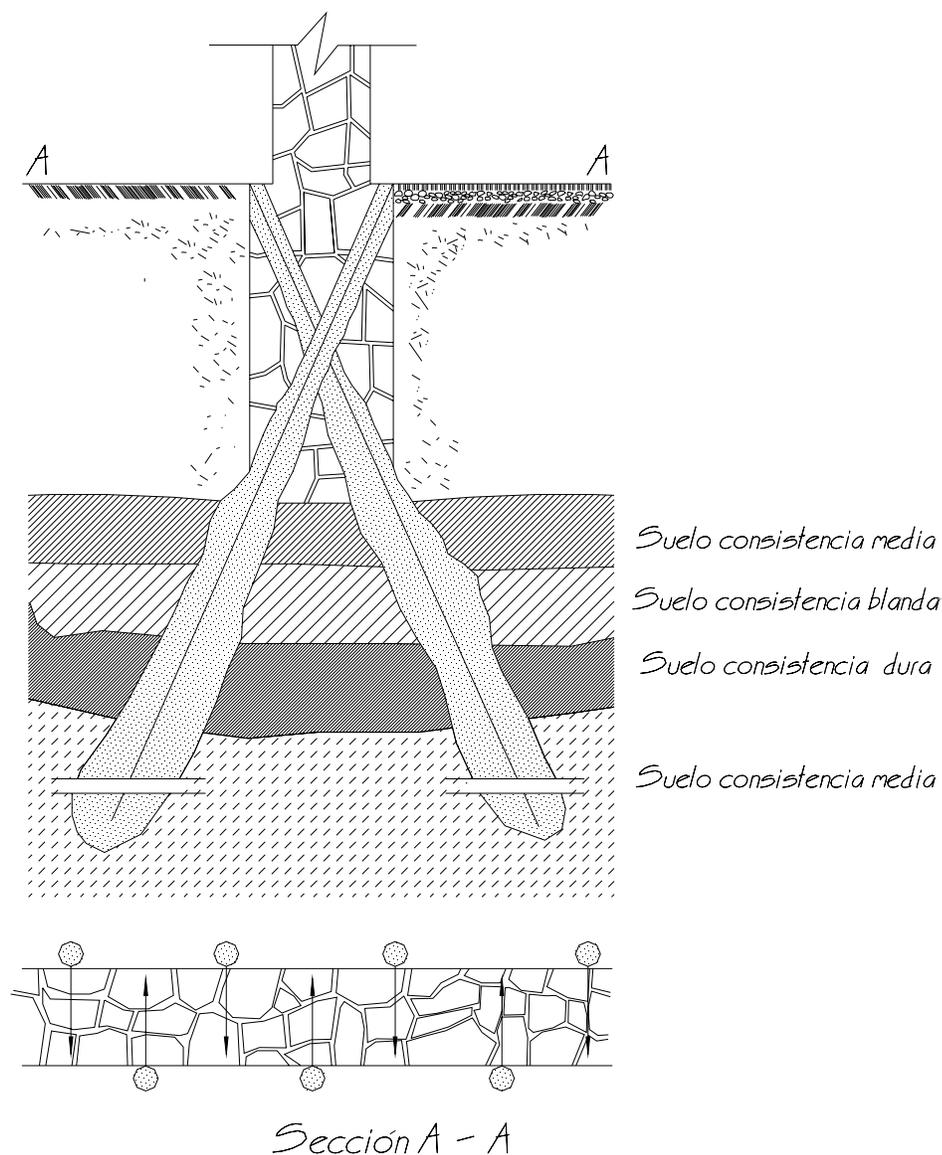
El “Pali Radice” se ejecuta perforando (no hincando), mediante dispositivos especiales, las estructuras existentes que se deseen recalzar y continuando la perforación a rotación por el terreno, para formar un tubo de unos 10 cm de diámetro, hasta alcanzar una profundidad adecuada, en relación con las características del terreno. La perforación se realiza a través de aire comprimido, agua y otros dispositivos (dependiendo de la naturaleza del terreno). Una vez ejecutada la perforación, se introduce en el tubo vaciado un alma metálica formada por una o varias almas de acero con aletas.

Después se vierte en el tubo un concreto, con ayuda de aire comprimido. El concreto llena la cavidad del pilote tanto en el terreno como en los cimientos, los que así quedan automáticamente ligados al pilote. El vertido o vaciado a presión del concreto hace que éste penetre a todos los intersticios del terreno y crea en el mismo una zona de transición que hará colaborar todo el terreno en el sostenimiento de las cargas de la obra recimentada. El diámetro del pilote “Pali Radice” terminado, resulta de 15 a 20 cm, y a veces más, en donde las capas del terreno más débiles han cedido a la presión, con lo que el pilote compensa automáticamente las diferencias de resistencia de las diferentes capas de terreno, presentando su mayor diámetro allí donde su mayor diámetro es necesario. La resistencia de éstos pilotes es muy elevada; contando con un alto coeficiente de seguridad, puede admitirse que un pilote de 10 cm de diámetro sostiene una carga de más de 10 toneladas.

Pueden perforarse con cualquier inclinación. La mayor ventaja consiste en que su construcción no produce vibraciones a la obra existente y que no necesita de mucho espacio para su ejecución (fig. 3.33).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Herrera y Ascue, Carlos. *Respuestas del Suelo. Cimentaciones para Arquitectos*. Tesis para obtener el grado de maestro en Tecnología de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura. UNAM. México, 1982.



Dibujo del autor basado en : Recimentación y renovación de estructuras y monumentos

Figura 3.33. Sistema "Pali Radice".

### 3.1.6.5. Recimentación de pozos continuos.

La forma más común de recimentación consiste simplemente en extender las zapatas que soportan los muros verticales de un edificio, con una zapata continua de concreto hasta una elevación inmediatamente por debajo del nivel de la excavación del sótano del nuevo edificio. Para lograrlo se excavan pozos alargados hasta el nivel deseado y se llenan de concreto hasta aproximadamente 5 cm del lado inferior de la zapata existente. Cuando el concreto ha fraguado, se introduce lechada muy seca en los 5 cm restantes. Este procedimiento de "paquete seco"

provoca un preesfuerzo o una transferencia de la carga a los nuevos pilares de concreto. Luego se rellena el pozo. Pueden hacerse varios pozos a condición de que no sean adyacentes. Por lo común, no más de la tercera parte del muro permanece sin apoyo en cualquier momento dado. Para que sea posible ese recalce, se requieren ciertas condiciones. El suelo en el que se apoyan los recalces debe ser tan bueno o mejor que el suelo en que se apoyan las zapatas de muros existentes. El nivel freático del terreno deberá estar por debajo del fondo de los pozos; se deberá hacer descender, por medio de un sistema seguro de desagüe. Las zapatas de los muros deberán tener una resistencia suficiente, como trabes, para permitir la abertura de un pozo de, cuando menos, 1.05 m. Cuando se haya desintegrado el mortero que se utilizó para sujetar piedras de zapatas, será preciso poner placas de acero o canalones contra la parte inferior, para sostener los muros por encima de los pozos abiertos. La anchura de los pozos varía de 1.05m a 3 m, según la estabilidad del suelo. La deflexión de 5 cm de la cubierta puede ser excesiva en los pozos profundos de 1.5 m. La deflexión del laminado permite que la tierra se salga, lo cual ocasiona un asentamiento de las losas de piso del edificio. Es preciso evitar las pérdidas de tierra; de lo contrario el piso o el muro se asentarán. En suelos granulares sueltos, que tiendan a deslizarse o desplomarse, con frecuencia se introduce heno a presión entre las tablas, conforme se van colocando. El heno filtra también las fugas de agua y detiene las pérdidas de tierra. Es preciso calcular la carga por metro lineal de las zapatas de los muros, para que el espaciamiento entre pozos abiertos no haga aumentar la presión de carga entre pozos en más de algún factor, que, por lo común no sobrepasa el 50%.

Conforme progresa el trabajo se retiran todos los puntales entre los pozos dejando el recubrimiento a lo largo de la cara interna del recalce. Es preciso tomar en consideración la descomposición eventual de la madera del recubrimiento. Si las cargas entre los pisos son importantes o producen vibraciones, las pérdidas de tierra debido a ello pueden provocar asentamientos. Por tanto, se pueden utilizar placas de concreto o acero para revestir las partes posteriores del pozo de concreto. Con esto se tiene un espacio entre la cara del concreto y el recubrimiento exterior del pozo. En ese espacio se pone relleno, que se apisona a medida que se va colando el concreto. Es muy importante utilizar materiales apropiados para el relleno y el compactarlos cuidadosamente al pie del muro y más arriba, donde sea necesario. El relleno

ofrece una resistencia pasiva al movimiento hacia afuera del muro, conforme avanza la excavación y el muro sufre presiones laterales.

Se pueden hacer muescas en los lados de pozos alternativos, para que queden conectados unos a otros. El entrelazado de los pozos evita también las filtraciones a través de los muros. Se pueden poner también recesos horizontales en la cara exterior, en los que se posible meter puntales de madera o acero, cuando se necesite apuntalar el muro mientras prosiguen las excavaciones. Se puede poner acero de refuerzo en los pozos y colocar los amarres horizontales de tal modo que se puedan doblar hacia arriba, para enlazar los pozos unos a otros. Sin embargo esto es costoso y requiere mucho tiempo, por lo que suele ser más económico apuntalar los muros

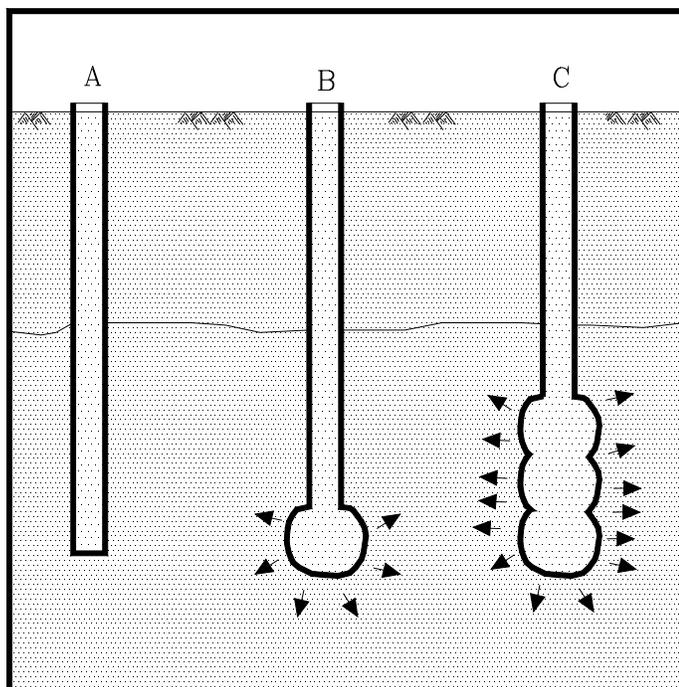
#### ***3.1.6.6. Recimentación a base de Inyecciones de compactación.***

El método de inyecciones de compactación consiste en utilizar un mortero de cemento y arena de bajo revenimiento (menos de 2 cm) para desplazar y compactar el suelo. Contrario a una inyección convencional de lechada fluida que busca penetrar los poros del suelo, la inyección de compactación es rígida y desplaza al suelo, formando un bulbo de mortero. Este bulbo de mortero crece a medida que se inyecta más material, actuando como gato hidráulico que desplaza y compacta el suelo a su alrededor en dirección radial.

Dicho método de inyección utilizando mezclas rígidas se desarrolló en Estados Unidos durante las décadas de 1940 y 1950 para ampliar el espectro de los suelos inyectables (Graf 1969, Rubright y Welsh 1994). Anteriormente sólo se habían utilizado lechadas fluidas de cemento y agua, que por ser suspensiones de partículas de cemento y no soluciones, tenían problemas penetrando los poros de arenas finas y de arenas limosas.

El método de inyecciones de compactación ha comprobado ser muy útil y versátil a través de los años y continua siendo una de las técnicas de inyección más utilizada en Estados Unidos y en Europa a pesar del desarrollo reciente de otros métodos importantes como el "jet grouting" y las inyecciones de compensación ("soilfrac grouting" ó "compensación grouting"). Entre las aplicaciones más frecuentes de las inyecciones de compactación se encuentran la recimentación de estructuras para corregir asentamientos diferenciales; protección de edificios, puentes y obras civiles contra licuación y asentamientos sísmicos; mejoramiento masivo del

suelo previo a una construcción; relleno de vacíos en terrenos Cársticos, tratamiento de suelos colapsables; y precondicionamiento de suelos durante la construcción de túneles (fig. 3.34.).<sup>7</sup>



Dibujo del autor basado en: Recimentación de 126 casas a base de inyecciones de compactación en Guadalajara, Jalisco. XVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos

Figura 3.34. Descripción gráfica del método: A) hincado de ademe, B) retracción del ademe 30 cm e inyección de mortero, C) se repite el paso B sucesivamente de abajo hacia arriba, formando una columna de bulbos de compactación.

### 3.1.6.7. Recimentación con pilotes de control.

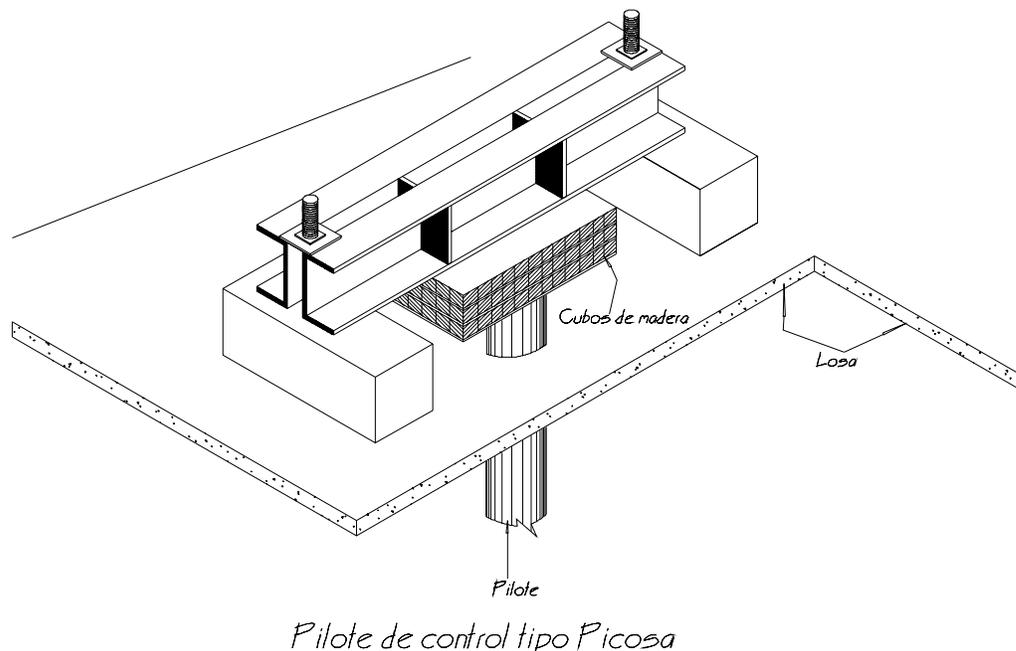
Consiste en apoyar el peso de la estructura en pilotes de punta, los que se apoyan en gatos hidráulicos, que van levantando poco a poco la estructura.

El pilote de control es fijo, esto es, se apoya en la capa dura, o se hace penetrar por fricción la cantidad necesaria para que tenga una resistencia a la penetración, mayor que la carga total que el pilote va a recibir, para que trabaje como fijo.

Entre la cabeza del pilote y el puente, van tres niveles de cubos de madera caobilla o caoba, que son las celdas de deformación, donde se coloca un número mayor o menor, según se le desee dar mayor o menor carga a cada uno de los pilotes mencionados (fig. 3.35).

<sup>7</sup> López Zaldaña, R.A., Lazcano Díaz del Castillo, S., *Recimentación de 126 casas a base de inyecciones de compactación en Guadalajara*, Jalisco, SMMS, México 1996.

Las recimentaciones más comunes en México han sido basados en pilotes de control, cabe mencionar que las estructuras recimentadas son estructuras bastantes pesadas y de gran antigüedad.



*Figura 3.35. Pilote de control*

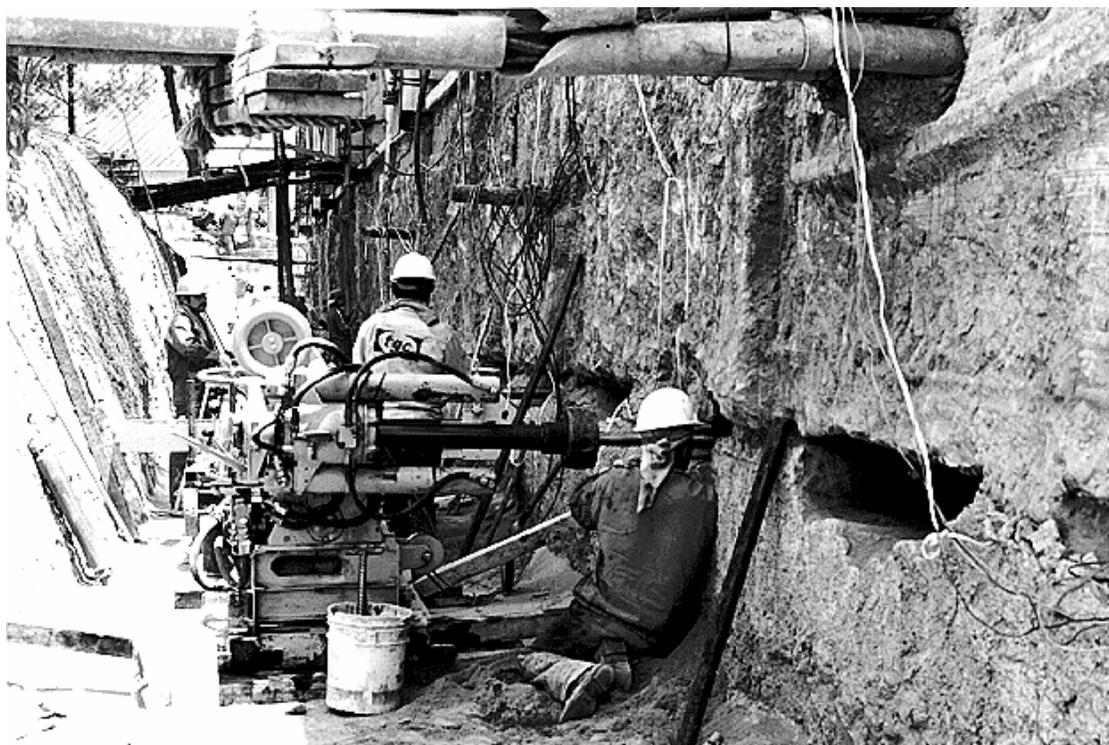
Dibujo del autor, tomado de Recimentación y renivelación de estructuras y monumentos.

### 3.1.7. Técnicas más comunes de renivelación.

#### 3.1.7.1. Subexcavación

Este método consiste en extraer el volumen de suelo necesario, para que el edificio queda nivelado nuevamente, para esto se necesita asegurar estructuralmente al edificio, ya que se pueden presentar movimientos en la estructura que podrían afectar sus condiciones. Generalmente, se realiza un estudio previo, para determinar: el desnivel existente, el estrato del suelo a excavar y la resistencia del mismo suelo para saber si se puede apoyar en el mismo o se necesita de otro apoyo. Las técnicas de excavación pueden ser: manuales, mecánicas o una combinación de ambas.

La forma en que se ataca la subexcavación tiene variantes; pueden generarse a través de perforaciones cilíndricas o a través de prismas de diferentes medidas, ambos procedimientos pueden hacerse en distintas combinaciones: longitudinales, en formas alternadas en los estratos o a tres bolillos (fig. 3.36). Con esta metodología logró corregirse el desplomo de la Catedral Metropolitana.



Fotografía del autor. Proyecto PAPIIT IN501396

Figura 3.36. Sistema de Subexcavación en el edificio de gobierno de la FES Zaragoza.

### 3.1.7.2. Renivelación con pilotes de control.

Consiste en apoyar el peso de la estructura en pilotes de punta, los que se apoyan en gatos hidráulicos, que van levantando poco a poco la estructura.

El pilote de control es fijo, esto es, se apoya en la capa dura, o se hace penetrar por fricción la cantidad necesaria para que tenga una resistencia a la penetración, mayor que la carga total que el pilote va a recibir, para que trabaje como fijo. Entre la cabeza del pilote y el puente, van tres niveles de cubos de madera caobilla o caoba, que son las celdas de

deformación, donde se coloca un número mayor o menor, según se le desee dar mayor o menor carga a cada uno de los pilotes mencionados (figs. 3.37 y 3.38).

El pilote de control fue proyectado:

- a) Para evitar que los edificios apoyados sobre pilotes de punta vayan sobresaliendo con respecto a las banquetas y calles.
- b) Para evitar que los pilotes al quedar fijos con respecto al terreno que va descendiendo, se sobrecarguen con el terreno que se les cuelga, llamado también "Fricción Negativa", en forma muy desigual, ya que el volumen de tierra que cuelga de los pilotes centrales, es inferior al volumen que se cuelga de los pilotes de orilla y aún hay mayor diferencia con el volumen que se cuelga en los pilotes de las esquinas, pues ahí el volumen aumenta notablemente. El pilote de control evita la sobrecarga inútil y negativa de la arcilla, al colgarse del pilote porque el edificio al descender horizontalmente, desplaza de los pilotes las capas adheridas a ellos, aprovechando esa fuerza de fricción en el soporte del edificio, transformando lo que era fricción negativa en los pilotes fijos en positiva y útil para soportar al edificio en los pilotes de control.
- c) Para evitar que esa sobrecarga constante en los pilotes de orilla y de las esquinas, haga que dichos pilotes penetren un poco más en las orillas y en las esquinas que en el resto del edificio y que por tal motivo los edificios se deformen y se lleguen a lastimar seriamente sus estructuras, ya que con los pilotes de control las capas de arcilla, permanecen horizontales conforme la cimentación las va desplazando, y siempre una capa descansa en la inmediata inferior.
- d) Para evitar que colgándose el terreno de los pilotes, se forme una loma que inclinará a los edificios vecinos, especialmente si son ligeros, encontrándose los pilotes abajo de los edificios, es imposible conocer si la sobrecarga que están teniendo por la fricción negativa, es ya peligrosa; cosa que haría que se pudieran dañar los propios pilotes.
- e) Para evitar que debido a las razones anteriores, los edificios aún con pilotes de punta, fácilmente puedan inclinarse, ya que al iniciarse la inclinación de un edificio, si tiene pilotes de control, siempre puede moverse al centro de gravedad de soporte de los pilotes, aumentando o disminuyendo la carga que ellos soportan en su cabeza.

- f) Para evitar cuando se trata de pilotes de fricción, como se mencionó inicialmente, que como estos trabajan a la falla, esto es, a irse clavando conforme la ciudad va descendiendo, también en el caso de un temblor, especialmente si los edificios son esbeltos, pueden inclinarse como hemos visto en muchos casos en la ciudad de México.
- g) Para evitar todo lo anterior, se proyectó que los pilotes no queden nunca abajo de las trabes, ni abajo de las columnas, sino a un lado y que atraviesen la cimentación y sobresalgan encima de la losa; solo que si antes podían tomar la carga como verdaderos puntales que soportan el edificio, ahora necesariamente tiene que ponerse sobre la cabeza del pilote un puente y de los extremos del mismo, tornillos que trabajarán como tirantes colgando la parte del edificio que se proyectó colgar.
- h) Debido a la heterogeneidad de la capa de apoyo donde se apoyan los pilotes aquí en la ciudad de México, hará que algunos puedan hincarse con determinada facilidad en dicha capa y otros por el contrario, con una gran dificultad.

Esto hace que los pilotes puedan trabajar a cargas muy distintas unos de otros por esta diferencia; pero teniendo en cuenta que los pilotes de control ya están atravesando la cimentación y que la carga la van a recibir a través de un puente por la cantidad que el proyectista desee y que se fija entre la cabeza del pilote y el puente, donde se colocan unos fusibles de presión, llamados "Celdas de Deformación", que hacen el trabajo de transmitir una carga aproximada de 2.5 y 3 T, por pieza en una sola capa y conforme se van deformando, mientras no han llegado a una deformación mayor de la mitad de su altura.

Esas celdas de deformación son unos cubos de madera llamada caobilla o caoba, que presenta la característica de que cuando se empieza a deformar y ha llegado a un límite plástico, aproximadamente de 2 a 3 mm, se continuará deformando hasta más de 2.5 cm ya prácticamente sin aumentar la carga que viene soportando dicho cubo.

Con esta última propiedad del pilote de control, de que lleva unas celdas de deformación que no le permitirán subir su carga más de lo que pueden transmitir dichas celdas, da posibilidades muy grandes de poder ir aflojando primero unos y después otros sin peligro de que se sobrecargue excesivamente ninguno de ellos, ya que si el terreno cediera y bajara todo el edificio, digamos uno o dos centímetros lo único que sucedería es que ese conjunto de celdas de deformación se deformaría principalmente ese uno o dos centímetros que nos hemos referido. En esta forma es posible descargar un pilote en medio de otros mientras el

terreno no empiece a deformarse, los otros pilotes no empezarán a penetrar y tampoco empezarán a deformar sus respectivas celdas. Pero aún en el caso de que hicieran los cambios muy lentamente o que todos los pilotes se aflojaran digamos 2 cm, menos uno de ellos, ése lo único que sufriría, no es un sobrecarga extraordinaria, sino precisamente una deformación de 2 cm, pues sus celdas para eso son.

- i) En el pilote de control se elimina la fricción negativa que en los pilotes de punta reduce su capacidad de carga de un 30 a un 50%, pues la cimentación baja con respecto al pilote, desplazando de ellos a la arcilla horizontalmente y aprovechando esta fricción en soportar al edificio pero sin colgarse la arcilla, ya que una capa descansará siempre en la inferior, tal como se indicó en el inciso B.
- j) Porque basta observar los cubos de un pilote, para saber si está trabajando debidamente bien o no.<sup>8</sup>

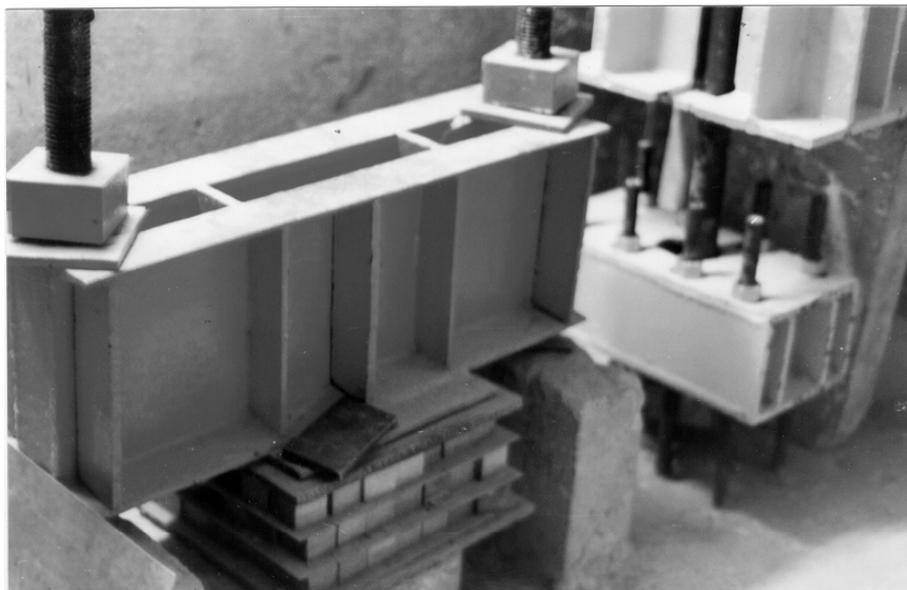
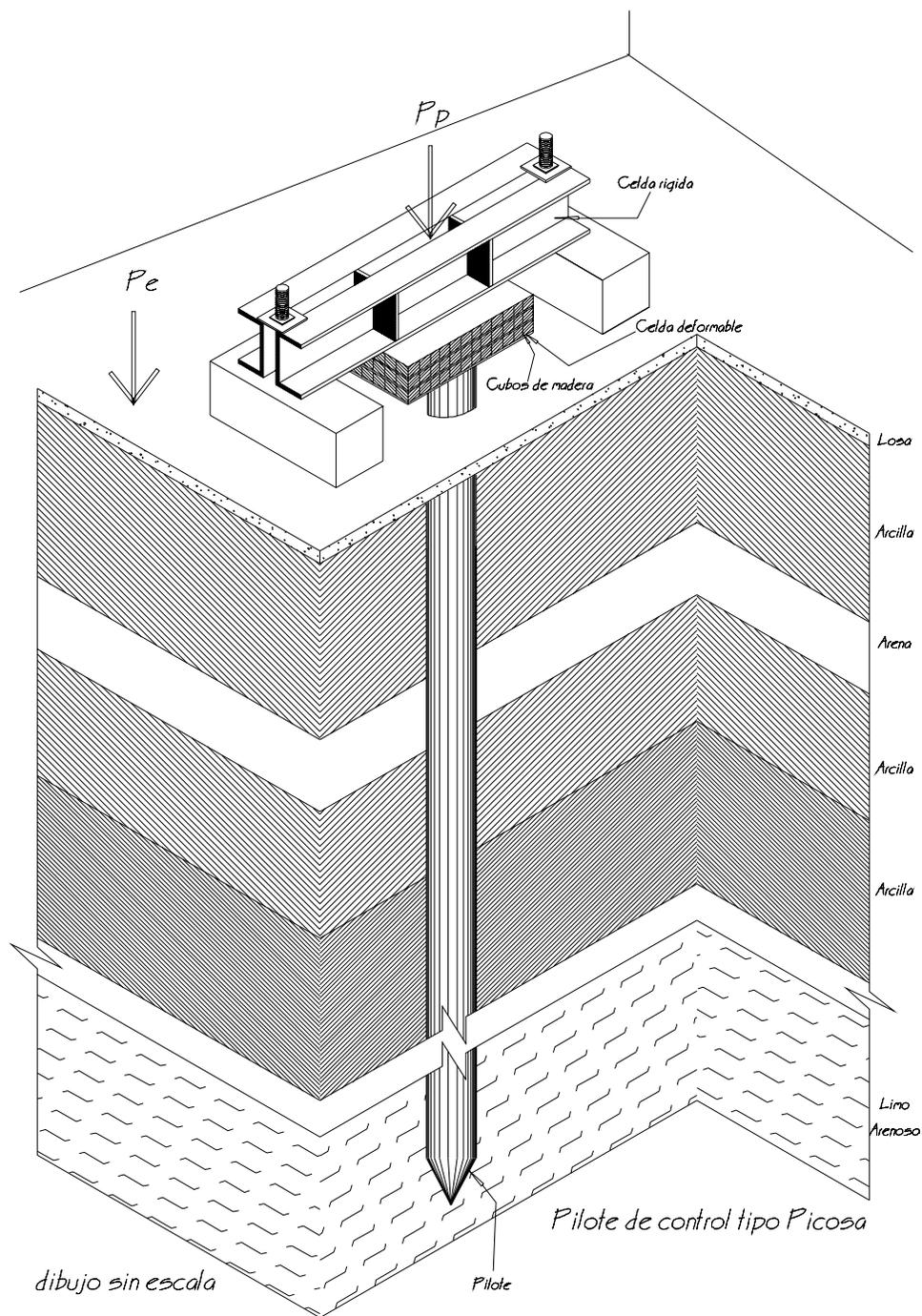


Imagen del autor.

*Figura 3.37. Pilotes de control.*

<sup>8</sup> González Flores, Manuel. *Recimentación y levantamiento de la Iglesia de las Capuchinas*. Informe técnico. México, 1981.



Dibujo del autor, basado en Recimentación y nivelación de estructuras y monumentos.

Figura 3.38. Sistema de pilotes de Control

### ***3.1.7.3. Inyección de agua en el subsuelo para restablecer la presión hidrostática.***

Los hundimientos diferenciales que se presentan en algunos edificios del centro histórico son debidos al abatimiento de las presiones hidrostáticas del suelo.

El ingeniero Carlos Escalante propuso el sistema de inyección de agua, mismo que tiene como finalidad restablecer dichas presiones.

El agua se inyecta en los estratos acuíferos del suelo de apoyo. Se inyecta un volumen pequeño de agua a una alta presión, para evitar el hundimiento del suelo. Se puede determinar la cantidad de agua que se debe inyectar (que se toma de la misma que se extrae del suelo). Otra posibilidad de solución es la de inyectar aire a presión.

Con este sistema se incrementó la presión hidrostática en el Palacio Nacional de México. El problema era un abatimiento de la presión hidrostática del orden de 1.5 ton/m<sup>2</sup>, entre los 5.0 y los 28.0 m de profundidad. La inyección de agua se realizó mediante de dos pozos localizado uno en la esquina de Correo Mayor y Corregidora y otro en la esquina de Moneda y Plaza de la Constitución. Se inyectó un gasto de 0.4 lt/seg a una presión del orden de 20 ton/m<sup>2</sup>.<sup>9</sup>

### ***3.1.7.4. Renivelación por medio de lastres.***

Este procedimiento es utilizado cuando se requiere renivelar un edificio que presenta condiciones de distribución de cargas diferentes. Esto se puede producir cuando un edificio presenta un escalonamiento en los niveles de desplante. El efecto que esto provoca es la transmisión de cargas diferente en la superficie del suelo, provocando hundimientos diferenciales.

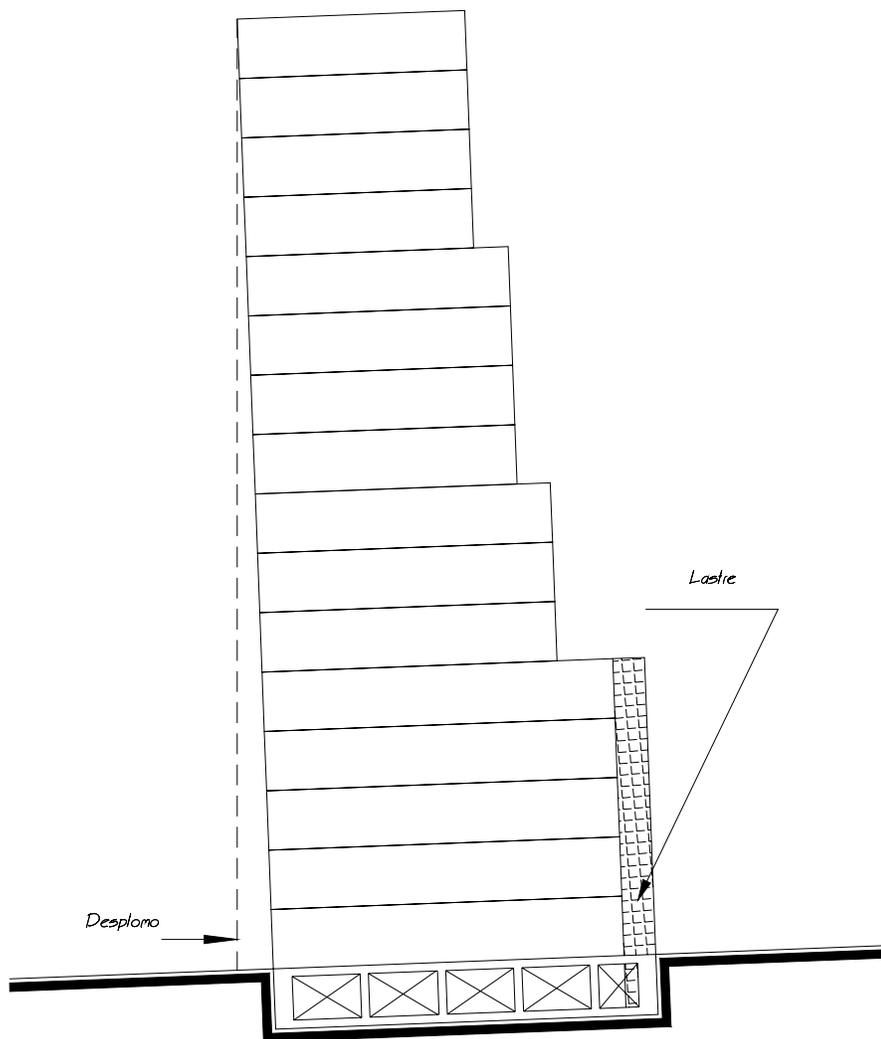
La técnica consiste en colocar lastres del lado en donde tiene menor peso, induciendo un asentamiento de la misma magnitud que del lado en donde está la diferencia de peso. Este proceso puede ser adecuado con la subexcavación, renivelarlo y dejar el lastre para que la distribución de cargas sea homogénea en toda la superficie del terreno (fig. 3.39). En la torre de

---

<sup>9</sup> Moreno Pecero, Gabriel. *Influencia del abatimiento piezométrico en los agrietamientos y hundimientos del subsuelo*. Simposio El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area Urbana del Valle de México. SMMS, México, 1978.

Moreno Pecero, Gabriel. *Refoundation research of Mexico's National Palace*. X ICSMFE, Estocolmo, 1981.

Pisa se aplicó este procedimiento para controlar los hundimientos diferenciales. Con esta técnica se niveló un edificio de 16 pisos, ubicado en la calle de Liverpool, en la colonia Juárez.



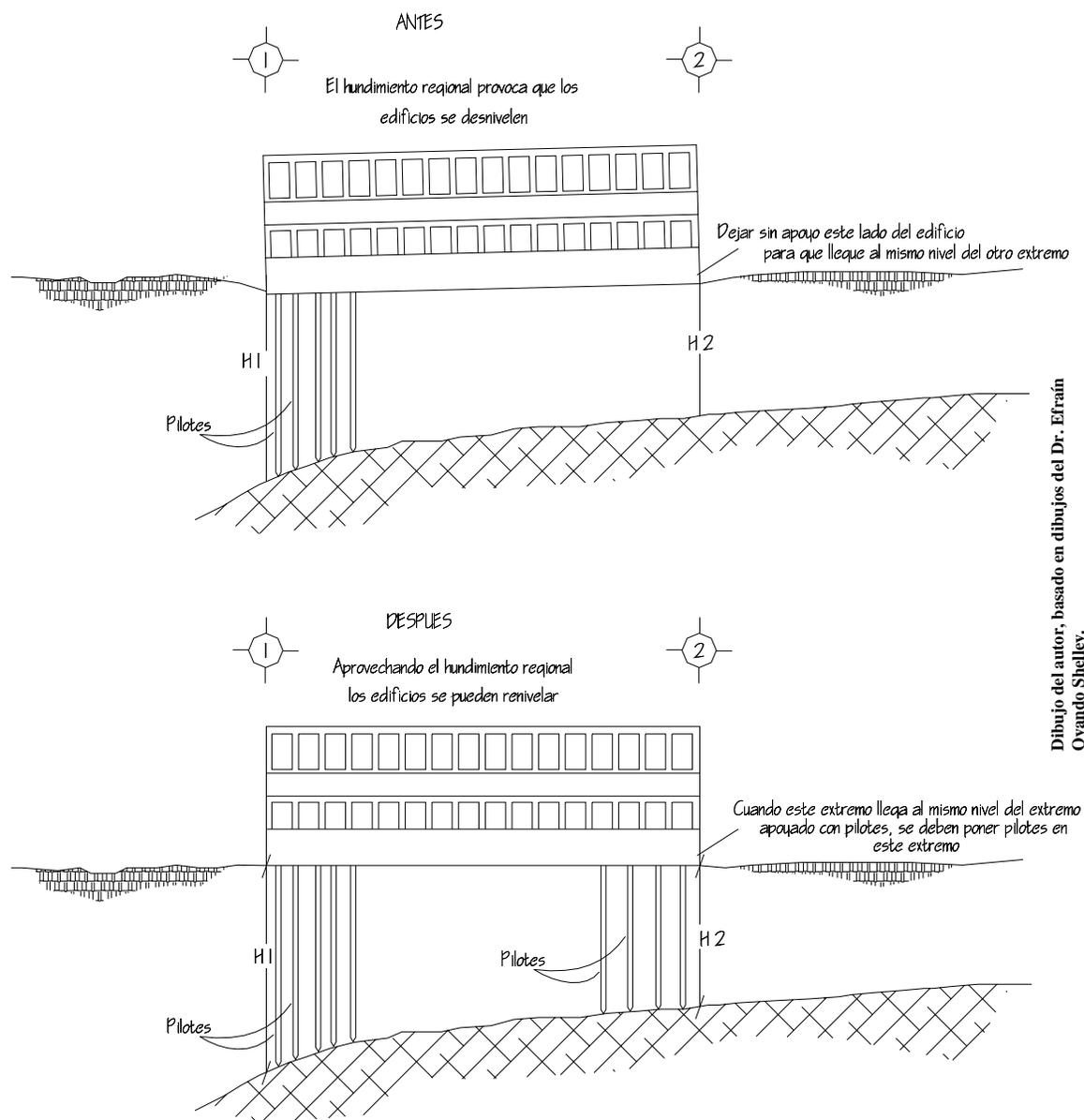
Dibujo del autor basado en : Corrección geométrica de la Catedral Metropolitana.

*Figura 3.39. Nivelación por medio de lastres.*

#### ***3.1.7.5. Nivelación aprovechando el hundimiento regional.***

Una técnica que se puede utilizar para nivelar un edificio, es apoyar una parte de la cimentación en pilotes de punta, dejando el otro extremo para que presente los hundimientos; esto aprovechando el hundimiento regional. Una vez que el extremo que presenta hundimientos

llega a el mismo nivel del extremo con pilotes de punta, se apoya con pilotes de punta. De esta manera el hundimiento será homogéneo una vez que toda la superficie del edificio está apoyado en pilotes (fig. 3.40.).



Dibujo del autor, basado en dibujos del Dr. Efrain Ovando Shelley.

Figura 3.40. Renivelación aprovechando el hundimiento regional.

**3.1.7.6. Renivelación por medio de pilas.**

Este tipo de renivelación es una cimentación profunda, relativamente grande. La función de esta cimentación es transferir la carga a través de suelos blandos a un suelo duro o roca o transferir la carga a través de suelos que pueden ser socavados por las corrientes de los ríos o de las mareas.

La diferencia fundamental entre la pila y el pilote es el tamaño y el método de construcción.

Los pilotes se introducen en el terreno corrientemente, sin excavación previa, mientras que la construcción de las pilas requiere una excavación previa o durante la construcción (fig. 3.41)<sup>10</sup>.

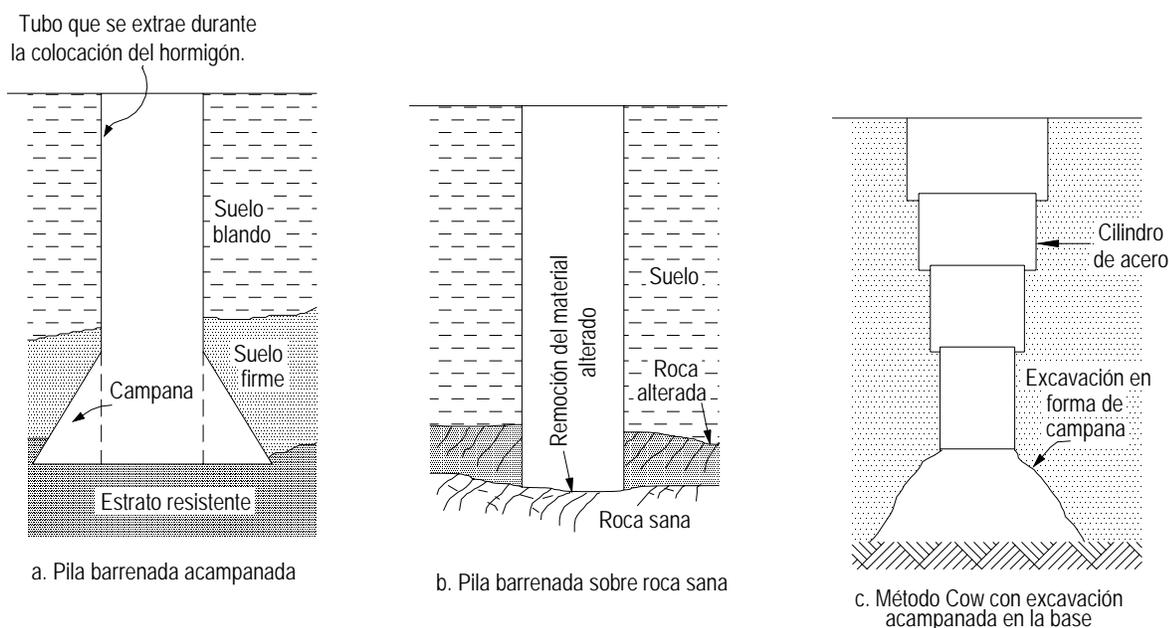


Figura 3.41. Renivelación con pilas.

<sup>10</sup> Sowers B. George, *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Limusa, México, 1986.

### 3.1.7.7. Nivelación por medio de Electrólisis.

“El dispositivo que ilustra la fig. 3.42 representa un prisma de arcilla blanda colocado dentro de un tanque de material aislante de la electricidad y rodeado de agua; dentro del agua se coloca una barra metálica A y un tubo metálico B con perforaciones en su pared. El nivel piezométrico dentro del prisma de suelo será, para estas condiciones, horizontal. Si los dos elementos metálicos, A y B, se conectan ahora, a una fuente de corriente continua o directa, F, se inicia el desarrollo de ciertos fenómenos:

El agua dentro del prisma de arcilla emigra del electrodo positivo, A, hacia el negativo, B, con una velocidad que, dependiendo del voltaje y la separación entre electrodos, puede ser del orden de 100 a 10,000 veces mayor que aquella con la que fluiría a través del mismo suelo bajo un gradiente hidráulico unitario. Este fenómeno del flujo del agua a través de los poros del suelo bajo la acción de un gradiente de potencial eléctrico se conoce con el nombre de “electrólisis”.

Tras un lapso de algunos minutos de aplicado el potencial a los electrodos el agua se acumula y brota alrededor del negativo, y alrededor del positivo, se observan pequeñas grietas en dirección radial, indicando con ello el desarrollo de un estado de tensiones en el agua del suelo vecino al electrodo, lo cual provoca tensión y agrietamiento. Es evidente que, en tales condiciones, la presión que existía en el agua de los poros del suelo antes de aplicar la corriente, no solo desaparece, sino que adquiere un valor negativo; la correspondiente curva del nivel piezométrico afecta entonces una forma semejante a la que afecta la curva I. Si, al mismo tiempo que se conecta la corriente eléctrica, se produce una succión en el tubo perforado del electrodo negativo, la superficie de abatimiento asume una forma semejante a la de la curva II. La rapidez con que se alcance el abatimiento y el desarrollo de tensiones en la masa del suelo afectada es una función del gradiente del potencial medio  $I=V/L$ , expresado en voltios por centímetros de separación entre electrodos; el consumo de energía necesaria para lograr estos efectos depende de dicho gradiente eléctrico, por una parte y, por otra, de la conductividad eléctrica del suelo, la cual está íntimamente ligada a la concentración y clase de iones que existen en el agua del suelo y los que están químicamente adheridos a las partículas coloidales,

denominadas bases intercambiables. Así, por ejemplo, la conductividad de un depósito de limo de origen fluvial es considerablemente menor que la de una arcilla marina."<sup>11</sup>

Con esta técnica se niveló el edificio Querétaro del conjunto urbano Adolfo López Mateos en Nonoalco, el cual presentaba un fuerte desplome en el lado norte, esto, debido a diferencias estratigráficas en las capas de suelo compresibles. Primero se recimentó el edificio, posteriormente se procedió con la metodología, "Al aplicarse la corriente para establecer el bombeo electrosmótico, se logró una consolidación de los estratos compresibles por el abatimiento del nivel freático; y como consecuencia se produjo un asentamiento del edificio en el lado sur, con lo que se corrigió el desplome." (Fig. 3.42).

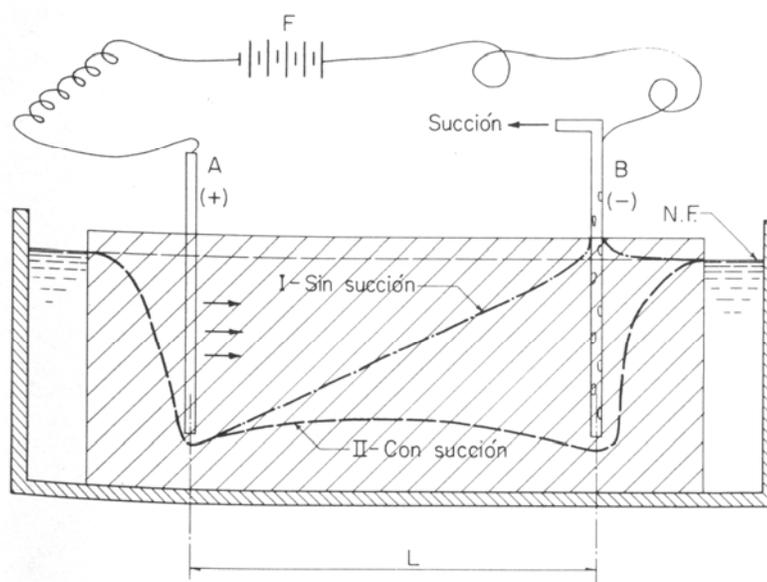


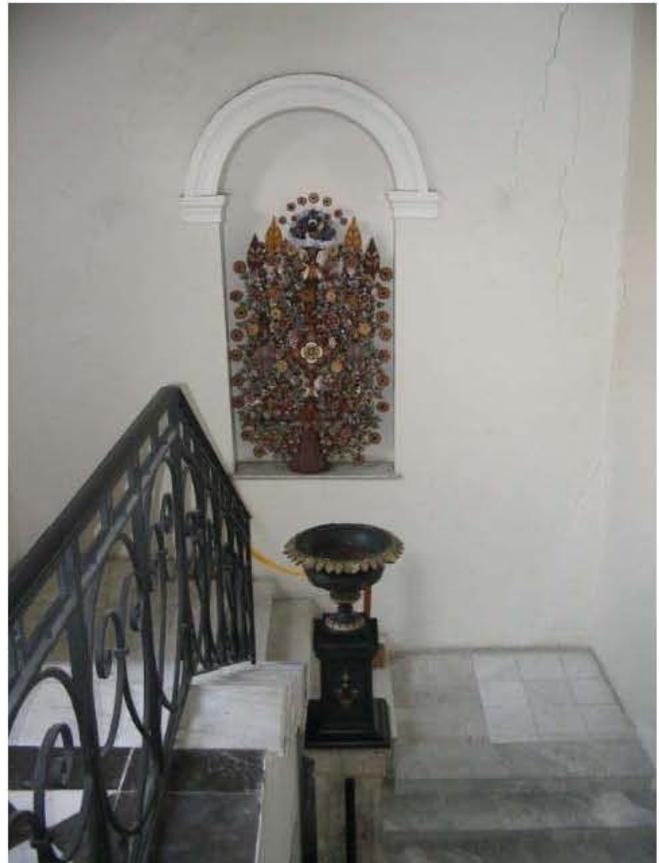
Fig.3.42. Esquema en donde se indica el funcionamiento de la electrólisis. Dibujo tomado de Lasso Herrera Ricardo. Actualidades de Construcción.

<sup>11</sup> Lasso Herrera Ricardo. Actualidades de Construcción. México, 1971, pp 18-19.



# Conclusiones

---



El análisis realizado a algunos inmuebles del centro histórico de la ciudad de México, cuyas características estructurales los sitúan entre los edificios de mampostería, determinó la influencia tan grave que el hundimiento diferencial tiene en su estructura.

Los efectos que provoca el hundimiento se mezclan con otros factores, que provocan una cantidad de daños que se consideran graves. Estos factores, que se complementan con el hundimiento, son mencionados de manera clara, como el factor determinante de un comportamiento inestable en la estructura de un edificio, lo que lo hace difícil de predecir la tendencia de hundimiento del edificio de manera general.

Al complementarse todos estos factores, crean una condición inédita en el panorama mundial en el medio de desplante de toda una zona, que comprende una cantidad enorme de edificios con valor patrimonial; éste laboratorio del subsuelo en el centro de la ciudad, ha creado una gran cantidad de casos característicos, principalmente en los edificios coloniales. Esta complejidad en el problema estructural en su interacción con el suelo, ha requerido de estudios específicos para cada uno de ellos, lo que ha dado como consecuencia que se hayan adoptado una gran cantidad de soluciones para cada caso específico, la complejidad en las condiciones de cada caso, ha creado una serie de innovaciones en cuanto a las técnicas empleadas para solucionarlo.

Se ha generado una serie de procedimientos para corregir edificios; los pilotes de control se desarrollaron en México, la inyección de agua para restablecer la presión hidrostática se utilizó para tratar de mantener el pie el Palacio Nacional, la sustitución de cimentaciones, entre otros. Algunas técnicas de solución a estos problemas han tenido tan buenos resultados que se han adoptado a nivel internacional, como el caso de la torre inclinada de Pisa, en donde se aplicó la misma metodología utilizada en la Catedral Metropolitana de la ciudad de México.

Existe un panorama claro en el futuro del centro histórico; éste sin duda alguna, está estrechamente ligado al hundimiento generalizado de la ciudad. De la forma en que se han atacado los distintos casos de edificios con problemas estructurales debido al hundimiento, se ven las soluciones adecuadas para cada caso y las soluciones que no resuelven de manera clara el problema.

En algunos edificios se han llevado a cabo intervenciones más efectivas que en otros, la efectividad radica principalmente, en la interpretación que se ha dado al problema del hundimiento; a la cantidad de información con que se ha contado en cada caso y a la metodología aplicada.

Caso aparte, como se ha visto, es el factor económico que incide directamente en la propuesta metodológica que pretende acabar con los agrietamientos de los edificios. En estos casos podemos hablar que se tiene la certeza de que metodología puede resolver el problema, pero las limitantes presupuestales, hacen que la solución se encamine a una intervención preventiva y no a una correctiva, que garantice a largo plazo el comportamiento estructural más adecuado y con mayores posibilidades de garantía estructural del inmueble.

Existen, sin embargo, casos en los que se podría llegar a resultados más eficientes en cuanto al comportamiento estructural final de un edificio, siempre y cuando los procesos se complementaran de manera notoria en cuanto a una visión de largo plazo en cuanto a las tendencias de hundimiento. En este tipo de decisiones, muchas veces se toman soluciones parciales que dependen de restricciones presupuestales y de acciones apresuradas a corto plazo.

En este trabajo se incluyen casos representativos de edificios ubicados en el centro histórico de la ciudad de México; estos casos se analizan en dos vertientes:

1. El problema que enfrenta en el ámbito local de los hundimientos diferenciales (debido a las diversas causas estudiadas), y sus efectos negativos en su estructura.
2. La forma en que se han dado los tratamientos para solucionar o tratar de solucionar el problema.

De acuerdo a las experiencias directas de trabajo, se elaboró y corrigió de manera continua la metodología que se debe aplicar cuando se está en presencia de un edificio con problemas estructurales debido al hundimiento. Los casos analizados, son la pauta que se tomó para la adecuación de este procedimiento de trabajo; por un lado se tiene que analizar la continuidad en las estructuras adyacentes a la analizada, como una condicionante de deformación o de influencia de los edificios aledaños. Asimismo se

deben modificar las interpretaciones del problema cuanto se enfrenta a una situación imprevista. Una de ellas es la cuestión de fugas de agua potable o agua servida que afecta directamente a una cimentación característica de mampostería, por lo que se debe reconsiderar la información obtenida en una ficha que no incluye este dato. Estos procesos de ajuste, en cuanto a que información se debe valorar como primordial para el caso, son los que llevaron a una ficha final que incluyó la gran cantidad de factores determinantes en el comportamiento estructural de un inmueble.

Con esta ficha se comenzó una labor, que tuvo como finalidad determinar las causas de los efectos dañinos en las estructuras, debido al hundimiento, este análisis hace más fácil interpretar estos efectos en las construcciones en cuanto se tiene la información gráfica de los agrietamientos y desplomos, recabados en los planos finales de dicho análisis. La ficha y los planos son los dos puntos primordiales para esta propuesta metodológica de este trabajo. La información que se logra obtener con estas dos sencillas herramientas de análisis, hace que la metodología sea fácil de comprender, siempre y cuando se cuente con la información necesaria para entender algunos comportamientos tanto en las tendencias de hundimiento como en la resistencia de algunos materiales.

Cabe mencionar que esta metodología sirve para implementar un estudio básico, que de una idea clara de que tipo de estudio se requiere tener una precisión mayor. Este puede ser un levantamiento de desplomos con herramientas más precisas, elaboración de sondeos de cono o de penetración que determinen de manera más clara la estratigrafía característica del lugar o de la zona.

Se trabajó en analizar la efectividad de las técnicas aplicadas, para mejorar las condiciones estructurales de los inmuebles, tales como el relleno de grietas con mezclas variadas según la grieta y composición del elemento a tratar.

Una cosa es cierta, tal como lo menciona el Dr. Fernando López Carmona, con la técnica de inyección de mortero para la grieta en muros, (sean de mampostería, de block de cemento, de tabique), no se controla el agrietamiento, posiblemente se dé una continuidad de esfuerzos efectivos de manera temporal al elemento; pero a largo plazo el agrietamiento continúa y genera la aparición de nuevas grietas con la misma tendencia o

continúa apareciendo la misma grieta y se vuelve a desplazar. Con el análisis del comportamiento estructural de mampostería bien reflejado, se debe determinar que de no controlar los movimientos diferenciales que provocan los agrietamientos en los muros, el elemento que conforma el muro, seguirá soportando esfuerzos axiales que en cualquier momento vencerán su resistencia.

Por lo tanto es importante recalcar el trabajo de los muros de carga, en especial los de mampostería (que son los predominantes en las construcciones coloniales), así como la resistencia de los materiales que los conforman.

Cabe indicar, que a pesar de los trabajos de restauración en algunos inmuebles, en los que se ha sustituido algún muro de mampostería, por tabique o block, los agrietamientos persisten con el paso del tiempo, generalmente con la misma dirección en la que se produjeron los anteriores. Esto como consecuencia de que no se atacó el problema de la cimentación.

Finalmente, este se ve reflejado con la evidencia mostrada en los edificios analizados, en donde se ven este tipo de casos.

Uno de ellos donde se refleja claramente, es en el edificio de las ex – cárceles de la Perpetua, en la unión del patio en la planta alta del mismo, donde claramente aparece una grieta mayor a las grietas tratadas previamente, que quedan a la vista por el excedente mezcla aplicada en su inyección.

Una de las partes más importantes, relativa al análisis efectivo de los problemas estructurales presentados en los edificios del centro histórico de la ciudad de México, es la de poder tener acceso de manera inmediata, a todos los estudios relativos a los hundimientos y a los estudios estratigráficos de la zona. Una buena solución a esto es tener concentrada esta información por una dependencia única, la que proporcione estos documentos valiosos, para una valoración más detallada del problema de hundimiento en la zona.

Esta dependencia debe concentrar dichos estudios, de tal forma que el especialista que participe en el análisis y posterior solución al problema del edificio, no se lleve demasiado tiempo en ubicar la información que precisa para determinar las condicionantes del

hundimiento local y regional en su caso. La información debe estar disponible tanto para especialistas como para los propios estudiantes que requieran de conocer las posibles tendencias de hundimiento, como forma de interpretar los probables daños en edificios si las tendencias de hundimiento continúan.

Solamente falta que las autoridades involucradas en este asunto tomen cartas en el asunto y empiecen a recabar y concentrar en un solo lugar toda la información que se tiene del centro histórico, aprovechando los estudios que se han elaborado en muchas dependencias, en la construcción de algunos edificios, en la construcción de las líneas del metro, en los sondeos de suelo elaborados para proyectar las cimentaciones respectivas de los edificios; es decir un esfuerzo conjunto para un fin común: el salvaguardar los edificios ubicados en el centro de la ciudad.

Si las evidencias muestran que los asentamientos en el centro de la ciudad van a continuar y éstos provocarán de manera inminente una serie de problemas estructurales graves en los edificios coloniales de mampostería, se debe tener un claro panorama en cuanto al escenario que se puede presentar, si no se toman en cuenta propuestas metodológicas importantes e integrales que abarquen no sólo a un edificio sino a varios que tienen la misma influencia de hundimientos diferenciales.

De la misma forma, este asunto debe involucrar a sectores tan amplios que puedan enfrentar este problema, no queda solamente el poder solucionarlo de manera local, la participación debe ser también del ámbito local, Federal y también se requiere la participación del sector privado.

Las expectativas de tener buenos resultados deben ser optimistas si se actúa rápido, de manera coordinada y eficiente, dado los buenos resultados que se han tenido al enfrentar casos similares de hundimientos diferenciales en la zona.

# ANEXO 1 Condiciones del subsuelo y del hundimiento en el Centro Histórico de la ciudad de México.

---



---

---

### A1.1. Tipos de Suelos

Los dos principales procesos que dan lugar a la formación de los suelos son la desintegración mecánica y la descomposición química.

De la desintegración mecánica podemos observar que hace que las rocas sean modificadas por agentes físicos exteriores: temperatura, plantas que se desarrollan en las piedras, aire y algunos otros factores; de la desintegración química podemos decir que el agua es el principal agente que influye en la alteración de las rocas, haciendo que se desgasten las mismas, a la vez el agua provoca la oxidación, hidratación y carbonatación.

De los tipos de desgaste que se provocan en las rocas se determinan los tipos de suelo, también de la forma en que este proceso se lleve a cabo. De acuerdo a esto tenemos los distintos tipos de suelo:

- Residuales: Son los que quedan en el mismo lugar en donde se afectó la composición de algunas rocas y por la misma permanencia de los restos en un mismo sitio.
- Transportados: son a la vez provocados por el mismo desgaste a las rocas, pero que determinados factores los conducen a lugares más lejanos. Los agentes que pueden provocar este desplazamiento son: glaciares, ríos, vientos, mareas y fuerza de gravedad entre otras.<sup>1</sup>

### A1.2. Propiedades de los suelos.

Siendo el espacio primordial en donde se asientan los cimientos de todo tipo de edificios, el suelo se vuelve de preponderancia tal en el centro histórico de la ciudad de México, que es vital conocer sus aspectos principales en relación a sus características físicas y sus ventajas y desventajas para el desplante de las estructuras. Saberlo en la actualidad, es tarea indispensable para poder tomar soluciones a problemas específicos en los edificios. Las características que a continuación se mencionan, son fundamentalmente las que determinan las formas en que se comportará una cimentación en la actualidad y sus reacciones futuras con la inevitable extracción de agua del subsuelo.

---

<sup>1</sup> Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de Suelos*. T. I, Limusa, México, 1989.

- a) Estabilidad volumétrica
- b) Resistencia mecánica
- c) Permeabilidad
- d) Durabilidad
- e) Compresibilidad.

**a) Estabilidad volumétrica.**

Entre las características de los suelos, están las compresiones o expansiones que pueden presentar, debido a los cambios de humedad en su estructura.

Los efectos negativos que pueden presentar las presiones de expansión debido al aumento de humedad, encontramos que pueden levantar pavimentos, fracturar muros, romper tuberías de drenaje, levantar estructuras. Estos efectos los encontramos en suelos expansivos.

Para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos, se puede introducir humedad en forma periódica al suelo, aplicar cargas para equilibrar la presión, utilizar membranas impermeables y ubicar los apoyos estructurales en una profundidad en donde no se presenten variaciones estacionales de humedad.

Otros medios consisten en sellar los poros o grietas haciendo que el agua se mueva lentamente en el suelo expansivo e inyectar productos químicos en la estructura del suelo.

**b) Resistencia mecánica.**

La resistencia de los suelos es en general más baja cuando estos están húmedos. Los suelos arcillosos al secarse alcanzan grandes resistencias, teniéndose la condición más alta cuando se calientan a temperaturas muy elevadas, como por ejemplo en la fabricación de tabiques y ladrillos. Algunas veces, sin embargo, la resistencia de un suelo es menos importante que su deformabilidad bajo carga. En otros casos se han presentado disminuciones importantes en la resistencia del suelo arcilloso debido, por ejemplo, a la disolución de cristales que conferían a la arcilla su resistencia, como sucede en algunas arcillas sensitivas de Noruega en donde el agua de lluvia altera el equilibrio físico - químico en ellas. Se presentan casos en donde la disminución de la humedad puede significar la disminución en la resistencia, pues se han presentado casos de deslizamientos de tierra, provocados por arcillas que se secaron y se agrietaron, provocando con ello que el comportamiento del material sea el de un suelo friccionante que puede tener menor

---

---

resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores. La acción abrasiva del tránsito por ejemplo, puede hacer que un material cohesivo se pulverice y pierda su cohesión.

**c) Permeabilidad**

Esta es una propiedad hidráulica de los suelos que permite cuantificar la resistencia que ofrecen estos materiales al flujo de algún líquido a través de ellos. Los suelos son materiales porosos y el tránsito de fluidos a través de ellos ocurre a través de estos poros.

**d) Durabilidad**

La durabilidad es la resistencia a todos los procesos de intemperización, erosión y abrasión. En general la mayoría de los suelos presenta poca resistencia a estos agentes.

**e) Compresibilidad**

Los cambios en volumen o compresibilidad, tienen una gran influencia en las propiedades de los suelos, pues modifica la permeabilidad, alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del esfuerzo cortante.

En el caso de arcillas saturadas si no se permite el drenaje, y se aplican esfuerzos, estos serán tomados por el agua. En el momento en que se permita el drenaje, los esfuerzos son transmitidos gradualmente al esqueleto o estructura del suelo; este proceso produce una compresión gradual de dicha estructura, fenómeno conocido como consolidación.

### **A1.3. Fases del suelo.**

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida la forman las partículas minerales del suelo, la líquida el agua, aunque puede haber otro tipo de líquidos y la gaseosa, constituida por aire, o en algunos casos gases.<sup>2</sup>

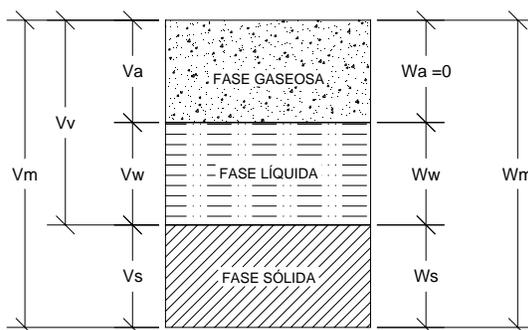
Las fases líquida y gaseosas del suelo se comprenden en el Volumen de vacíos, mientras que la fase sólida, constituye el Volumen de los Sólidos (fig. A1.1).

---

<sup>2</sup> Juárez Badillo, Eulalio, *Op. cit.*

Se dice que un suelo está totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Dicho suelo consta de sólo dos fases: la sólida y la líquida. Muchos suelos yacientes bajo el nivel freático son totalmente saturados.

Algunos suelos contienen, además, materia orgánica en diversas formas y cantidades; en las turbas, estos materiales predominan y consisten en residuos vegetales parcialmente descompuestos.



Dibujo: Juárez Badillo, Eulalio  
Mecánica de Suelos (I).

Figura A1.1 Esquema de una muestra de suelo, para indicación de los símbolos usados.

$V_m$  = Volumen total de la muestra del suelo (volumen de la masa)

$V_s$  = Volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos)

$V_v$  = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos)

$V_w$  = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (volumen de agua)

$V_a$  = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (volumen de aire)

$W_m$  = Peso total de la muestra de suelo (peso de la masa)

$W_s$  = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (peso de los sólidos)

$W_w$  = Peso de la fase líquida de la muestra de suelo (peso del agua)

$W_a$  = Peso de la fase gaseosa de la muestra, convencionalmente considerado como nulo en Mecánica de Suelos.

#### A1.4 Compresibilidad.

Los materiales que forman la corteza arcillosa del subsuelo de la ciudad de México se caracterizan por su alta compresibilidad. Si por otra parte, se tiene en cuenta que el espesor de la formación varía entre 15 y 40 m en la zona más densamente poblada de la ciudad, no es

sorprendente que cargas relativamente moderadas causen asentamientos totales que se cuentan por decenas de centímetros, y en algunos casos, superan el metro. Por esta razón, la determinación de las propiedades que permiten predecir los hundimientos de una construcción y su evolución en el tiempo es importante.

Debido a su origen y poca edad geológica, los suelos del valle de México, los cuales son muy porosos, presentan un alto grado de compresibilidad.

Las variaciones que exhiben las propiedades de estos suelos, principalmente su permeabilidad tanto en el sentido vertical como al pasar de un punto a otro del área urbana han hecho necesario un gran número de pruebas para lograr una información representativa de las características del manto compresible. En general, las arcillas están normalmente consolidadas, es decir, las cargas de preconsolidación resultan de magnitud parecida a las presiones efectivas de campo, las que a su vez, no siempre coinciden con los esfuerzos producidos por el peso propio del terreno, (ver el punto 1.5). La carga de preconsolidación de un suelo es el valor del esfuerzo máximo a que ha estado sometido. Las sobrecargas de construcciones en la superficie y principalmente, los procesos de secado durante la gestación de la corteza arcillosa, justifican esta condición de los depósitos lacustres. En fecha más reciente, el bombeo de agua subterránea ha provocado fuertes pérdidas de presión en los estratos inferiores, responsables del hundimiento general de la ciudad y de un aumento considerable en las cargas de preconsolidación de las arcillas afectadas por dicho fenómeno.

#### **A1.5. Consolidación unidimensional en los suelos.**

La deformación de la mayoría de los suelos, aún bajo cargas pequeñas, es mucho mayor que la de los materiales estructurales, además esta deformación no se produce, usualmente, en forma simultánea a la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo. Así, cuando un estrato de arcilla soporta un edificio, pueden ser necesarios muchos años para que la deformación del suelo se complete. El proceso de deformación de las arcillas tiene lugar casi completamente en un lapso posterior a la aplicación de la carga propiamente dicha; como resultado, es posible que el agrietamiento de una estructura pueda ocurrir años más tarde que su erección, sin que el proyectista pueda preverlo, a no ser que tenga presente, en forma correcta, el comportamiento del suelo. Otra diferencia entre los materiales estructurales y los suelos estriba en el hecho de que en los primeros, la deformación es principalmente resultado de un cambio de forma, sin variación de volumen, mientras que en los suelos ambos fenómenos

son importantes; en algunos problemas, particularmente en el asentamiento de edificios construidos sobre arcilla la deformación debida a cambio volumétrico en los estratos de suelo subyacente, es mucho más importante que la deformación debido a cambio de forma.

La compresión (o expansión) o deformación solo por cambios de volumen, es el proceso por el que una masa de suelo cambia de volumen manteniendo su forma; todo sucede como si estuviese cambiando la escala del espacio tridimensional. La distancia entre los puntos cambia, pero se mantiene su posición relativa.

La distorsión o deformación desviadora es el proceso por el que una masa de suelo cambia de forma, variando la posición relativa de sus puntos, pero manteniéndose su volumen constante.

Los procesos reales de deformación pueden siempre descomponerse en esas dos facetas; hay una componente volumétrica de la deformación y otra desviadora; el proceso real puede así considerarse siempre como una adición de ambas componentes.

Al observar los depósitos de material muy suave situados en el fondo de una masa de agua, por ejemplo, un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas por sedimentación sucesiva. A un proceso de disminución de volumen, que tenga lugar en un lapso, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo, se le llama proceso de consolidación.

Frecuentemente ocurre que durante el proceso de consolidación la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente la misma; así, el movimiento de las partículas de suelo puede ocurrir sólo en dirección vertical; esta es la consolidación unidireccional o unidimensional. En el caso citado arriba, por ejemplo, la consolidación sería de este tipo, considerando que los estratos depositados tienen gran extensión horizontal, en comparación con su espesor. En la consolidación unidimensional, por lo tanto, el volumen de la masa de suelo disminuye, pero los desplazamientos horizontales de las partículas sólidas son nulos.

El proceso de deformación de las arcillas tiene lugar en un período largo de tiempo posterior a la aplicación de la carga, esto se puede visualizar por medio de un modelo descrito a continuación

### ***Analogía mecánica***

Se considera un cilindro de área de sección recta  $A$ , provisto de un pistón sin fricción, con una pequeña perforación en él. El pistón está soportado por un resorte unido al fondo del cilindro, que se encuentra totalmente lleno de un fluido incompresible.

Si se coloca una carga  $P$  sobre el pistón (fig. A1.2) y se mantiene el orificio cerrado, es evidente que el resorte no puede deformarse y toda la carga  $P$  estará soportada por el fluido, que aumentará de presión en proporción directa a la magnitud de la carga.

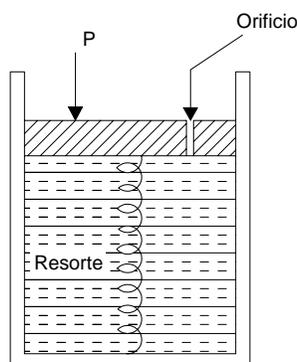


Figura A1.2 Principio mecánico de Terzaghi

Cuando se permite que el fluido salga por el orificio, hay una transferencia gradual de carga del fluido al resorte. Esto es, entre el interior y el exterior del cilindro, en el orificio, hay en un principio una diferencia de presión igual a  $P/A$ , que genera el gradiente necesario para que el fluido salga. Si se permite la deformación del resorte, la velocidad de transferencia depende del tamaño del orificio y de la viscosidad del fluido. Si el resorte se deforma suficientemente, soporta totalmente la carga  $P$  y el fluido volverá a sus condiciones iniciales.

En el suelo, la estructura de las partículas sólidas está representada por el resorte del modelo, el agua intersticial por el fluido incompresible y los canalículos capilares por los orificios de los émbolos.

Considerando una masa de arcilla saturada bajo carga en la cual no se permite el drenaje, se tiene que, en general, la compresibilidad de la fase sólida del suelo es muy grande comparada con la del agua. Al aplicar un incremento de presión, toda la carga se traduce en un exceso de presión en el agua de poro. Si se permite entonces el drenaje, el gradiente hidráulico resultante provoca un flujo de agua hacia afuera de la masa de arcilla, y ésta comienza a comprimirse. Una parte del esfuerzo aplicado se transmite a la estructura sólida del suelo, que a su vez causa una reducción del exceso de la presión de poro. Esto se traduce en un aumento del esfuerzo efectivo ( $p'$ ).

$$\Delta p' = \Delta p - \Delta u$$

El proceso de compresión gradual con flujo de agua y transferencia del exceso de la presión en el agua de poro al esqueleto mineral, se llama **consolidación primaria**.

Este razonamiento representa la base para la teoría de consolidación propuesta, en 1925, por Karl Terzaghi, quien se basó en las hipótesis descritas a continuación.

### Hipótesis

Terzaghi describió el fenómeno de consolidación de los suelos y propuso una teoría para modelarlo, la cual se basa en las siguientes hipótesis:

- 1 La compresión del suelo y la trayectoria del drenaje del agua son unidimensionales.
- 2 El agua y las partículas sólidas son incompresibles.
- 3 El cambio en el esfuerzo efectivo provoca cambios en los vacíos.
- 4 La masa de suelo está saturada, es homogénea e isotrópica.
- 5 El agua expulsada es aquella que sale de los poros de la estructura del suelo (se considera válida la teoría de Darcy).
- 6 El incremento de carga se aplica instantáneamente.
- 7 Los coeficientes de permeabilidad y compresibilidad del suelo permanecen constantes para un incremento de presión determinado.
- 8 La presión aplicada es uniforme a lo largo de un plano horizontal. Al inicio el exceso de la presión hidrostática es uniforme en toda la arcilla.
- 9 No se toma en cuenta el peso del suelo.
- 10 La capa de suelo sujeta a consolidación es de espesor uniforme y está confinada lateralmente.
- 11 Los estratos adyacentes a la capa en estudio tienen mayor permeabilidad.

El propósito de esta teoría es encontrar las condiciones esfuerzo - cambio volumétrico en cualquier punto en un tiempo determinado, durante el cual la masa de arcilla se encuentra sometida a una carga sostenida.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Vega Muñoz, Lorena. *Efectos de la inyección en la compresibilidad de las arcillas del valle de México*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, ENEP Acatlán, México, 1998.

## A1.6. Cálculo de la capacidad de carga.

### Capacidad de carga

Para visualizar objetivamente el problema de la Capacidad de Carga en suelos resulta útil el análisis del modelo mecánico que se presenta a continuación debido a Khristianovich.<sup>4</sup> Considérese una balanza ordinaria, cuyo desplazamiento está restringido por fricción en las guías de los platillos, tal como se muestra en la fig. A1.3.

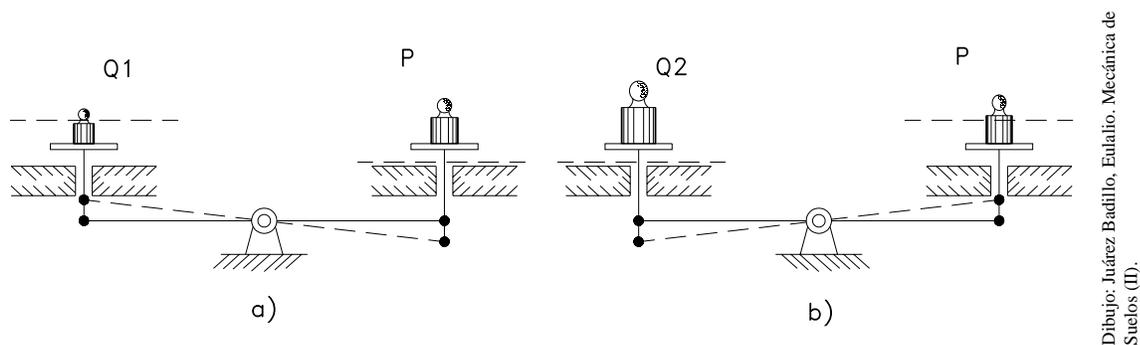


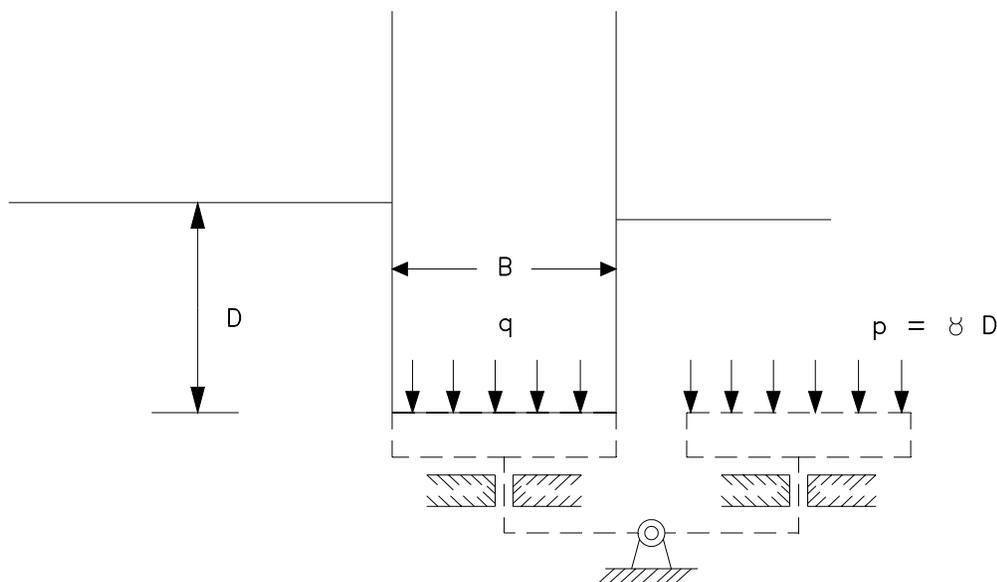
Figura A1.3. Modelo de Khristianovich.

Si un peso suficientemente pequeño se coloca en un platillo, la balanza permanece en equilibrio, pues la fricción en las guías puede neutralizarlo; en cambio, si el peso colocado es mayor que la capacidad de las guías para desarrollar fricción, se requerirá, para el equilibrio, un peso suplementario en el otro platillo. Se entenderá por equilibrio crítico de la balanza, la situación en que ésta pierde su equilibrio con cualquier incremento de peso en uno de sus platillos, por pequeño que éste sea. Una balanza muy ligera, en comparación con los pesos manejados, representará un medio sin peso propio; una balanza relativamente pesada respecto a los pesos de sus platillos representará un medio también pesado.

La estabilidad de cimentaciones puede ilustrarse con el siguiente problema planteado en la balanza. En el platillo derecho existe  $P$  y se requiere conocer  $Q$ , que debe colocarse en el platillo izquierdo, para tener la balanza en equilibrio crítico. Es evidente que este problema tiene dos soluciones; una corresponde a un  $Q < P$  y la otra, por lo contrario, a un  $Q > P$ . Las alternativas de equilibrio en estos dos casos ocurren con movimientos diferentes, ilustrados en los casos a) y b) de la fig. 1.3.

<sup>4</sup> Sokolovski, V. V. Statics of soil media. Capítulo 2 (Trad. Del ruso por D. H. Jones y A.N. Schofield). Butterworths Scientific Publications, 1960.

Considérese ahora el caso de una cimentación. Un cimiento de ancho  $B$ , está desplantado a una profundidad  $D$ , dentro de un medio continuo, (fig. A1.4).



Dibujo: Juárez Badillo, Eulalio. Mecánica de Suelos (II).

Figura A1.4. Correspondencia de un cimiento con la balanza de Khristianovich.

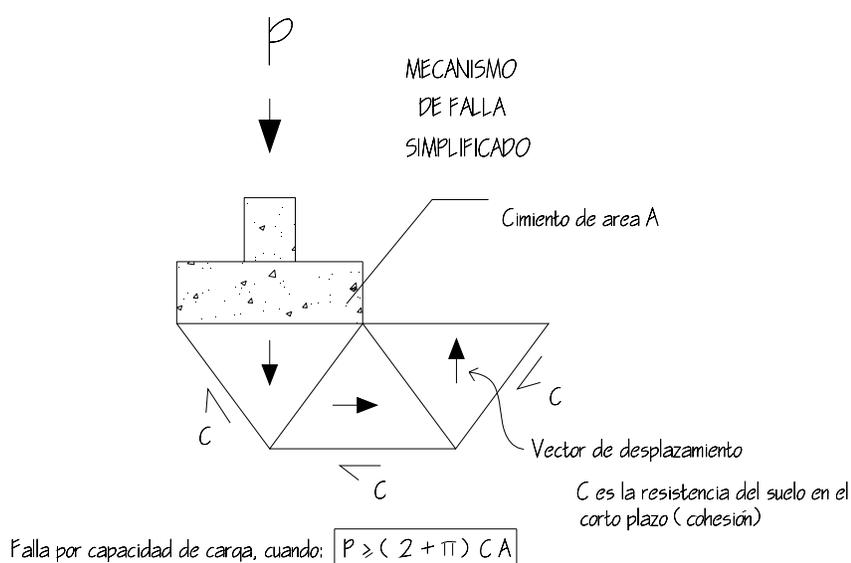
El problema de una cimentación sería encontrar la carga  $q$ , máxima, que puede ponerse en el cimiento, sin que se pierda la estabilidad del conjunto. La correspondencia con la balanza puede visualizarse, haciendo coincidir un platillo con el cimiento, tal como se ve en la fig. 2. El otro platillo está dentro del terreno natural. Es evidente que la presión  $q$  que puede ponerse en el platillo izquierdo es mayor que la carga del otro platillo,  $p = \gamma D$ , puesto que la resistencia del suelo, representada en el modelo por la fricción en las guías, está trabajando en favor del  $q$ . Este caso corresponde entonces al de la fig. 1-b, en que  $Q > P$ .

El caso a) de la fig. 1.3, en que  $Q < P$ , corresponde al de una excavación. Ahora  $q$  es nulo, pero conforme se profundiza la excavación las cosas suceden como si se bajase el nivel de la balanza de la fig. 1.4 con la consecuencia del aumento de la presión  $p$ . Es evidente que existirá una profundidad crítica tal que, al tratar de aumentar la excavación, el fondo de ésta se levantará como el platillo de la balanza lo haría. Este es el fenómeno de *falla de fondo*, frecuentemente reportado en las obras reales.

Un suelo muy resistente equivale a unas guías con mucha fricción y recíprocamente. Los caso límites estarían representados por una roca sana, en la cual, con referencia al caso de la cimentación,  $q$  podría ser muy grande en comparación de  $p$  y por un líquido, de resistencia

nula al esfuerzo cortante, en el que el máximo  $q$  que puede ponerse es igual a  $p$  (principio de flotación). Una cimentación en la que  $q$  sea igual a  $p$  se denomina en Mecánica de Suelos *totalmente compensada*.<sup>5</sup>

Una de las situaciones que se debe revisar en una cimentación es que no falle por capacidad de carga, esta condición es para preverla a corto plazo. En la figura A1.5 se presenta el mecanismo de falla simplificado.



Dibujo del autor basado en croquis del Dr. Efraín Ovando Shelley

Figura A1.5. Mecanismo de falla simplificada.

## A1.7 Características estratigráficas del suelo en el Valle de México.

### *Estratigrafía*

Los depósitos del Lago existen debido a que en la cuenca cerrada del valle de México se podía formar un lago, dependiendo de las condiciones climáticas dominantes: en climas fríos, se formaba un lago; pero al calentarse el clima, el lago disminuía y hasta desaparecía (fig. A1.6).

<sup>5</sup> Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de Suelos*. T. II, Limusa, México, 1996.

El resultado de estas oscilaciones climáticas fue el depósito de material arcilloso en la parte central del Lago; el cual subsistía a pesar de las sequías. Por el contrario en las partes marginales, las arcillas lacustres se intercalaban con suelos secos.

Mooser ha interpretado las edades geológicas y las correlaciones estratigráficas establecidas entre Las Lomas y la planicie, definiendo la estratigrafía de los depósitos lacustres.

A medida que dichos depósitos se acercan al pie de Las Lomas, se van intercalando con limos, arenas e incluso gravas y boleas. Las aportaciones fluviales de Las Lomas se depositan en el quiebre morfológico: Lomas - Planicie.

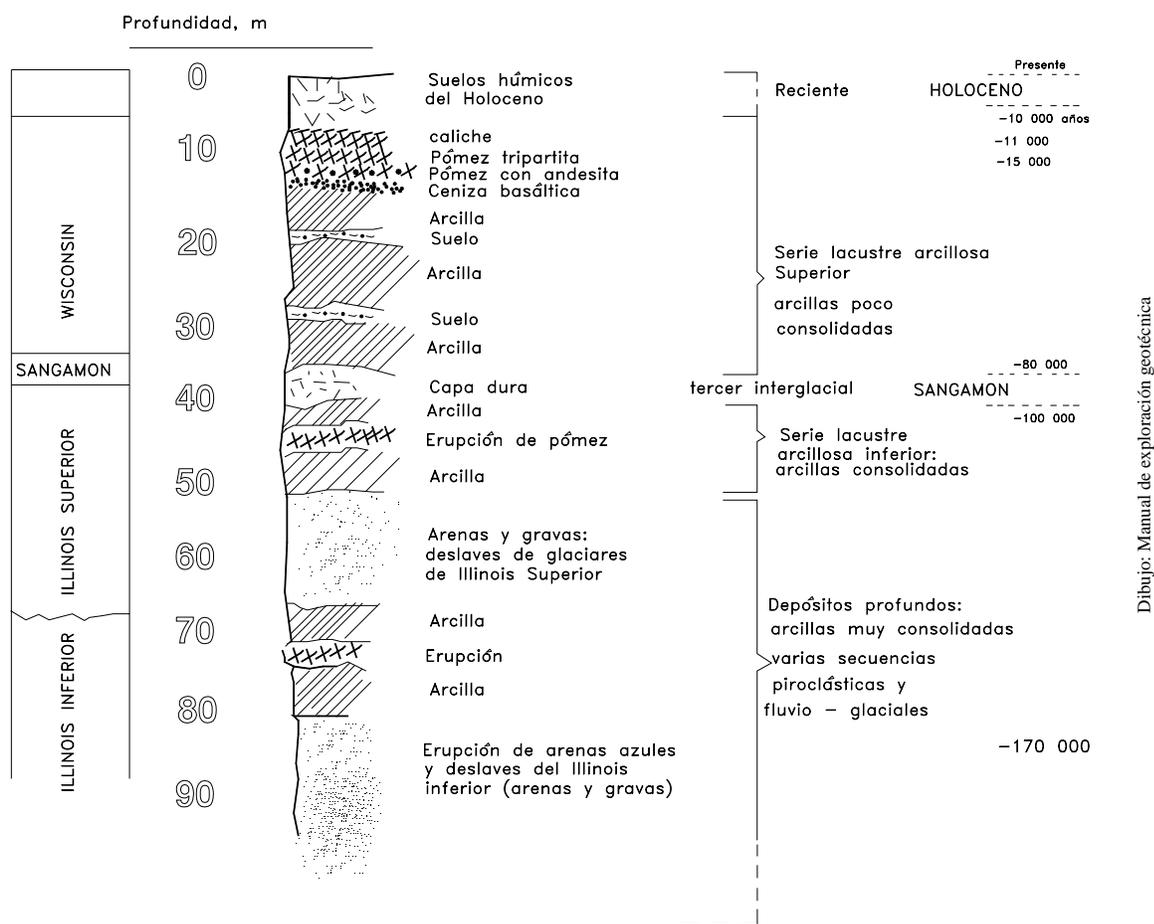


Figura A1.6. Estratigrafía de la planicie lacustre, ciudad de México.

Las aportaciones del Illinois Inferior bajan hasta Río Hondo, Virreyes, Tacubaya, Barranca del muerto y San Angel; depositando morrenas, clásticos y boleos, para formar las acumulaciones aluviales que señalan la transición entre Las Lomas y la Planicie (fig. A1.7).

En Las Lomas se identifican algunos fenómenos geológicos importantes:

- la erosión de depósitos que propicia la formación de barrancas.
- El relleno parcial de las barrancas, con clásticos de nuevas erupciones.

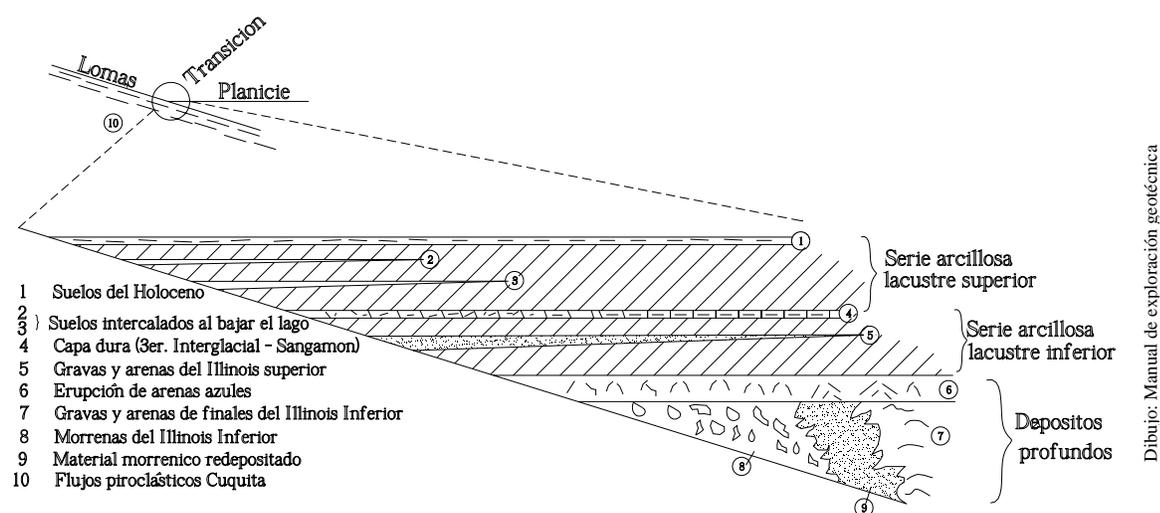


Figura A1.7. Estratigrafía de la zona de transición, ciudad de México.  
Dibujo: Manual de exploración geotécnica.

**El reglamento de Construcciones del Distrito Federal, clasifica las zonas del subsuelo del valle de México en el artículo 219:**

Artículo 219.- para fines de este Título, el Distrito Federal se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

Zona I.- **Lomas**, formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos

---

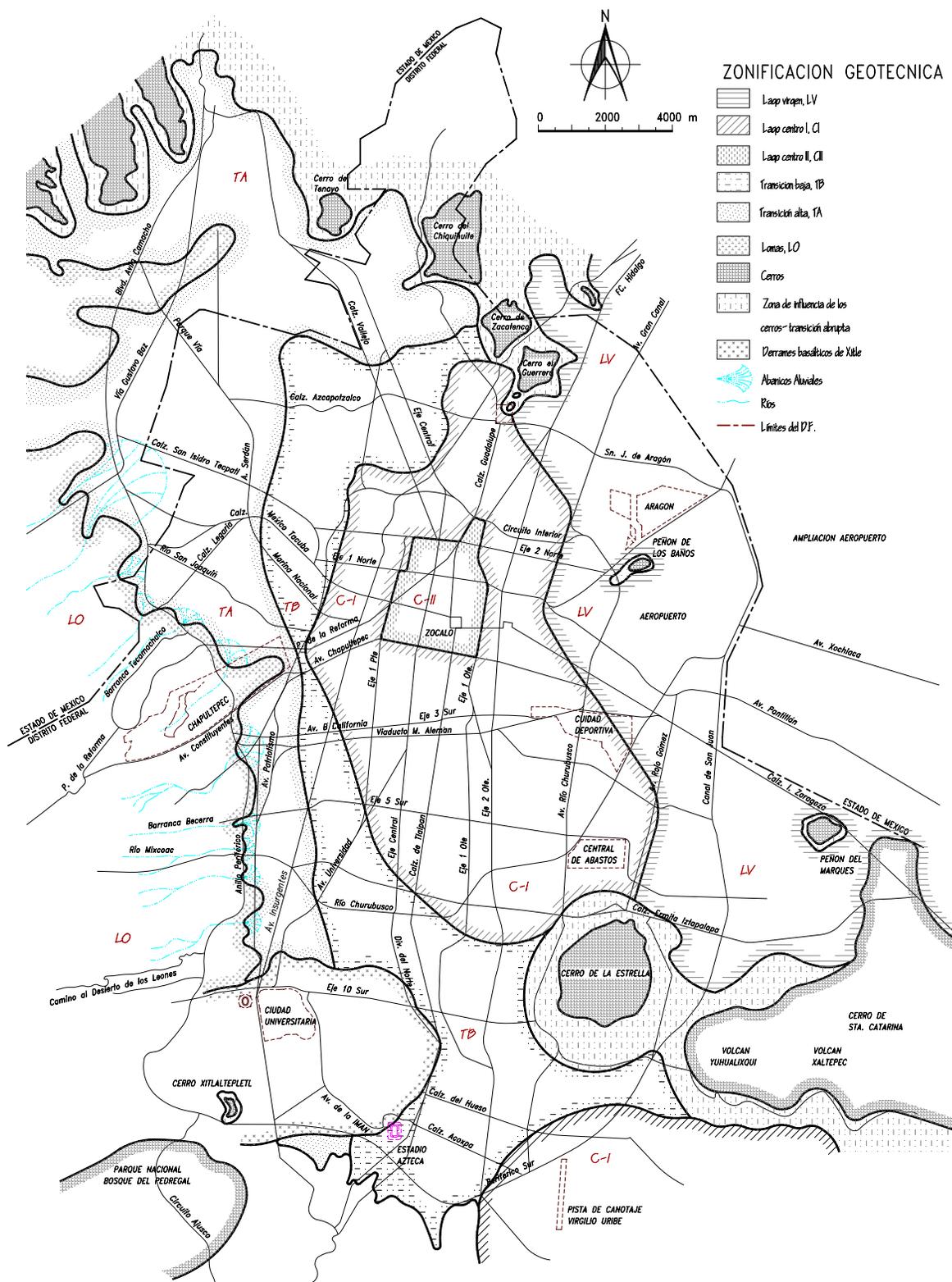
---

relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena.

Zona II.- **Transición**, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 metros de profundidad, o menos, y que está constituido predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

Zona III.- **Lacustre**, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme o muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 metros.

La zona a que corresponda un predio se determinará a partir de las investigaciones que se realicen en el subsuelo del predio objeto de estudio, tal y como lo establecen las Normas Técnicas Complementarias (fig. A1.8).



Dibujo: ACI

### A1.8 Condiciones históricas del subsuelo (de los aztecas a nuestros días).

Como parte fundamental del desarrollo de la ciudad, el subsuelo presenta características únicas. Desde los primeros asentamientos en la parte central del valle, rodeado de lagos, la opción de crecimiento de la superficie apta para construir, significó adaptarse al entorno, pero sobre todo tener la capacidad técnica que pudiera resolver el problema de cómo soportar las construcciones en este tipo de suelo.

Desde el significado etimológico del lugar dado por algunos: *metzli*, la luna y el de *xictli*, ombligo o centro, que significaría "(la ciudad que está) en medio (del lago) de la luna"<sup>6</sup>, podemos entender lo que fue el asentamiento de la ciudad.



Fig. A1.9. La fundación de Tenochtitlán, según el dibujante del código de 1576

<sup>6</sup> Soustelle Jacques, La vida cotidiana de los Aztecas. FCE, México, 1977, pp.19.

---

---

Ya se ha mencionado en distintos estudios la historia de la formación de México – Tenochtitlán, aquí se presenta la visión de Soustelle: “Una de las historias tradicionales refiere como los viejos descubrieron al principio, intollihtic inacaihtic “dentro del tular, dentro del carrizal”, algunas plantas y animales que el dios Huitzilopochtli les había anunciado: un sauce blanco, la rana y el pez blancos, etc. `En cuanto vieron esto lloraron al punto los ancianos, y dijeron: “De manera que es aquí donde será (nuestra ciudad) puesto que vimos lo que nos dijo y ordenó Huitzilopochtli”. Pero a la noche siguiente el dios llamó al sacerdote cuauhcoatl (Serpiente – Águila) y le dijo:

“¡Oh Cuauhcoatl! Habéis visto ya y os habéis maravillado con todo lo que hay dentro del carrizal. Oíd, empero, que hay algo más que no habéis visto todavía; idos incontinenti a ver el `tenochtlí´ en el que veréis se posa alegremente el águila... allí estaremos, dominaremos, esperaremos, nos encontraremos con las diversas gentes, pecho y cabeza nuestros; con nuestra flecha y escudo nos veremos con quienes nos rodean, a todos los que conquistaremos... pues ahí estará nuestro poblado, México – Tenochtitlán, el lugar en el que grita el águila se despliega y come, el lugar en que nada el pez, el lugar en que se desgarran la serpiente, México – Tenochtitlán y acaecerán muchas cosas”.

Cuauhcoatl reunió inmediatamente a los mexicanos y les informó de lo que había dicho el dios. Ellos le siguieron hasta los pantanos, entre las plantas acuáticas y los carrizos y de pronto “vieron cuando, erguida el águila sobre el nopal, como alegremente, desgarrando las cosas al comer... y hablóles allá el `Diablo´ y les dijo: ¡`Oh mexicanos, allí estará ´! E inmediatamente lloraron por esto los mexicanos, y dijeron: ¡´merecimos, alcanzamos nuestro deseo!´ puesto que hemos visto y nos hemos maravillado de donde estará nuestra población; vámonos y reposemos.” Esto pasaba en el año ome acatl, 2 caña, 1325 de nuestra era.”

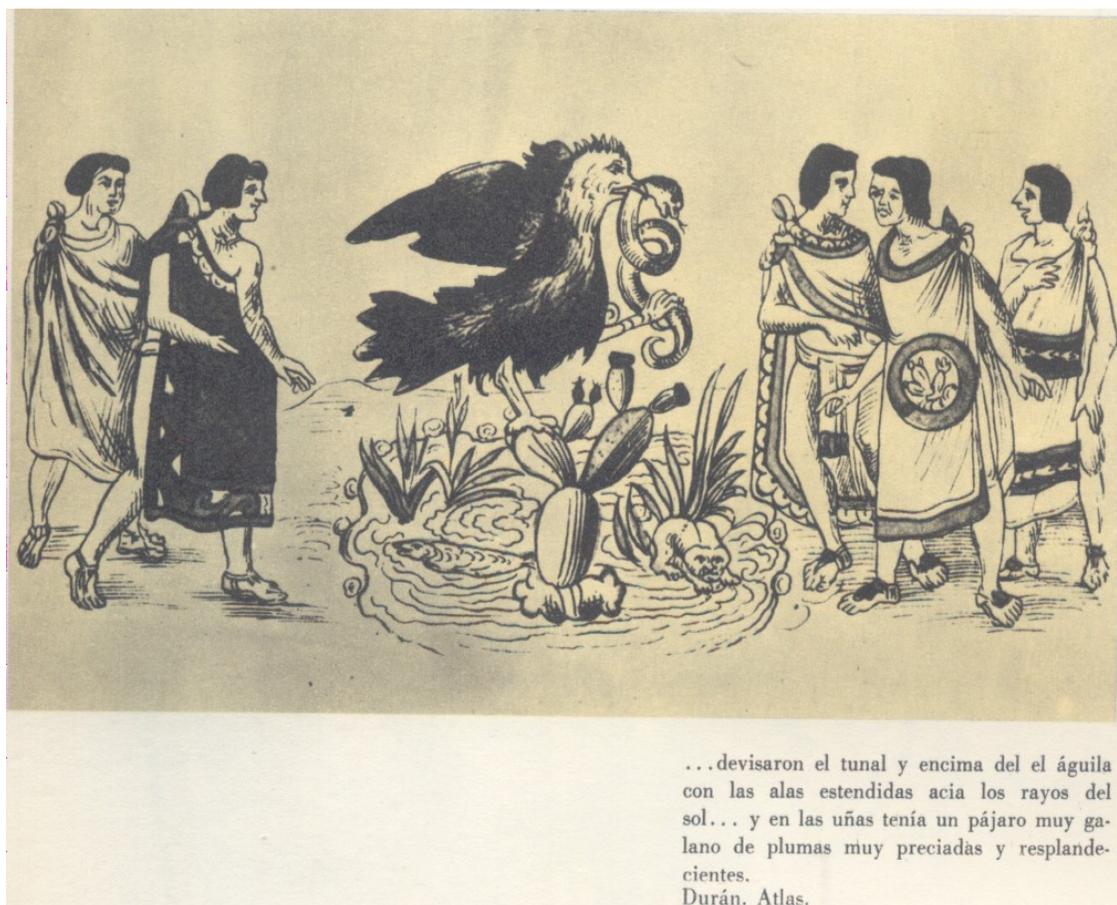


Figura A1.10. Fundación de México - Tenochtitlán.. Durán. Dibujo: La ciudad de México.

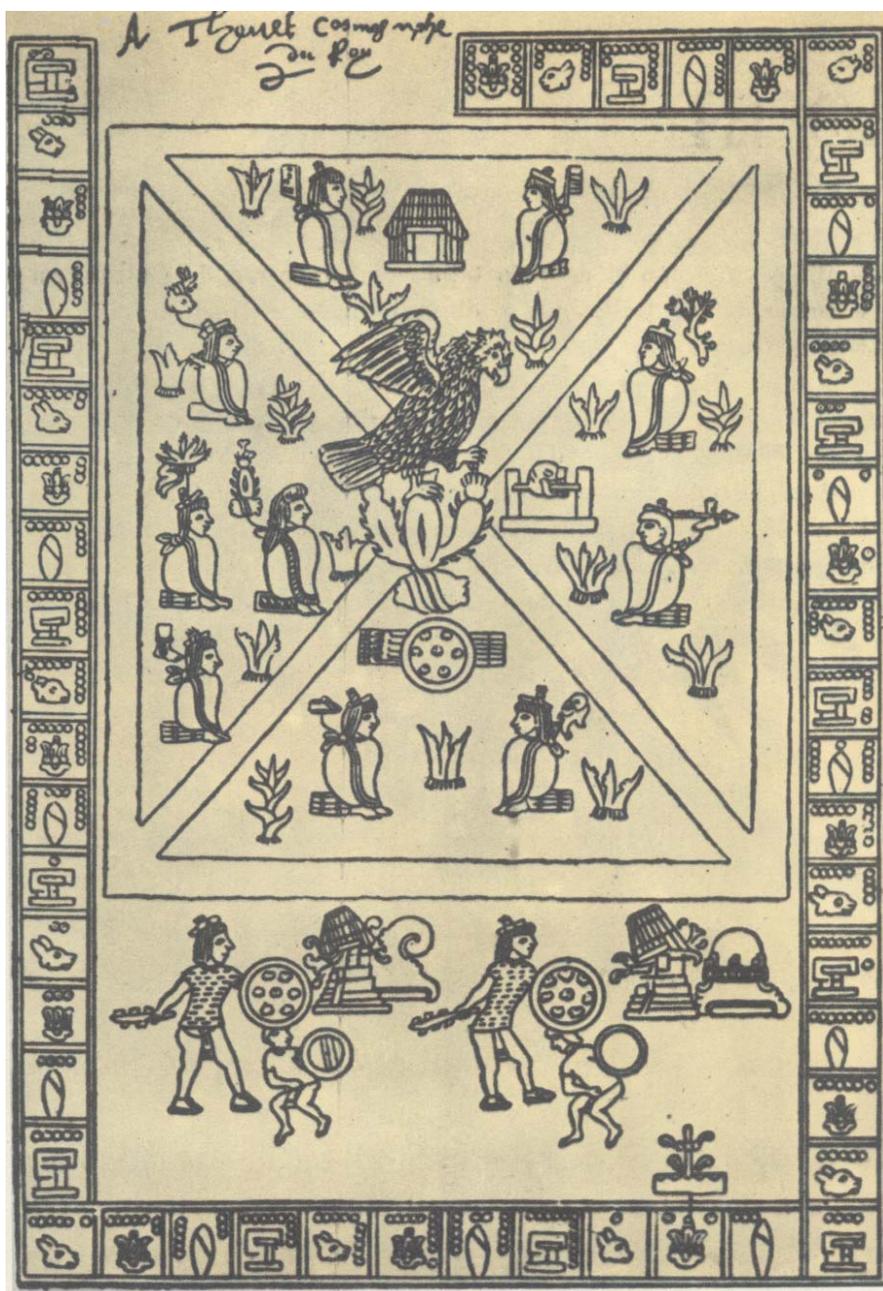


Figura A1.11. Fundación de México - Tenochtitlán. Códice Mendocino. Dibujo: La ciudad de México.

Más allá del aspecto mítico, se menciona que la principal razón para elegir el sitio en donde se fundaría el más brillante complejo urbanístico azteca, fue la presencia de manantiales de agua, encontrados en buen número en las excavaciones de la Catedral Metropolitana.<sup>7</sup>

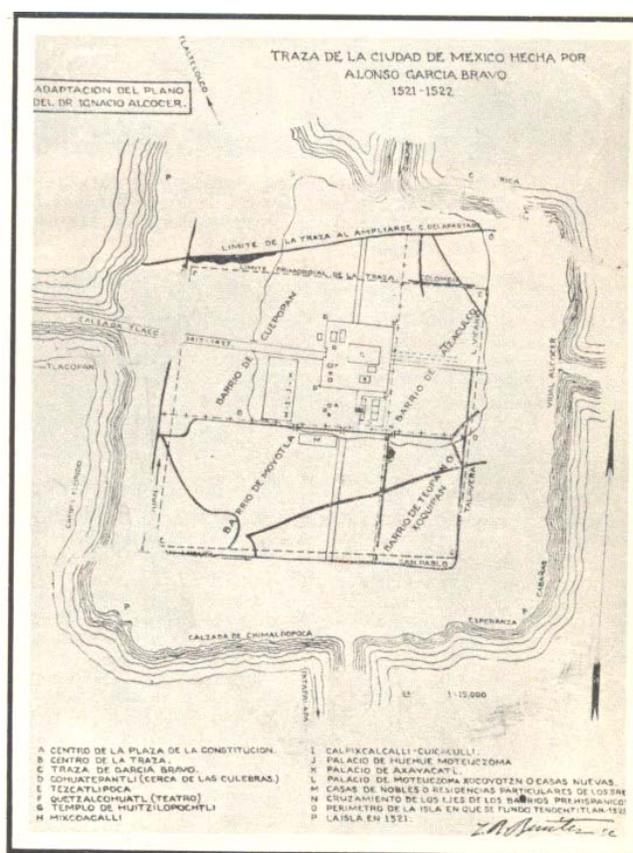
Ya asentados en este mítico lugar los aztecas tienen que vencer infinidad de obstáculos tanto en el aspecto urbano, como en los naturales y sociales. Empiezan a solucionar sus

<sup>7</sup> Ovando Shelley, E., Manzanilla, L. AN ARCHAEOLOGICAL INTERPRETATION OF GEOTECHNICAL SOUNDINGS UNDER THE METROPOLITAN CATHEDRAL, MEXICO, CITY. Great Britain, 1997, Archaeometry 39, 221-235 p.



y en Chichimecapan (“río de los chichimecas”). Por el oriente se prolongaba hasta Atlixco (“en la superficie del agua”), donde comenzaba la zona libre del lago de Texcoco. La ciudad presentaba en conjunto la forma de un cuadrado de tres kilómetros aproximadamente de lado, y abarcaba una superficie de mil hectáreas. A este propósito, se puede recordar que Roma, en el interior de la muralla de Aureliano, ocupaba 1,386 hectáreas. Toda esa superficie había sido transformada durante dos siglos de actividad en una red geométrica de canales y terraplenes, ordenados alrededor de dos centros principales: el templo mayor y la plaza de Tenochtitlán, el templo mayor y la plaza de Tlatelolco y de numerosos centros secundarios: los barrios.

Cabe mencionar que los barrios o secciones principales en relación al templo mayor: al norte Cuepopan, al oriente Teopan, al sur Moyotlán y al poniente Aztacalco, cuya constitución fue respetada durante toda la época colonial y cambiándoles solamente el nombre por barrios cristianos: Santa María la Redonda (Cuepopan) San Pablo (Teopan), San Juan (Moyotlán) y San Sebastián (Aztacalco).<sup>8</sup>



Dibujo: La ciudad de México

Figura A1.13. Plano en donde se indica la ubicación de los cuatro barrios principales de México – Tenochtitlán.

<sup>8</sup> Sosustelle, Jacques, Op. cit.

---

---

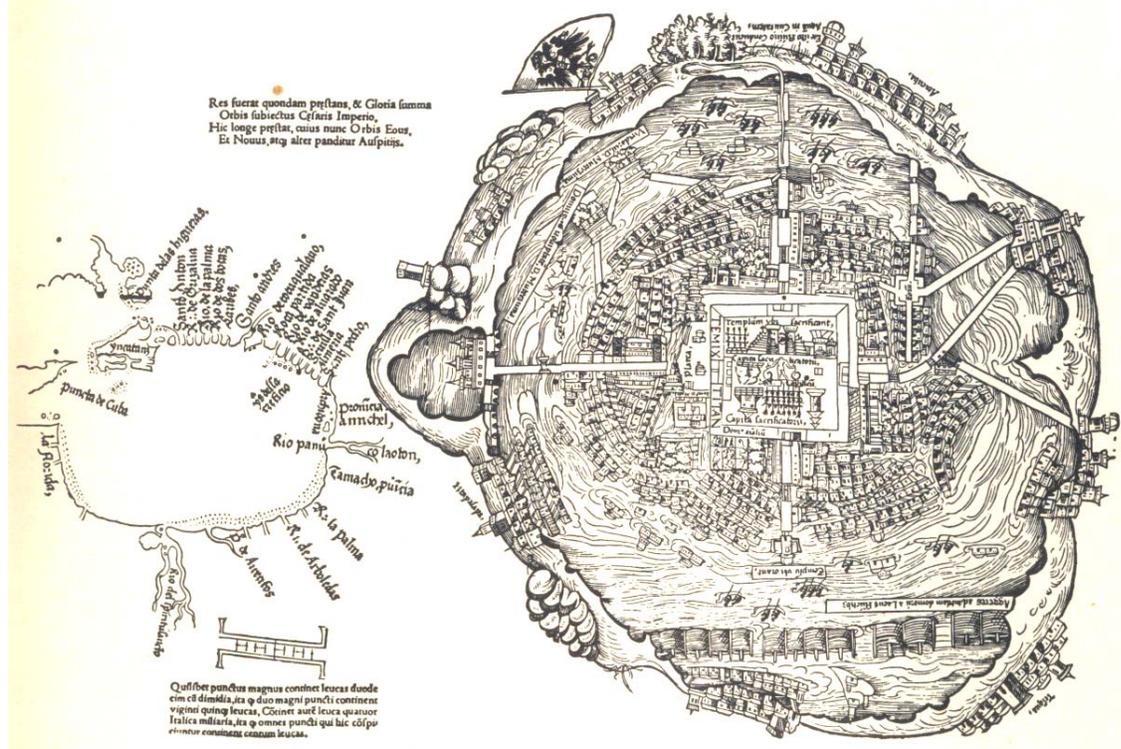
Ya en la época de los españoles, se establece la capital en este mismo lugar, mismo que a la larga les provoca infinidad de problemas, nuevamente relacionados con el agua. Desde época de los aztecas se tienen documentadas las inundaciones que se presentaban en la ciudad. Los españoles vivieron una en 1555, misma que les causó gran terror, según crónicas de la época. A consecuencia de esta inundación los habitantes de México hacen una crítica severa para contra Cortés, por haber establecido en este sitio la capital de la Nueva España, los habitantes envían una carta al virrey Luis de Velasco el Segundo en donde se expresan de dicho evento de la siguiente manera:

“En toda esta Nueva España ha llovido mucho más que los pasados y ha hecho daño en algunas provincias, porque ha anegado las cementseras de trigo y maíz, y en esta ciudad ha sido mayor que en otras partes, por estar la ciudad en lo más bajo, y cercada la mayor parte de una laguna grande, donde acuden todas las aguas de ríos y fuentes de la comarca, que son muchos, hemos vístonos en gran trabajo, y si no se pusiera gran diligencia en desaguar un río que salió de madre, por la parte de Tlatilulco, se llama Santiago, gran parte de la ciudad se perdiera. Fue gran yerro a mi ver fundarla en este sitio, porque había otros mejores a dos y a tres leguas de aquí. Además de esto edificaron las casas más bajas que las plazas y calles, y así toda el agua lloediza se entra en las casas, y no tiene desaguaderos. Si otro año las aguas acuden con la furia que éste, la ciudad corre riesgo, prevenirse ha de los remedios posibles, aunque el dañoñ principal que fue, es el mal sitio en que se fundó, y los malos cimientos, y ruines edificios, no tiene reparo si la ciudad no se mudase, y esto ya no se puede hacer así, porque costaría dinero innumerable, como porque ni podrían ni querrían los indios entender en obra tan grande, y sin ellos no se puede hacer una casa, cuanto más mudar a una tan grande ciudad, así que se ha de esperar a lo que Dios nuestro señor fuere servido, reparándonos lo mejor que sea posible, como se hará. México diez y seis de septiembre de 1555”.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> DDF. *Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, México, 1975.

*La ciudad de México. Plano atribuido a Hernán Cortés. Clements Library, University of Michigan.—Mexico-City. Plan attributed to Hernán Cortés. Clements Library of Michigan.*



*Figura A1.14. Plano en donde se aprecia la conformación de la ciudad de México – Tenochtitlán, con gran cantidad de cuerpos de agua alrededor. Dibujo: La ciudad de México.*

Esta visión nos deja en claro que el problema del manejo del agua, siempre tuvo en sus miras eliminar el peligro que significaba el aumento de los niveles del agua, por los constantes peligros de inundaciones.



Figura A1.15. Plano de Juan Gómez de Trasmonte, fechado en 1628. Interpretación de Manuel Toussaint, en donde se indican los nombres de edificios, calles y accidentes topográficos. Dibujo: Planos de la ciudad de México.

“En el interior de la ciudad por muchos años permanecieron las acequias. Todos los historiadores de la época virreinal hacen referencia a esos canales.

Por acequias y canales, penetraba del agua del lago hacia el subsuelo de la ciudad, de toda la ciudad en su dimensión en el siglo XVIII pero además las inundaciones, cuando subía el nivel del lago que cubría el suelo que, sin ninguna protección en su superficie, permitía la absorción hacia el subsuelo, saturándolo de agua.



*Figura A1.16. Litografía en donde se aprecia la gran cantidad de lanchas que circulaban en el canal de la Viga.  
Dibujo: La ciudad de México*

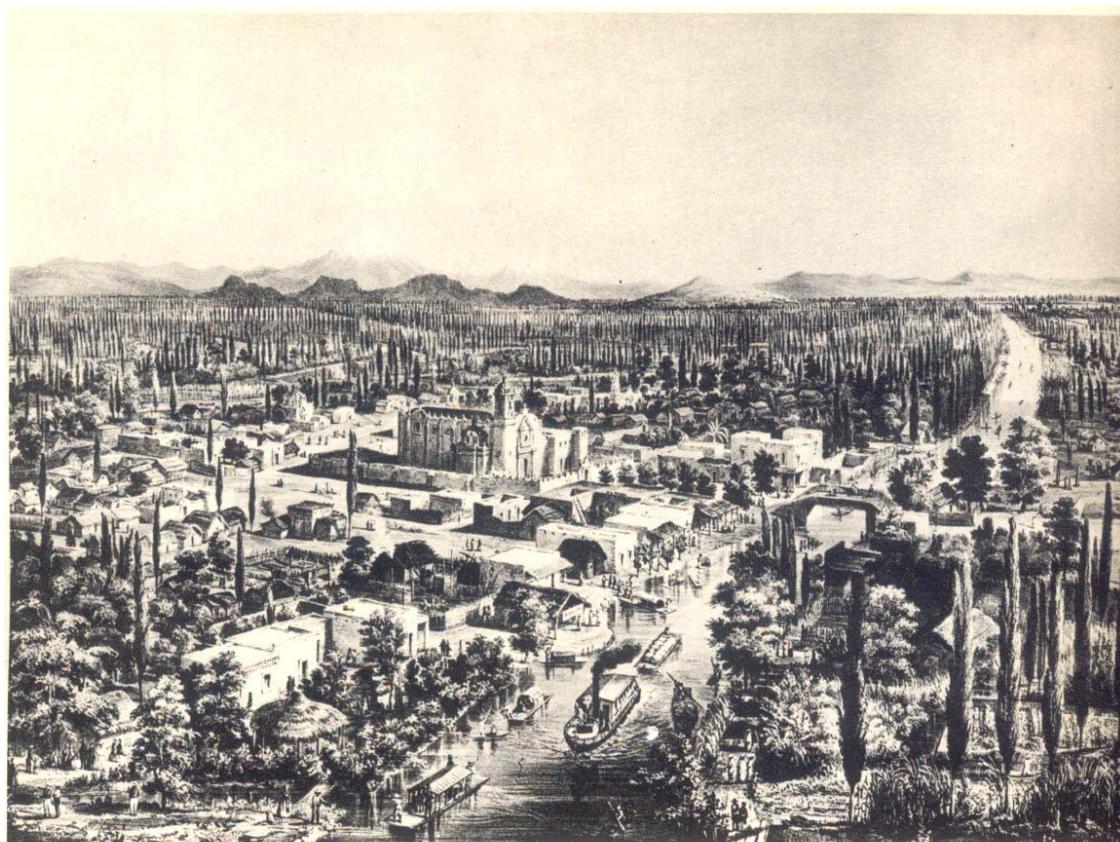
Simultáneamente al estudio de proyectos para sacar del valle de México el agua de los lagos para evitar las inundaciones mucho se discutía, sobre la conveniencia, o no, de eliminar las acequias:

De las acequias lejanas se extraían con relativa frecuencia ahogados, supuestamente de concurrentes a las tabernas y pulquerías. Por otra parte, en lluvias era tal la carga de agua, que por no limpiarlas previamente se anegaban las calles.

Esta era una de las razones representativas de los contras, pero había los pros para la conservación de los canales.

Tal vez para llamar la atención del Virrey, Alzate publicó una serie de artículos o de opúsculos con ideas novedosas aunque no originales; uno de ellos se editó en 1789 en el que señalaba "que aquí, contra la práctica general de las naciones, se procura extinguir las calzadas de agua, que tanto alivian el público porque disminuyen los costos de conducción..." no se aniquilen por estar sucias, indáguese el motivo por que lo están, límpiense y el público logrará utilidad, porque en México como ya se dirá en otra parte, lo que se necesita es agua, vasos que surtan vapores que tan necesarios son para la salud.

Para la mitad el siglo XIX intencionalmente se hizo inundar parte de la ciudad como defensa ante la intervención norteamericana y poco después... En esa época se intensificó la navegación de barcos de vapor por los lagos y canales del valle de México, para lo cual se cortaron varias calzadas y se abrieron canales.



El Pueblo de Ixtacalco

*Figura A1.17. Litografía en donde se aprecia el transporte a través de barcos de vapor, por uno de los canales de la ciudad que atravesaba el pueblo de Ixtacalco. Dibujo: La ciudad de México*

Para facilitar estas ideas el presidente Comonfort convocó a presentar proyectos para lo cual fijó entre otros objetivos que...

... el desagadero de las atarjeas de la ciudad sea franco y desembarazado y si es posible, se introduzca por ellos una corriente perpetua que arrastre constantemente el cieno que contiene..... que se abra dentro del valle y en todas direcciones el mayor número posible de canales de transporte y comunicación.

Contradicción ante la necesidad de desaguar el valle, el deseo de aprovechar e incrementar los canales. Para Marzo de 1890 se inaugura una línea de “Vapores” entre México y Chalco aprovechando los canales de la Viga y de Garay para salir a la zona de los lagos.

Termina el siglo XIX y termina la sobresaturación del suelo con el agua. Se inicia el siglo XX con la apertura del Gran Canal, van desapareciendo atarjeas y canales; aun por los años treintas del presente el Canal de la Viga transportaba a la zona del mercado de la Merced la producción de verduras y flores de Chalco y Xochimilco”.<sup>10</sup>



*Figura A1.18. Fotografía de un canal en la zona de Jamaica, en donde se ve como seguía siendo utilizado para transportar mercancía de las zonas de sembradíos a los mercados de la ciudad. Dibujo: I a ciudad de México*

Finalmente, la ciudad va perdiendo todos estos núcleos de agua que permitían mantener la presión hidrostática del agua en su nivel adecuado y se apuesta por la sustitución de ríos y canales por avenidas cubiertas de pavimento, que al paso de los años han desencadenado uno de los problemas más graves de esta ciudad, ya que no se han mantenido zona de recargas acuíferas en la cantidad necesaria.

Esta tendencia se trata de revertir con la construcción de pozos de absorción en distintas zonas de la ciudad, que de alguna manera captarán agua para filtrar en el subsuelo, pero no la necesaria para mejorar significativamente el aumento de la presión hidrostática.

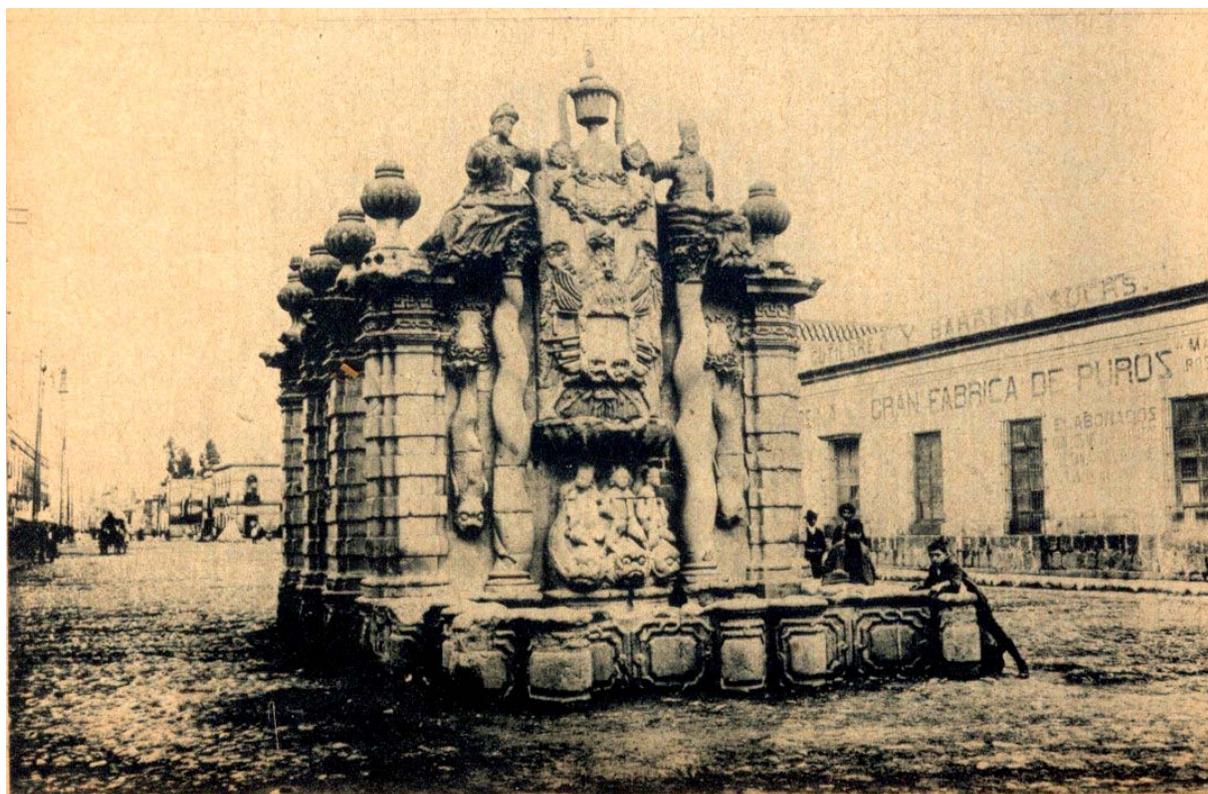
<sup>10</sup> Aguirre Cárdenas *Arquitectura y Subsuelo. El centro histórico de la Ciudad de México.*

## A1.9 Causas del hundimiento en la ciudad de México.

### Extracción de agua potable del subsuelo a través de pozos profundos.

El problema de hundimiento de la ciudad de México, está estrechamente ligada a la sobreexplotación de acuíferos en el subsuelo, para satisfacer las demandas de agua potable de la población.

Se tiene entendido que la demanda del agua ha sido satisfecha a través de un proceso histórico, desde la utilización de manantiales cercanos que su agua era transportada por acueductos, pasando a la perforación de pozos profundos para continuar con este abasto.



*Figura A1.19. Fotografía de la fuente del Salto del Agua, en donde terminaba la arquería del acueducto que abastecía de agua desde Chanulteneç. Dihuin: México en el Tiempo*

Es un hecho comprobado que los acuíferos del subsuelo, y entre ellos, mantos relativamente poco profundos, estuvieron sujetos a presiones artesianas en el pasado. Durante la época colonial era frecuente el alumbramiento de estratos permeables por medio de pozos indios y que el agua alcanzara la superficie del terreno. La historia prehispánica y los restos de construcciones hidráulicas de esos tiempos, demuestran que los aztecas se abastecían de los manantiales que brotaban en las zonas vecinas a la Capital.

---

---

Contando la capital con una población de 500,00 habitantes a principios de siglo, se construyó el primer sistema unificado de captación y distribución de agua potable. Varios manantiales de la región de Xochimilco constituyen la fuente de abastecimiento y el acueducto se diseña para un caudal de 2.5 m<sup>3</sup>/seg. Considerando el consumo medio de 300 l/hab/día, el gasto disponible cubre las necesidades de la ciudad hasta aproximadamente 1930, pues además de los recursos antes mencionados existen dentro de la zona urbana un sinnúmero de pozos particulares que suplen la deficiencia del servicio municipal. A partir de ese año se inicia una fuerte migración del interior hacia la capital, el aumento de la población supera a las predicciones y se plantea de modo agudo el problema del agua.

A consecuencia del fenómeno demográfico antes descrito, se hace necesaria la ampliación rápida del abastecimiento de agua y se opta por explotar los acuíferos del subsuelo dentro de la urbe, dadas las notorias ventajas económica y de tiempo que representa la simple instalación de equipos de bombeo y tuberías de distribución locales. Se crean así una serie de sistemas, unos interconectados a la red antigua y otros aislados, que van satisfaciendo las necesidades en forma progresiva y algo errática; a períodos críticos en el abastecimiento siguen otros de notable intensificación en el bombeo de los acuíferos.

La gran demanda de agua potable por parte de la población es satisfecha en gran parte de estos pozos, dado que la demanda de agua en promedio en el valle de México es de 324 lt/persona, de acuerdo a un estudio realizado por la UAM. Según las estadísticas del agua en México del año 2003 los acuíferos de la zona Metropolitana de la ciudad de México, están sobreexplotados, es decir que la extracción del agua es superior a la recarga. Para poder poner en claro el panorama, debemos entender que actualmente la ciudad tiene un déficit de tres metros cúbicos por segundo de agua, para poder satisfacer la demanda de la población. Según datos de la Secretaría de Obras y Servicios del D.F., el panorama de demanda de agua potable es el siguiente:

“Para el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, se ha recurrido a través del tiempo a diferentes fuentes; inicialmente a los manantiales de la región. Cuando éstos resultaron insuficientes, se procedió a la perforación de pozos en el propio Valle de México, llegando a la sobreexplotación del acuífero subterráneo por el aumento continuo de la población y la consecuente demanda del líquido. Aun esta fuente resultó insuficiente y se debió recurrir a fuentes externas, inicialmente al Valle del Lerma a partir de 1950 y en años más recientes a la Cuenca del Cutzamala, de la cual proviene el 30% de los 35,000 litros de agua por segundo que

se suministran a la Ciudad, la que es transportada desde un sitio a una distancia de 127 kilómetros y bombeada a una altura de 1,100 metros, para introducirla al Valle de México. Otro 3% proviene de manantiales de la Ciudad, el restante 67% proviene de fuentes subterráneas y es extraído a través de 783 pozos en operación, 53% del acuífero del Valle de México y 14% del Valle de Lerma-. Actualmente se tiene en la Ciudad de México un déficit de alrededor de 3 metros cúbicos por segundo de agua para satisfacer las demandas existentes, las cuales continúan creciendo; el último incremento de caudales se dio en enero de 1995 -hace más de 11 años- y el Proyecto de Temascaltepec, como última etapa de abastecimiento del Sistema Cutzamala, prácticamente ha quedado descartado por razones de tipo sociopolítico, por lo que una de las acciones determinantes para incrementar el abastecimiento de agua es el de la rehabilitación de las redes para evitar las fugas”.

#### Formación lacustre del subsuelo.

Los hundimientos se dan también debido a la formación lacustre del subsuelo, en donde el gran peso de las construcciones han consolidado el suelo.

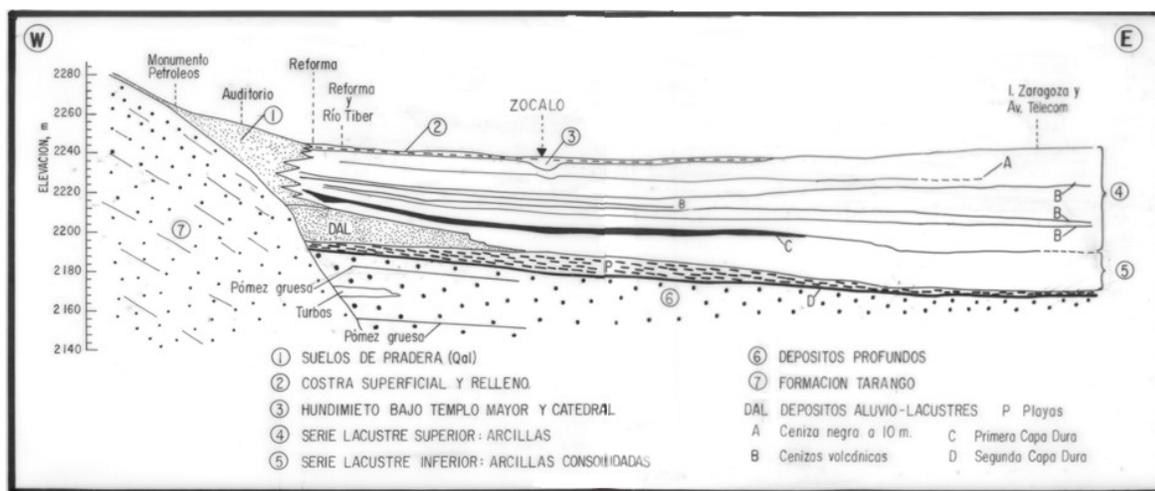


Figura A1.20 Estratigrafía aluvio volcánica debajo de la Ciudad de México.

Las velocidades de hundimiento muestran las diferentes etapas de explotación de acuíferos. En el período de 1900–1938 fue de 4.6 cm/año; en la siguiente década se observa un incremento importante con 16 cm/año. En el período de 1948-1956 se observa una velocidad de 35 cm/año. Con el decreto de la veda de pozos la velocidad disminuyó a 7.5 cm/año y en la década de los 80´s alcanza 4.5 cm/año (fig. A1.20).

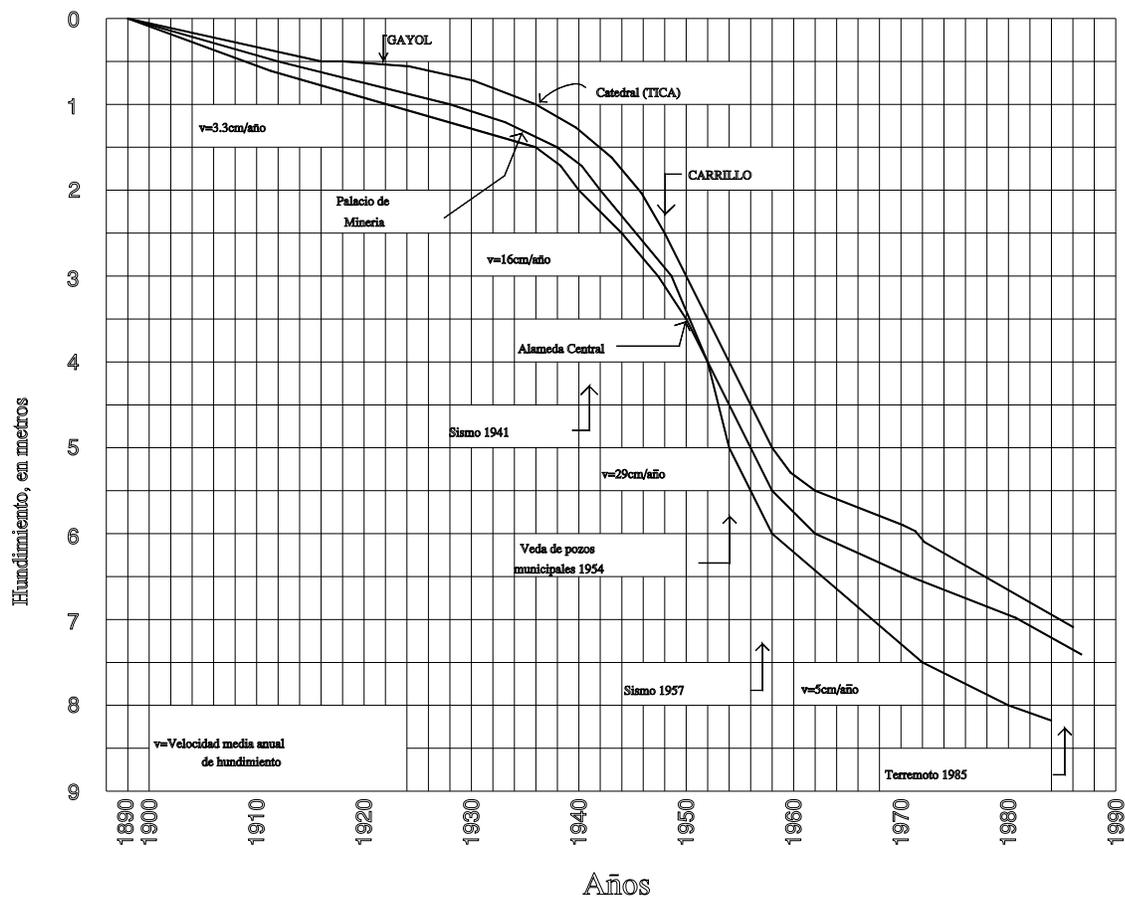


Figura A1.21. Gráfica de hundimientos en el valle de México.

Los efectos más notables de este problema son los asentamientos diferenciales acusados en una gran cantidad de edificios, muchos de ellos de gran valor arquitectónico, ubicados en el centro histórico de la ciudad. Dichos asentamientos provocan daños en los elementos estructurales de los mismos, agrietamientos y desplomes significativos.

Existen también los cambios de pendiente en las redes de drenaje y difícil operación de las mismas, rotura por tensión de conducciones encerradas usadas para conducción de agua potable o teléfonos, contaminación de los mantos freáticos por falla de las redes de drenaje, etcétera.

Los asentamientos inducidos por el bombeo en la ciudad no son uniformes. En consecuencia los drenes enterrados y construidos desde inicios del siglo XX, así como el gran

canal de desagüe sufren modificaciones en su pendiente, presentándose a veces hasta contra pendientes<sup>11</sup>. En el caso del gran canal de desagüe, por ejemplo, ha resultado necesario construir plantas de bombeo que eleven las aguas negras hasta 6 m para que por gravedad puedan recorrer posteriormente ese canal.



*Figura A1.22. Fotografía de la nueva planta de bombeo Gran Canal (Km 18+500), construida en el año 2001, con capacidad para desalar 42 m<sup>3</sup>/seg. Foto: Secretaría de Obras y Servicios del D.F.*

Los asentamientos diferenciales a lo largo de drenes ocasionan además su rotura por tensión o compresión, con la consiguiente contaminación de los mantos freáticos por aporte de aguas negras. Aun cuando el DDF mide las características de potabilidad del agua, resulta alarmante que en el año 2000 y de acuerdo con un estudio del Instituto de Ingeniería el nivel de contaminación por nitrógeno amoniacal alcanzó niveles 16 veces mayores al permitido.

Con la sustitución de tubería por parte de la misma Secretaría de Obras y Servicios del D.F., se trata de disminuir las filtraciones de aguas negras al subsuelo, las características de dicha tubería son mencionadas por la misma Secretaría a través de su portal electrónico: En la sustitución de redes hidráulicas se emplean tuberías de polietileno de alta resistencia, material apropiado para la conducción de fluidos por sus propiedades de elasticidad, resistencia a hundimientos diferenciales y bajo coeficiente de rugosidad; posee además la característica de no reaccionar con el agua y de tener una vida útil de más de cien años.

<sup>11</sup> Mazari, Marcos y Alberro Jesús. *Hundimiento de la ciudad de México*.

### A1.10 Hundimientos en el valle de México.

Prácticamente al iniciarse en la década de los 40 el estudio global del hundimiento de la ciudad de México, no se disponía de información significativa sobre las propiedades mecánicas y la condición de flujo hidráulico en las arcillas del subsuelo. Fue principalmente entre 1945 y 1955 cuando el profesor Marsal logró acumular información pertinente y amplia mediante una campaña sistemática de ensayos de laboratorio y de campo, con los que se pudo explicar y valorar la parte medular de este fenómeno;<sup>12</sup> en 1954 se suspende el programa de perforación de pozos y es decretada la veda correspondiente, en todo el valle de México.

La dotación de agua en 1952 era igual a 240 l/hab/día, aumentó a 350 en 1955 y a 370 en 1959.<sup>13</sup>

El hundimiento que presentó el valle de México es de 4 cm por año en el período de 1898 a 1937, incrementándose en el período de 1937 a 1947 a 14 cm/año, en el período de 1947 a 1968 se indican hundimientos de 40 cm/año, disminuyendo a 10 cm/año en el final de esta etapa (fig. A2.10).

Según el plan maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la ciudad de México 1994 - 2010 de la DGCOH, se hizo una predicción de los hundimientos que afectarán al valle de México en el período de 1994 - 2000, en el que se observa que en este período se generarán hundimientos máximos de entre 150 centímetros y 175 centímetros en los límites del Distrito Federal y ciudad Nezahualcóyotl, entre 125 y 150 centímetros en el Aeropuerto Internacional Benito Juárez, entre 50 y 75 centímetros en el centro de la ciudad y; alrededor de 100 centímetros en el área de Xochimilco, al sur del canal de Chalco.

En 1985, el nivel del agua en Texcoco se encontraba a cinco metros de profundidad, mientras que en el 2000, se encuentra a casi 40 metros de profundidad. En el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, el nivel se encontraba a 20 metros de profundidad en 1985 y a 45 metros en el 2000. La evolución del nivel del agua subterránea para el periodo 1985-2000, muestra evoluciones negativas o abatimientos de hasta 20 metros en el área de Iztapalapa. En la mayor parte de la Ciudad de México, entre el Centro Histórico y Coapa, los abatimientos han sido de

---

<sup>12</sup> Mazari, Marcos y Alberro, Jesús. *Hundimiento de la ciudad de México*.

<sup>13</sup> Aguirre Cárdenas *Op. Cit.*

entre 10 y 15 metros. El abatimiento para el periodo considerado disminuye hacia el área de Azcapotzalco entre tres y ocho metros, debido a que durante algunos años se manifestó un ascenso en los niveles.<sup>14</sup>

De acuerdo a investigaciones realizadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, es muy probable que se presente un escenario de hundimiento generalizado, en el Centro Histórico de la ciudad, que sugiere una amenaza significativa para los edificios considerados patrimonio arquitectónico, con la posibilidad de que éstos lleguen a perderse en ese lapso.<sup>15</sup> En la fig. A1.23, se visualiza esta tendencia de hundimiento para los años 2010 y 2075, según la proyección de este estudio.

Recientemente el World Monuments Fund incluyó en su lista del 2006, de los sitios históricos en mayor riesgo, cuyas explicaciones de esta inclusión están dadas por las siguientes condiciones: "la ciudad de México presenta uno de los retos de conservación más grandes, habiendo sido construida en un área inestable de cieno y barro de un antiguo lago, con actividad sísmica constante.

"Desde los años 50, a estos factores se han sumado la contaminación del aire, la explosión demográfica, las fallidas políticas económicas, una vertiginosa tasa de criminalidad y la continua reducción de los mantos acuíferos, que ha causado el hundimiento de la ciudad 10 metros sólo en el siglo pasado".

Así, los expertos en urbanismo y medio ambiente concluyen que la única forma de salvar a la ciudad es "resolver el problema de abasto de agua".<sup>16</sup>

Este panorama del entorno que se tiene en el centro Histórico de la ciudad de México, hace que las acciones encaminadas a revertir este proceso deben ser de manera inmediata, de tal forma que los edificios que en un futuro puedan tener problemas graves en su estructura debido al hundimiento, puedan ser tratados con programas de mitigación de daños a corto, mediano y largo plazo.

---

<sup>14</sup> Lesser Illanes, Juan Manuel, Cómo proteger y recargar los mantos acuíferos del valle de Anáhuac, La Jornada, 28/10/2002.

<sup>15</sup> Ovando Shelley, Efraín, P. Romo, M, Contreras N, Giralt, A., *Effects on soil properties of future settlements in downtown Mexico City due to ground water extraction*, Geofísica Internacional, 2003, Vol. 42, Num.2, pp.185-204.

<sup>16</sup> La Jornada, Peligra el Patrimonio del centro Histórico de la ciudad de México. México, 24 de julio del 2005.

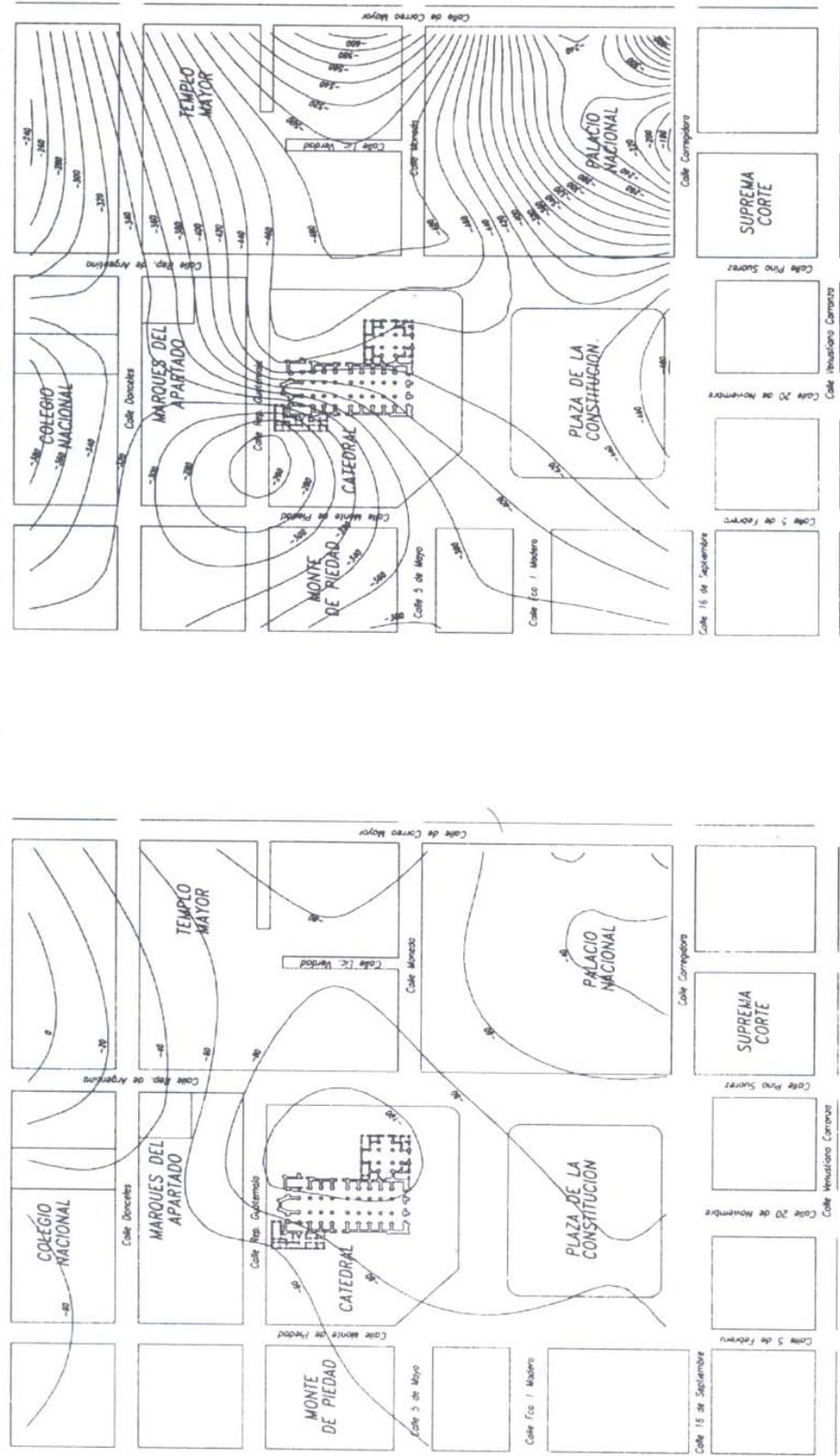


Figura A1.23. Plano de curvas de hundimiento previstas para el año 2010 y el año 2075. Estudio del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

### A1.11 Cimentaciones en el centro histórico.

Las condiciones que presentó el suelo del valle en su formación hizo que se transformara de laguna a suelo, en donde se desplantaron edificios, los que cada vez fueron más grandes, pesados, complejos y que exigieron más capacidad de carga al suelo. Esto ha hecho que el suelo presente un hundimiento fuerte, además de que la extracción del agua del suelo lo ha incrementado.

En la construcción del templo mayor se construyó un relleno para precargar el suelo, se mejoró su suelo por medio de troncos y chinampas, construyéndose por etapas (cada 52 años, en una ceremonia a renovar su vitalidad, la fiesta del Fuego Nuevo, recibía una nueva estructura piramidal), asimismo se utilizaron estacones de madera como pilotes que servían para transferir la carga al subsuelo. Este procedimiento provocó que la base presentara hundimientos considerables.<sup>17</sup>

Existen antecedentes de que existieron algunas condiciones de rellenos de mala calidad, por lo que este problema trasciende hasta nuestros días. Uno de esos rellenos se encontró en pleno centro de la ciudad, conocido como la "Isla de los perros", este promontorio toma su nombre de acuerdo a algunas crónicas, que mencionan que era el único lugar en donde el agua no alcanzaba este nivel, por lo que era un refugio de gran cantidad de perros en las constantes inundaciones de la ciudad.(Fig. A1.24).

En este lugar se tienen datos precisos de los espesores de dichos rellenos, de acuerdo a experiencias tenidas en los trabajos para verificar el estado físico estructural del Colegio Nacional, por lo que la metodología para obtener estos datos están debidamente detallados es este estudio.<sup>18</sup>

Estos datos dan un panorama muy preciso de las acciones que tienen estos rellenos en las cimentaciones de muchos edificios del centro histórico, de manera importante cabe señalar que

<sup>17</sup> Mendoza L. Manuel J. *Problemática de la ingeniería de cimentaciones en el valle de México. II Comportamiento de cimentaciones.*

<sup>18</sup> Mazari Menzer Marcos. *La isla de los perros.* El colegio Nacional. México, 1996.

---

---

las capas de suelo, con arcillas precargadas de manera desigual representan gran cantidad de “puntos vulnerables” para las mismas cimentaciones.

Con estos antecedentes no es de sorprender el comportamiento tan errático de muchos edificios en sus cimentaciones, dado que a esto se tiene que añadir la gran cantidad de restos de construcciones prehispánicas, que mantiene todavía más inestable la superficie sobre la que se desplanta cada uno de los edificios.

Para resumir estos aspectos, se puede hablar de tres factores que se añaden al hundimiento general del suelo, en el centro de la ciudad, debido a la extracción de agua del subsuelo:

1. Rellenos artificiales de mala calidad.
2. Diferencias de espesor en la estratigrafía general de la zona.
3. Presencia de restos de construcciones aztecas. (Fig. A1.25).<sup>19</sup>

Cada uno de estos factores reflejan una situación realmente complicada en el futuro inmediato de muchos edificios en los que estos tres factores están presentes. Puede ser que algunos edificios no tengan debajo de su cimentación una construcción azteca, pero que si estén en una zona con rellenos de mala calidad y tengan una estratigrafía muy variada.

---

<sup>19</sup> Matos Moctezuma Eduardo. Excavaciones arqueológicas de la Catedral de México. *Arqueología Mexicana*. Editorial Raíces, México, No. 31 mayo junio 1998.

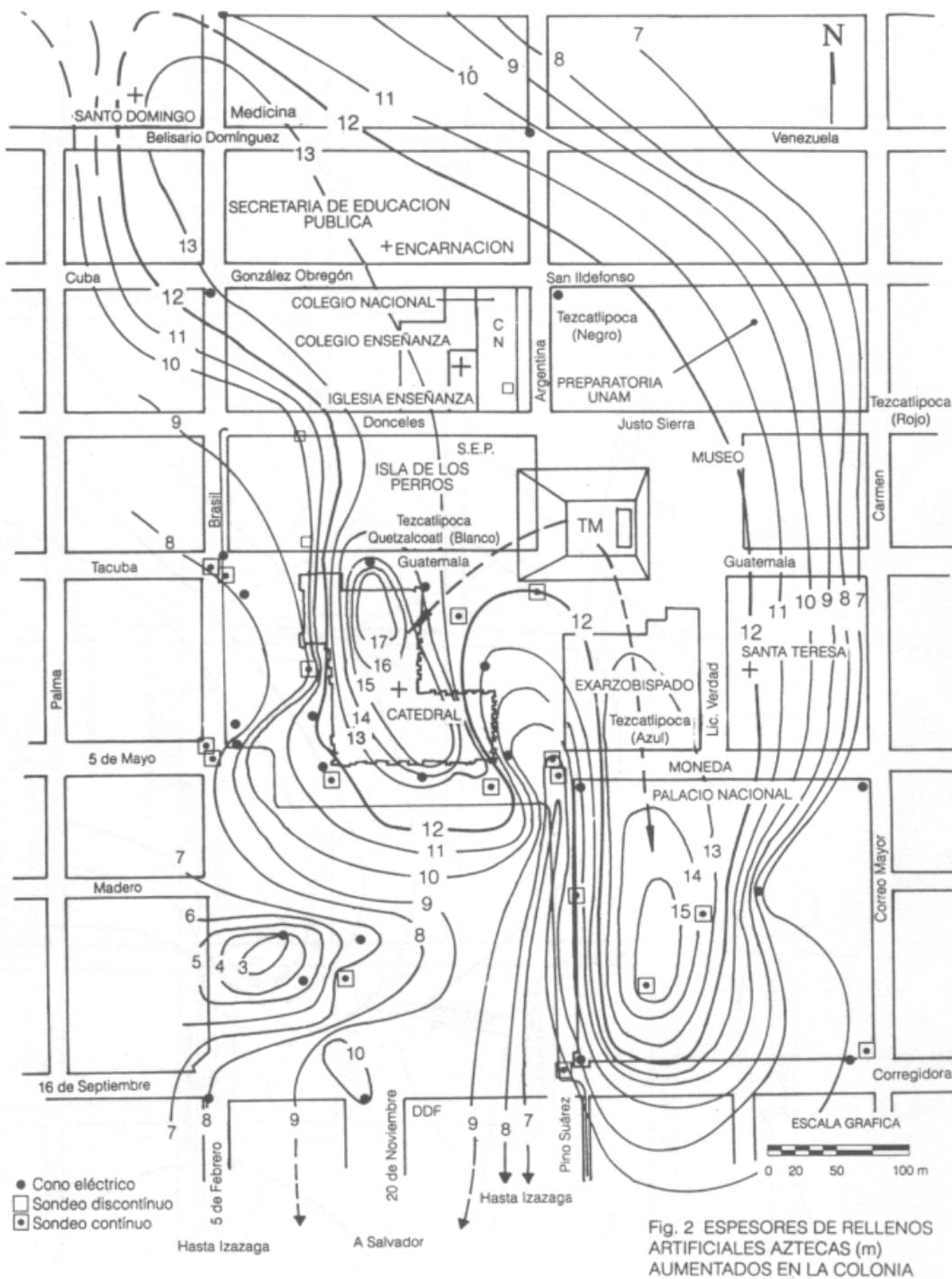


Figura A1.24. Isla de los perros. Según Mazari.

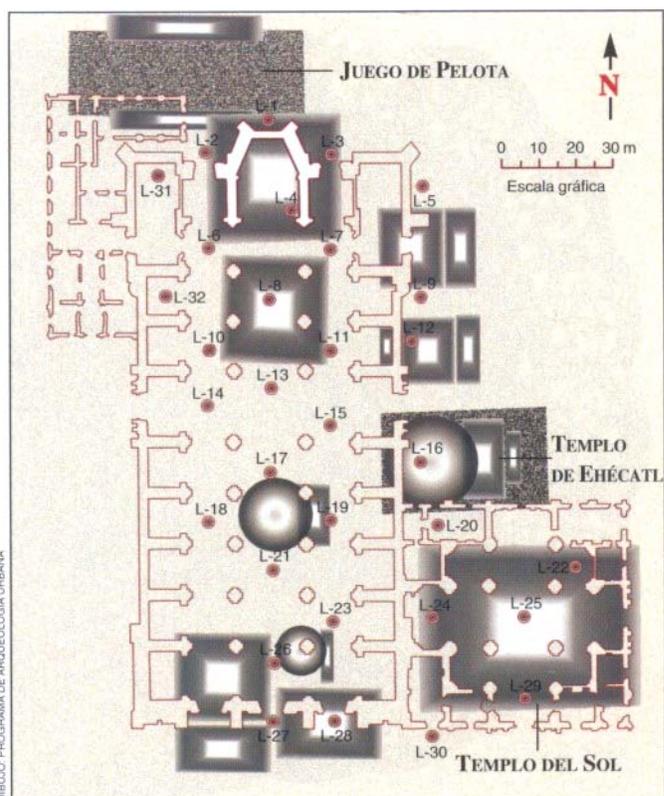
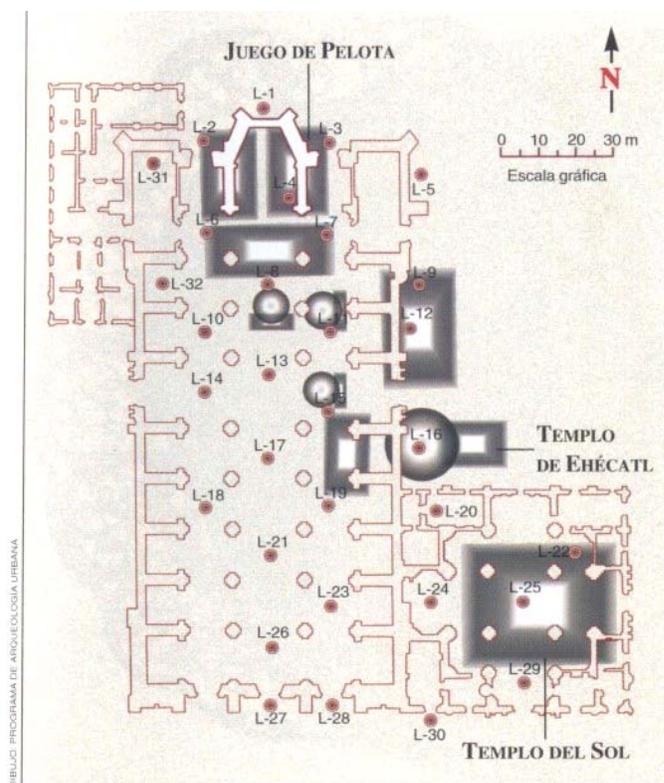


Figura A1.25. Presencia de cuerpos de pirámides bajo la Catedral Metropolitana de la ciudad de México, en el nivel antiguo, del año 1390 d.c. y en el nivel reciente, correspondiente al año 1480 d.c., según el Programa de Arqueología Urbana.

A este respecto existen referencias claras del conocimiento de algunos de estos problemas, por lo que en algunos edificios se tomaron las precauciones necesarias que en su momento tecnológico correspondían.

Estas medidas que tendían a disminuir los efectos de asentamientos excesivos, actualmente se pueden apreciar en algunos edificios representativos de la ciudad, principalmente en la parte de la cimentación de la Catedral Metropolitana, en donde están los testigos permanentes de este problema latente desde épocas de la gran Tenochtitlán.

La cimentación de la Catedral implementada por el alarife mayor Claudio de Arciniegas seguramente estuvo influida por las técnicas aztecas. Consistió en :

- Una retícula de pilotes o estacones de madera de 20 a 25 cm de diámetro, de 2.2 a 3.2 m de longitud, colocados aproximadamente a cada 60 cm, lo que implica aproximadamente 22 500 piezas. Su función seguramente fue eliminar la deformabilidad de los suelos blandos superficiales.
- Un pedraplén de 0.9 a 2.0 m de espesor de mortero de cal y arena con roca basáltica y algo de tezontle; en el que se apoyaron las contratrabes. Sus cuatro esquinas tienen áreas de mayor espesor, que hubieran permitido igual número de torres, aunque sólo se erigieron las del lado sur.
- Una retícula de contratrabes de mampostería de 3.6 m de peralte y 2.0 m de ancho recibe los muros y en sus cruceros a las columnas. Los espacios limitados por las contratrabes se rellenaron con tierra.<sup>20</sup>

En la construcción del Palacio de minería, la cimentación utilizada fue con una solución semejante: Se emplearon estacas cortas de ahuejote de 10 y 25 centímetros de diámetro, Las cabezas de dichas estacas se ligaban y empacaban con pedacería de piedra para construir una plantilla, a partir de dicha plantilla se desplantaba el cimientado propiamente dicho. Todo este tipo de cimentaciones muy común en esa época, indica que el suelo de la ciudad de México, ahora enmarcado en el centro histórico, siempre tuvo mala calidad.

---

<sup>20</sup> E. Tamez, E. Santoyo, A. Cuevas y E. Ovando. *Diagnóstico y proyecto geotécnico Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana*, Informe Técnico. Amigos de la catedral, México, 1995.

---

---

A continuación se presenta una descripción minuciosa de las características más importantes del subsuelo del centro histórico. Se presentan cortes estratigráficos de lugares específicos.

Debido a la conformación del subsuelo de la ciudad de México, los edificios que se desplantaron sobre el mismo se vieron afectados por el hundimiento debido a varios factores: el sobrepeso para el tipo de suelo, el hundimiento, la mala compactación de los rellenos en algunos lugares y la sobreposición de estructuras sobre otras.

Se puede decir que el suelo en el que se cimentaron las edificaciones del centro de la ciudad de México, están bajo las mismas características y se puede ejemplificar con los cortes estratigráficos de la Catedral Metropolitana, (figs. A1.26 y A1.27), en el que se aprecia como se tiene la capa resistente a más de 40 metros de profundidad, y las capas superficiales son generalmente de materiales poco resistentes para soportar las cimentaciones tan pesadas que se utilizaron para estas edificaciones. (Para ayudar a distribuir de manera uniforme el peso de estas grandes masas de piedra, que eran las edificaciones piramidales de los aztecas, idearon apoyarse en gran cantidad de pilotes de madera de unos 10 cm de espesor, fig. A1.28). De la misma forma las características de estas capas son de alta compresibilidad y con la sobreexplotación de los acuíferos se hace más latente este problema.

El volumen de agua que se está sacando de pozos a diferentes profundidades, ocupaba un espacio. Ese vacío en las diferentes capas del subsuelo no es reemplazado porque el área de recarga no es suficiente para ello y en consecuencia se aumenta la compresibilidad de las arcillas produciendo una reducción de volumen al compactarse el material. Si a esto se agrega el peso de las construcciones en la superficie y la carga de los estratos superiores, se tendrá como resultado el hundimiento del terreno.

La extracción en diferentes lugares del valle de México produce el hundimiento generalizado de la ciudad de México, pero repercute de manera muy especial en la zona del Centro Histórico (figura A1.29).<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Aguirre Cárdenas *Op. Cit.*

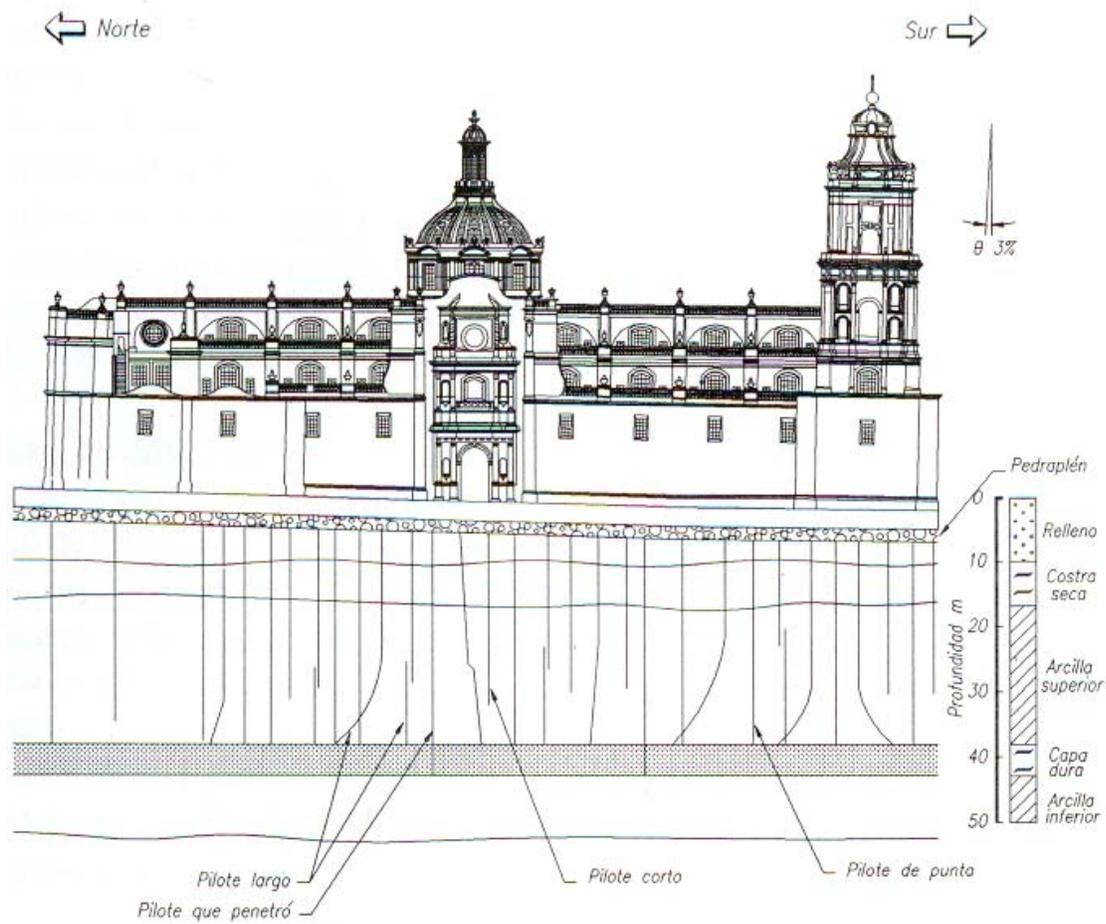


Figura A1.26. Estratigrafía de la Catedral Metropolitana de la ciudad de México. Fuente: Corrección geométrica de la Catedral Metropolitana.

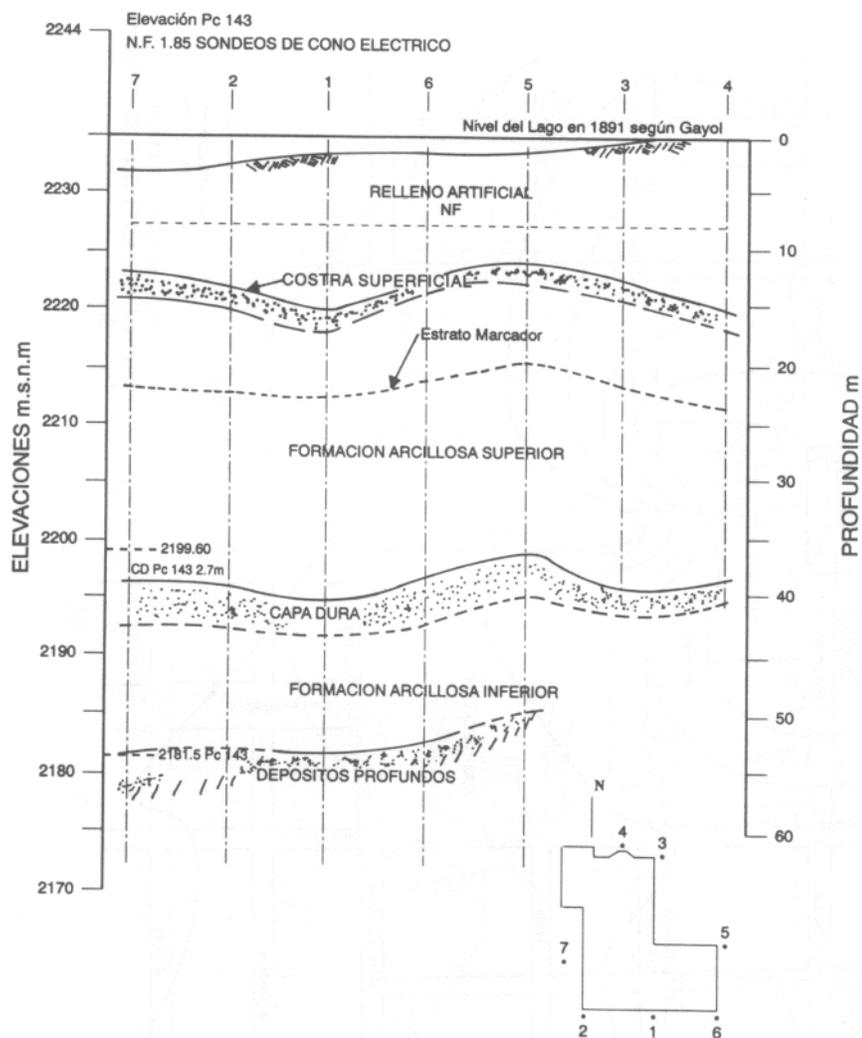


Fig. 4 VARIACION DE LOS RELLENOS ARTIFICIALES PROXIMOS A CATEDRAL

Figura A1.27. Estratigrafía de la proximidad a la Catedral Metropolitana de la ciudad de México.  
Fuente: La isla de los perros.

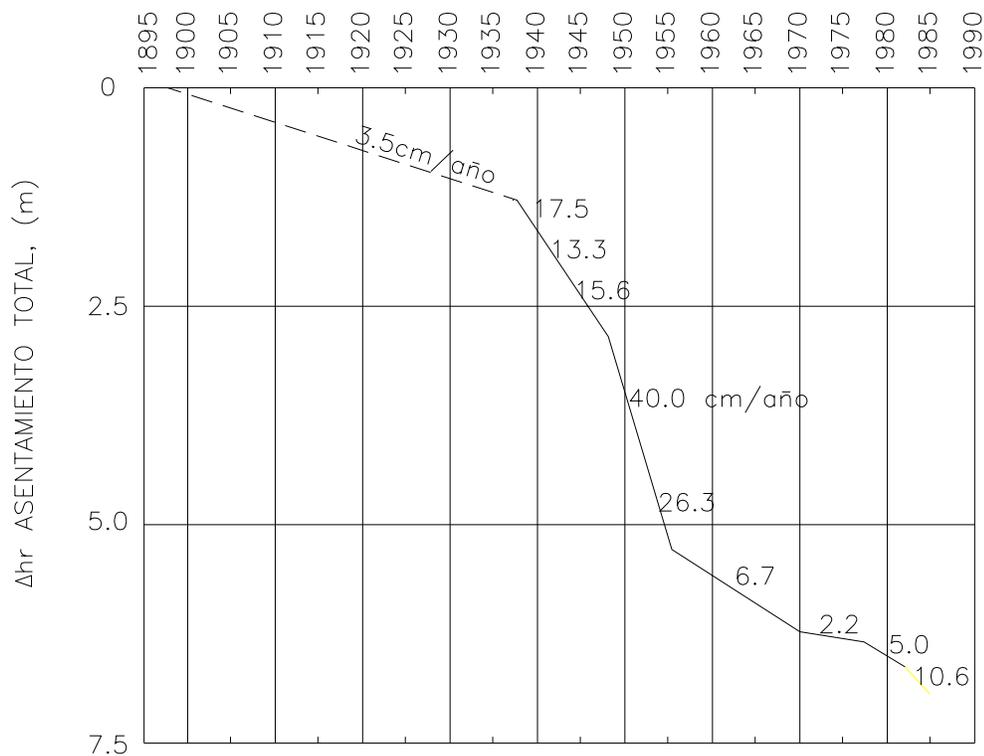
Esta zona independientemente de las características del subsuelo anteriormente descritas tiene además otros dos factores que le afectan. Por un lado rellenos de tierra, parte en la época prehispánica para incrementar el área ocupable y parte en la época colonial para cubrir las acequias, también para aumentar espacios construibles y nivelar la superficie; estos rellenos algunos con escasa compactación o bien con falta de homogeneidad.

Si a esto agregamos que parte de los rellenos se hicieron con material de desperdicio o cascajo o lo que es peor, que quedaron en el interior del subsuelo, lo que es muy generalizado ahí en el centro histórico, restos de mayores o menores dimensiones de edificios prehispánicos, el resultado es de superficies, aún en un mismo predio, de muy diversa resistencia como respuesta del suelo, además esto causa que, en diferentes puntos, la compresibilidad del suelo

sea diferente ya sea por los terrenos no homogéneos, o bien por que la profundidad a la que están los restos prehispánicos deja menor volumen de arcilla compactable y en ese lugar hay mayor resistencia.



*Figura A1.28 Detalle de las tablestacas de la cimentación original de la Catedral Metropolitana.*



Asentamiento regional en el centro de la Ciudad

Figura A1.29 Asentamiento regional en el centro de la ciudad de México hasta 1990.

El problema de todo esto son los asentamientos excesivos que se presentan en los edificios. (Fig. A1.30). Otra de las situaciones que deben revisarse en una cimentación son los asentamientos excesivos, que provocan hundimientos diferenciales graves en los edificios. En la figura A1.31 se aprecia el fenómeno de los asentamientos excesivos en una zona de transición abrupta, en donde la estratigrafía del suelo tiene diferentes profundidades, (como en la zona del campo dos de la FES Zaragoza de la UNAM). Este problema debe preverse a largo plazo ya que los asentamientos son paulatinos. Los asentamientos que se producen en una masa de suelo sometida a compresión unidimensional se calculan con la siguiente expresión:

$$\delta = \sum m_{vi} h_i \Delta \sigma_{vi}$$

en donde  $m_{vi}$  es la compresibilidad del estrato  $i$ ,  $h_i$  su espesor y  $\Delta \sigma_{vi}$  el incremento de esfuerzos verticales efectivos que da lugar al asentamiento que, como se ve, resulta proporcional a los tres factores del lado derecho de esta igualdad.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Vega Muñoz Lorena, *Op. Cit.*

En la figura A1.31 se observa que en el eje 1 del edificio, se presenta un mayor hundimiento porque  $H1 > H2$ , para un suelo homogéneo  $m_{v1} = m_{v2}$  bajo las mismas condiciones de esfuerzo  $\Delta\sigma_{v1} = \Delta\sigma_{v2}$ .

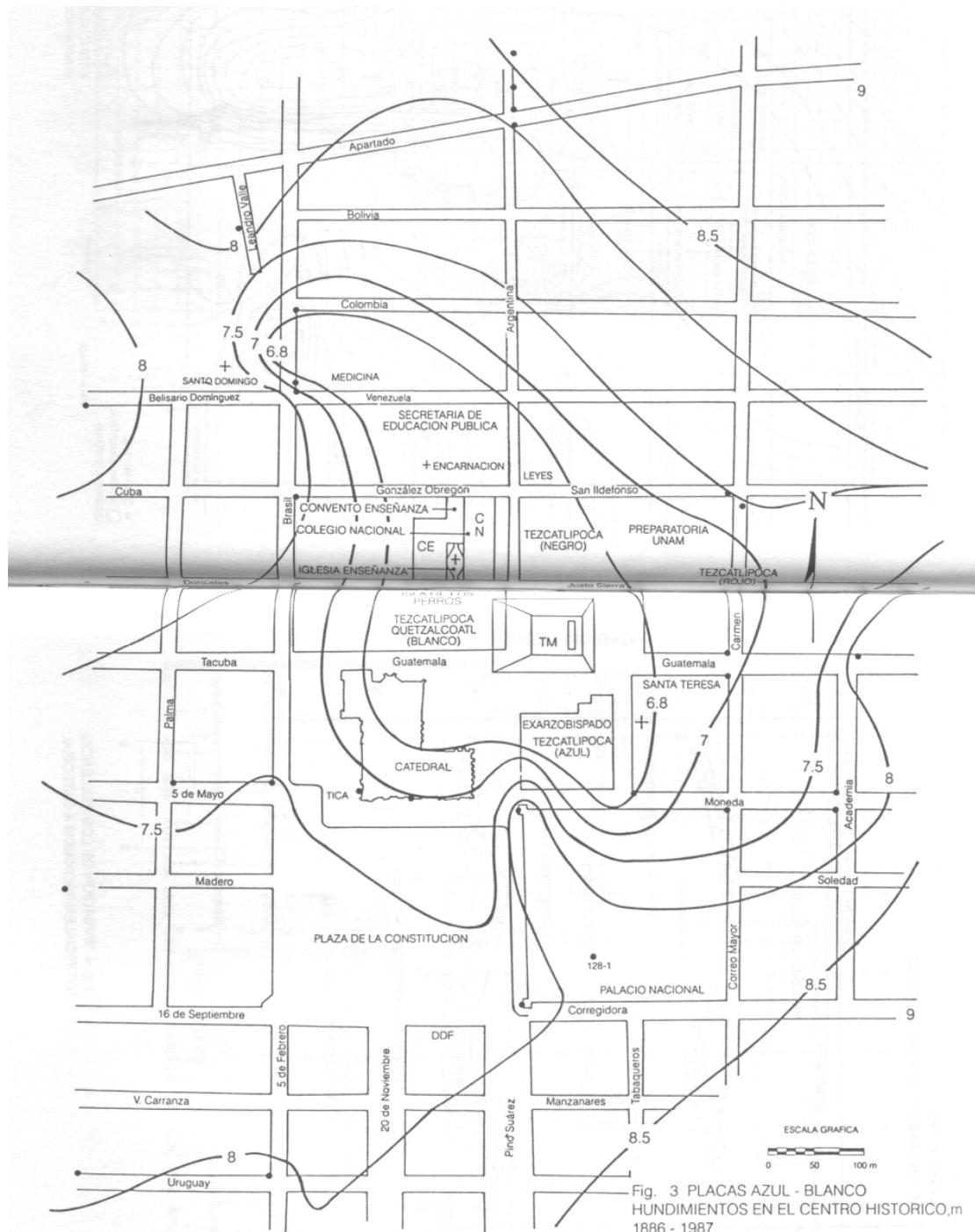


Fig. A1.30. Hundimientos en el centro histórico de la ciudad de México en m., en el período 1886 – 1987, según Mazari. Fuente: La isla de los perros.

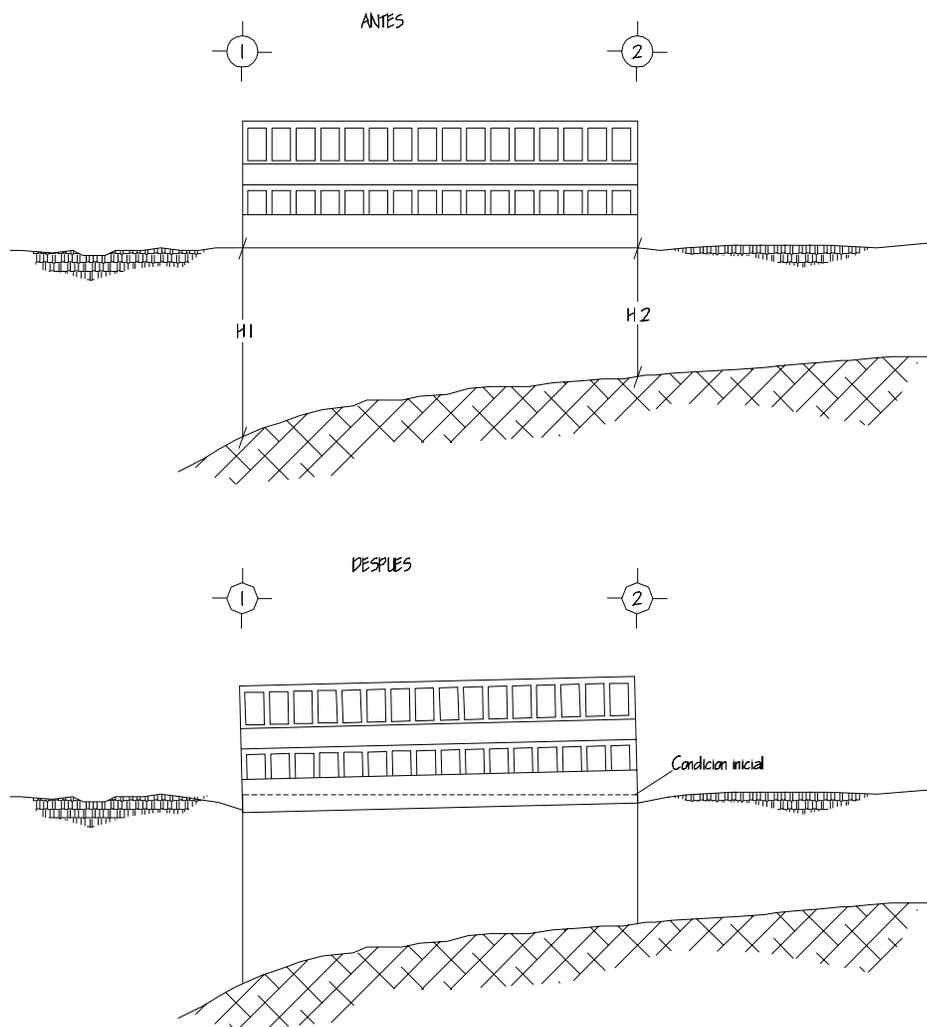


Figura A1.31. Esquema de asentamientos excesivos.

Dibujo del autor basado en dibujos del Dr. Efraín Ovando Shelley

# **ANEXO 2 Otros Elementos que intervienen en el Deterioro de los Monumentos Históricos Arquitectónicos.**

---



### A2.1 Presencia de restos de construcciones prehispánicas.

Uno de los factores que inciden en el comportamiento estructural de un edificio, es sin duda alguna, la presencia de restos de construcciones prehispánicas (fig. A2.1). Los efectos nocivos que se perciben en los edificios, se reconocen de manera muy fácil, ya que se detecta un movimiento diferencial en los asentamientos del inmueble.

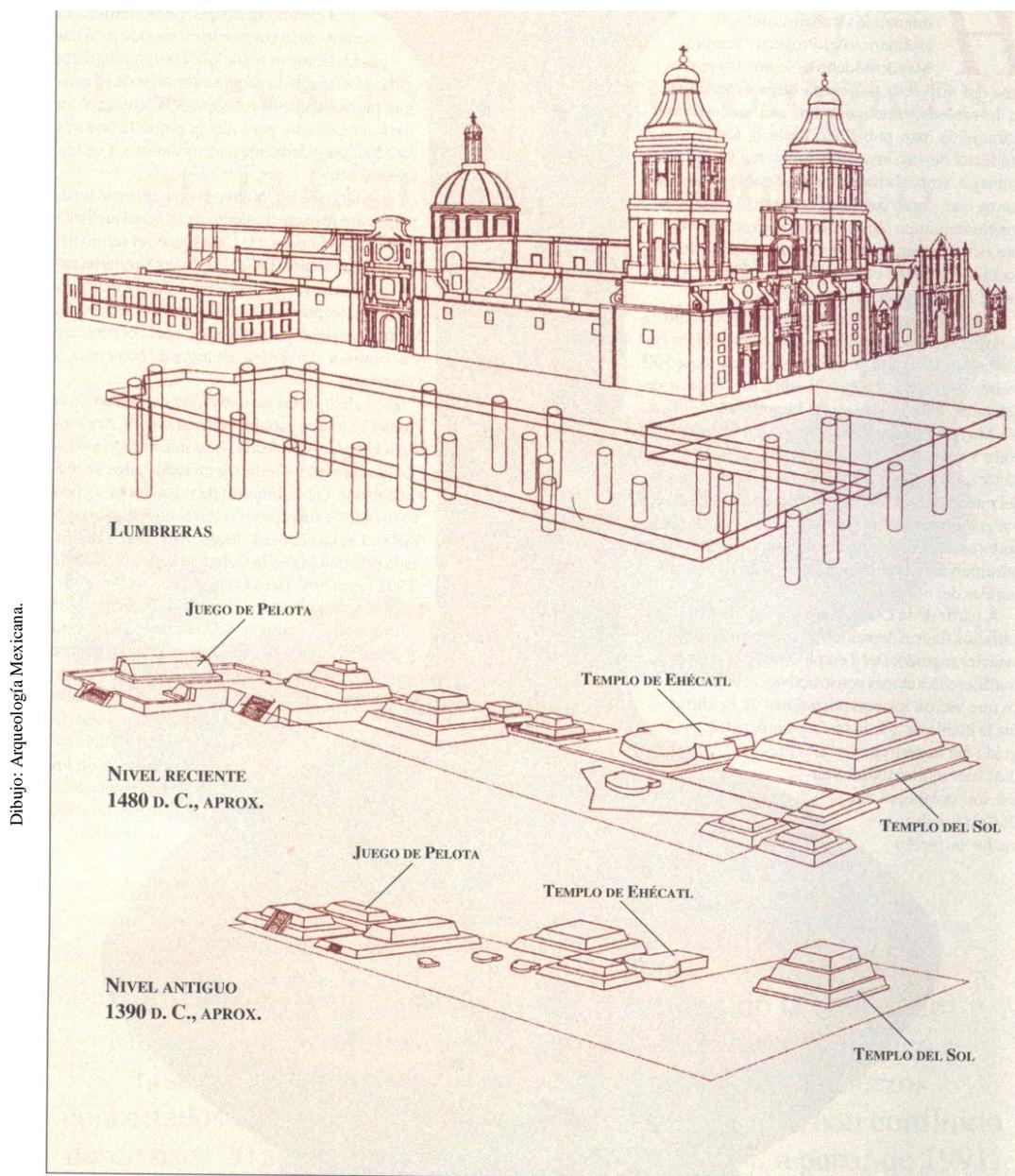


Figura A2.1. Restos arquitectónicos encontrados bajo la Catedral Metropolitana, tanto en el nivel antiguo, que data de 1390 d.c., como en el nivel reciente del año 1480 d.c.

Sin embargo estos efectos pueden llegar a beneficiar la estabilidad de una construcción, debido a la precarga aplicada al terreno con muchos años antes de la construcción actual. Fig. A2.2



Fig. 3.—Trazado fundamental de México-Tenochtitlan. Interpretación de Justino Fernández.

Figura A2.2. Ubicación de un mapa de la probable ubicación de México - Tenochtitlán, de acuerdo a la interpretación de Justino Fernández.

Esta precarga puede lograr que el edificio ya no sufra asentamientos de manera progresiva, ni de manera diferencial negativa, ya que las condiciones del subsuelo y las capas compresibles específicamente han sido alteradas de manera casi total, por lo que la cantidad de deformación

---

---

restante es menor a la de un suelo virgen. El problema radica en la forma en que se desplante el nuevo edificio.

Al tomar en cuenta que a las construcciones aztecas se les añadía carga de forma constante cada 52 años, la deformación del subsuelo era cada vez mayor y se detenía este efecto en el momento de obtener la máxima deformación para la carga recibida.

Las características constructivas de las construcciones de los siglos XVI, XVII y XVIII, en las que se dejan grandes espacios entre los soportes de la cimentación y la utilización recurrente de patios centrales, hacen que el comportamiento de la cimentación sea homogéneo, Como menciona Mazari: "De manera similar, los inmuebles de la Secretaría de Educación Pública al norte y al sur, y el de la Preparatoria al oriente, se diseñaron estructuralmente con patios, tres plantas y de gruesas paredes.

Este tipo de construcción ha mostrado su efectividad ante la distribución de cargas en las que los asentamientos de los conjuntos sobre arcillas blandas, aunque considerables, resultan razonablemente uniformes, preservando la geometría de sus estructuras. La lentitud de las deformaciones por consolidación del suelo, también han permitido en buena medida la deformación plástica de los muros de mampostería."<sup>1</sup>, sin embargo con la presencia de los restos de pirámides y el hundimiento regional, los efectos resultan bastante graves para este tipo de construcciones, ya de que la construcción no se desplanta sobre un mismo tipo de suelo. La combinación de tipos de suelo de diferentes capacidades de carga y distintos etapas de precarga hacen que los hundimientos diferenciales se acentúen de manera significativa y se marquen de manera clara las tendencias de hundimiento en un edificio, lo que altera el comportamiento homogéneo de la estructura.

Los edificios con estas características se deben analizar en su conjunto todas las variables mencionadas; es decir valorar el efecto del hundimiento, la alteración de la estructura original debido a estos desplazamientos, desplazamiento de los centros de carga y los efectos de los esfuerzos en los elementos de mampostería, cada vez más tendientes a mostrar la estructura de falla en éstos.

---

<sup>1</sup> Mazari Menzer Marcos, *La isla de los perros*, El Colegio Nacional, México, 1996.

Este efecto nocivo a las construcciones se puede apreciar de manera clara en edificios tan importantes como la Catedral Metropolitana, donde se tiene muy bien estudiado la ubicación de un centro ceremonial azteca. Esta documentación desprendida del proyecto del Templo Mayor, ubica por lo menos dos templos (Del Sol Y de Ehécatl) y un juego de pelota<sup>2</sup> (fig. A2.3), mismos que han determinado de manera primordial el hundimiento diferencial de la Catedral.

Esta disposición física de los templos, hace que se tengan grandes zonas de suelo con precargas históricas acumuladas, que hacen que los estratos de suelo en que se cimentaron dichos templos tengan una posibilidad de comprensión menor que la que puede tenerse en zonas en las que no existe ninguna construcción, por lo que el comportamiento de toda la superficie en la que se desplanta la cimentación de la Catedral no garantiza un comportamiento homogéneo, que permita establecer algún tipo de solución única para toda la superficie de cimentación. De la misma forma está la descripción que hace Marquina respecto a la ubicación de los templos en el centro. (Fig. A2.4).

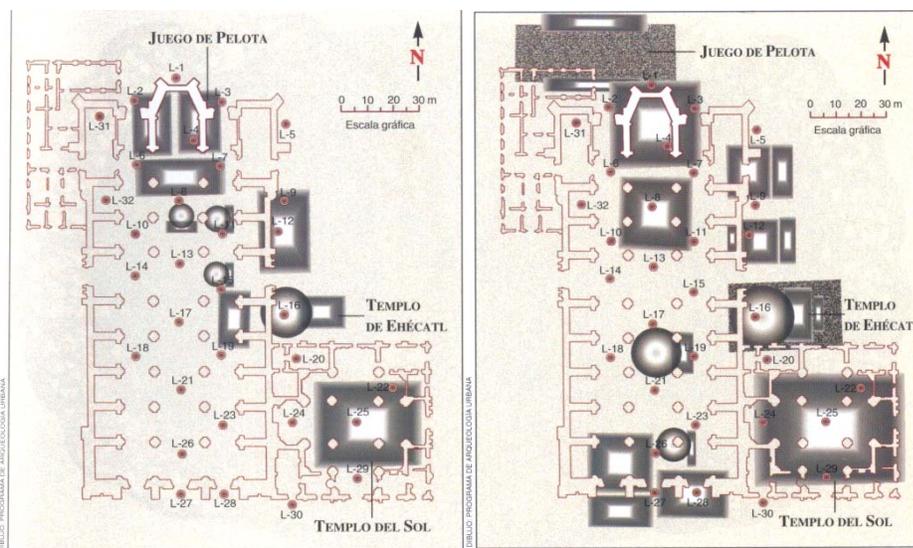


Figura A2.3. Restos arquitectónicos encontrados bajo la Catedral Metropolitana, tanto en el nivel antiguo, que data de 1390 d.c., como en el nivel reciente del año 1480 d.c. Fuente: Arqueología Mexicana.

<sup>2</sup> Matos Moctezuma, Eduardo, Hinojosa, Francisco, Barrera Rivera J. Álvaro, Excavaciones Arqueológicas en la ciudad de México. Arqueología Mexicana, Vol. VI, No. 31, México, mayo/junio 1998. pp. 12-19.



Asimismo podemos destacar este tipo de influencia de las construcciones aztecas en algunos otros edificios: Palacio de la Autonomía, con tendencias de hundimiento más fuertes hacia la calle de Guatemala, Edificio de la Editorial Porrúa en la esquina de las calles Justo Sierra y Argentina, edificio del PUEC con tendencias concentradas hacia la calle de Seminario, Antiguo Palacio de la Inquisición, etc.

En algunos edificios se marca la tendencia clara de hundimiento hasta en tres posiciones; caso concreto el edificio de Porrúa, en el que se aprecia de manera clara como prácticamente se “partió” en tres secciones a lo largo de la calle Justo Sierra, indicando la presencia de una zona central con menor velocidad de hundimiento que las laterales.

Por otro lado se tiene ubicado un posible relleno de tierra que forma una loma en la parte central de la ciudad, conocida en la época prehispánica como “la isla de los perros”, que tiene una gran influencia en las tendencias de hundimiento en la zona, ya que de su posible ubicación se desprenden agrietamientos que están en ese sentido en edificios como el Palacio Nacional y edificios en las calles de Argentina, Guatemala y Justo Sierra, (fig. A2.5).

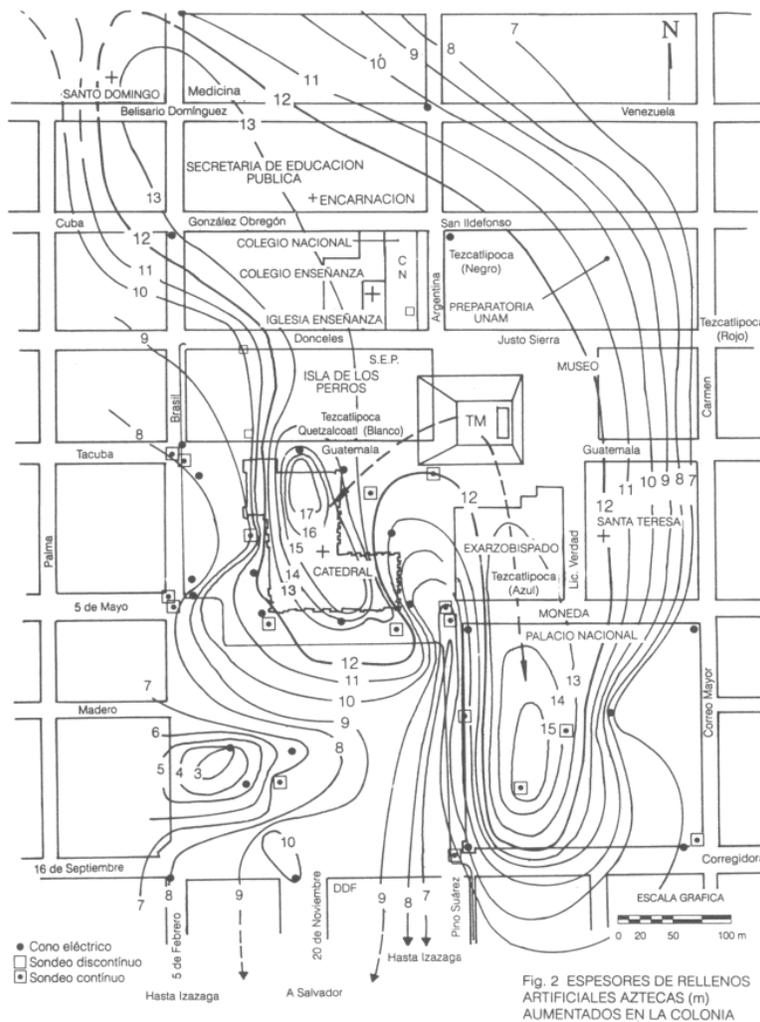


Figura A2.5. Croquis de la Isla de los perros, según Mazari.

## A2.2 Efectos de los sismos en las construcciones.

La ciudad de México está inmersa en una de las zonas sísmicas más peligrosas de la República Mexicana, ya en el siglo XVII la población identificaba esta característica principal de la ciudad, como se puede constatar al asignar a uno de los santos patronos de la ciudad al “Señor San José contra los terremotos”<sup>3</sup>.

Se tiene una alta incidencia de las zonas sísmicas costeras de Guerrero y Oaxaca, de tal forma que la presencia de movimientos sísmicos en el centro histórico de la ciudad, dadas las características del subsuelo, se tornan muy peligrosos y dañinos para los edificios asentados sobre esta superficie, ya que la composición del subsuelo hace que los efectos de los sismos se magnifiquen debido al efecto de resonancia que se presenta.

Dependiendo de la forma del movimiento del sismo, puede afectar directamente a edificios altos y flexibles cuando el movimiento es lento o a edificios bajos y pesados cuando el movimiento es rápido.<sup>4</sup>

Se sabe que los edificios históricos del centro de la ciudad de México, en gran parte están contruidos a base de mampostería, la que no resiste deformaciones fuertes de tensión como lo hacen los elementos de concreto reforzado que absorben los dos tipos de deformaciones (compresión y tensión) con mayor capacidad. La función fundamental de las estructuras con concreto reforzado, es que el acero proporciona la transmisión de esfuerzos de tensión generados por los movimientos sísmicos hacia dos o más elementos estructurales, cosa que la mampostería no cumple y precisamente presentan la mayor frecuencia de casos de daños debido a este tipo de falla. Los ejemplos los podemos encontrar claramente en zonas con este tipo de uniones estructurales características de la mampostería, en lugares con alta incidencia sísmica como Guerrero y Oaxaca se presenta una alta incidencia de daños en estructuras de mampostería, así como en la zona de Puebla en los sismos de 1989, en donde edificios de grandes masas presentaron mecanismos de falla típicos ante un sismo.

El Dr. Roberto Meli menciona alguna fallas comunes en este tipo de estructuras:

“Las fallas más comunes son la que se deben al movimiento perpendicular al plano de los muros y que llevan finalmente al volteo...”

Las paredes laterales de un edificio reciben el peso de la techumbre, por ejemplo una bóveda de cañón. En un sismo, las fuerzas de inercia que se generan por la masa importante de la bóveda y las

---

<sup>3</sup> Artes de México, *La ciudad de México II*, Helio, México, 1964.

<sup>4</sup> Meli, Roberto, Ingeniería estructural de los Edificios Históricos, ICA, México, 1998.

---

---

que se producen por el peso mismo del muro, producen empujes normales al plano del muro. El techo no proporciona una restricción significativa al extremo superior del muro; tampoco lo hacen los eventuales muros transversales, que pueden separarse fácilmente del muro longitudinal, el cual puede voltearse hacia fuera. El coceo de un techo de bóveda favorece al volteo.

El movimiento del muro hacia fuera puede no ser suficiente para producir su volteo, pero sí para provocar la inestabilidad de la bóveda de la cubierta y su colapso. El colapso de bóvedas y techos es, quizás la más frecuente de las fallas graves de edificios de mampostería por efectos de sismo. Semejante, aunque menos crítica, es la situación de las cúpulas, que son más rígidas que las bóvedas, pero también ejercen empujes sobre sus apoyos y favorecen el movimiento de éstos hacia fuera, hasta llegar a aberturas que conducen a la inestabilidad de la cúpula y a su colapso, generalmente parcial.

Una problemática particular de las cúpulas es la posibilidad de su vibración vertical. El peso de estas estructuras genera fuerzas de inercia elevadas que deben ser transmitidas hacia los apoyos, generalmente a través de elementos de transición, desplazamientos laterales que implican que se excite un modo de vibración vertical de la cúpula: esta vibración produce fuerzas de inercia verticales que generan fuerzas cortantes en las pechinas y tambor que pueden ser causantes de su falla por corte.

Otra situación crítica semejante se tiene en un edificio con techo y/o piso intermedio de vigas de madera paralelas. Las fuerzas de inercia que se generan en el techo o piso se transmiten a las vigas de soporte y de éstas a los muros en los que se apoyan simplemente. El empuje tiende nuevamente a producir volteo del muro, lo que no se da en los casos, comunes en los edificios modernos, en que el piso forma un diafragma capaz de resistir fuerzas en su plano. En este caso, las fuerzas de inercia se pueden transmitir de una a otra viga hasta llegar a un muro alineado en la misma dirección que dichas fuerzas y que, por tanto, tiene capacidad para resistirlas. Cuando hay suficiente número de muros transversales poco espaciados la reacción que ofrecen a la separación del muro longitudinal es suficiente para evitar su volteo. La existencia de contrafuertes externos es la más efectiva contra este tipo de falla...

En vista de que la mayoría de los sistemas de piso no tienen la capacidad de transmitir fuerzas de tensión y de corte, éstos pueden agrietarse y, de hecho, separar la construcción en partes que vibran de manera independiente y que pueden fallar localmente. En las estructuras modernas resulta efectivo concentrar elementos muy rígidos y resistentes a cargas laterales en algunas partes de la

construcción, para proporcionar resistencia al conjunto. En edificios históricos en que los techos y pisos no constituyen diafragmas rígidos, esta práctica no es efectiva y hasta puede resultar perjudicial. Las fuerzas de inercia no llegan a estos núcleos resistentes y el resto de la estructura se separa de ellas. De hecho, una modalidad de falla frecuente es la que observa entre la nave de una iglesia y la zona del coro; esta última es más rígida y da lugar a fuertes concentraciones de esfuerzos en la unión entre las dos partes, las que llegan a producir agrietamientos de bóvedas y muros en la zona de contacto.

La falla por cortante en el plano de las paredes o en columnas que se agrietan en forma diagonal, es también típica, pero menos frecuente que la falla de flexión. Aunque la resistencia en tensión diagonal de la mampostería es reducida, los grandes espesores y la relativa abundancia de muros en dos direcciones ortogonales, suelen proporcionar una resistencia apreciable ante este tipo de falla. La situación más crítica se da cuando los muros tienen grandes aberturas como en torres de campanarios; también es causa de falla la condición de columnas cortas, como las que se forman entre arranques de naves de distinta altura.”<sup>5</sup>



*Figura A2.6 y A2.7. Tipos de agrietamientos característicos debido al hundimiento diferencial, en la primer foto está una tendencia diagonal y en la segunda una casi vertical a lo largo del capitel. Fuente propia.*

<sup>5</sup> Meli Roberto, Op. Cit.



*Figura A2.8. Falla en muros de mampostería, debido a hundimientos. Fuente propia.*

Dadas las características del último gran sismo en la ciudad, el de 1985, los edificios históricos no tuvieron problemas muy fuertes, dado el movimiento lento de las ondas sísmicas.

Sin embargo la respuesta de los edificios históricos del centro, no depende ya únicamente de sus refuerzos estructurales propios para resistir dichos movimientos, sino que existen otros factores que inciden en el comportamiento general de los mismos; se puede mencionar el deterioro de los materiales con el paso del tiempo, el efecto del hundimiento en los elementos estructurales, que hace que no tengan la misma capacidad de reacción ante el movimiento sísmico, si estuvieran nivelados y finalmente el confinamiento en este tipo de suelo.

### **A2.3 Ventajas y desventajas de los materiales usados en los edificios históricos.**

#### **Mampostería.**

Es importante mencionar las características de trabajo de los elementos de mampostería, dado que los edificios a estudiar presentan esta composición en su mayor parte, como se ha reiterado de manera clara los elementos de mampostería no toleran deformaciones por flexión por lo que se menciona únicamente la resistencia de algunos materiales a compresión solamente, ya que la resistencia a tensión aunque en algunos materiales alcanza valores entre 1 o 2Kg/cm<sup>2</sup>, generalmente este valor es despreciable para cualquier cálculo.

Generalmente los valores de resistencia a compresión de estos materiales dependen en gran medida de los elementos compositivos, cuando se encuentran materiales de mampostería unidos con morteros de buena calidad los valores de resistencia se elevan de manera significativa, duplicando en algunos casos y aumentando en más de tres veces sus valores respectivos.

Algunos valores de estos materiales se mencionan a continuación:

Material	Resistencia a la compresión en Kg/cm <sup>2</sup>
Ladrillo de barro recocido	Entre 6 y 12
Adobe	1
tepetate	1.5
Piedra braza con mortero de cemento arena proporción 1:6	20

Se menciona que el coeficiente de trabajo en ladrillos o mamposterías es de 1/7.<sup>6</sup>

Asimismo de la siguiente tabla<sup>7</sup> podemos obtener algunos datos indicativos de las propiedades de las mamposterías:

Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos				
Material	Peso volumétrico Ton/m <sup>3</sup>	Resistencia a compresión	Resistencia a cortante	Módulo de elasticidad
Adobe	1.8	2-5	0.5	3000
Bloques de tepetate con mortero de cal	1.8	5-10	0.5	5000
Ladrillo con mortero de lodo	1.6	5-10	1.0	5000
Ladrillo con mortero de cal	1.6	15-20	2.0	10000
Mampostería de piedra irregular con mortero de cal	2.0	10-15	0.5	5000
Mampostería de piedra de buena calidad.	2.0	30	2.0	20000
Resistencias y módulos en Kg/cm <sup>2</sup>				
Las propiedades indicadas representan valores conservadores entre los encontrados en la literatura				

<sup>6</sup> Creixell M, José, Estabilidad en las construcciones, Continental, México, 1983.

<sup>7</sup> Meli, Roberto, Op. cit.

Del acomodo de los materiales depende también en gran medida el comportamiento de los elementos estructurales, generalmente se puede identificar claramente que los llamados muros de limosna no tienen la misma capacidad de carga que los muros con aparejos más uniformes, en donde no solamente se tiene mejor distribución de los materiales, sino que también la calidad de los materiales de mampostería es considerablemente mejor; simplemente con estas variaciones en su conformación interna y de calidad radica que los elementos estructurales tengan una resistencia mayor.

Algunos tipos de muros de mampostería típicos localizados en construcciones del Centro Histórico, están contruidos con aparejos regulares, algunos con muros de limosna, otros con aparejos mixtos entre piedra y ladrillos, lo que determina de manera fundamental el trabajo estructural que desempeñan, (figs. A2.9 a A2.14).



*Figura A2.9. muro de piedra unida con mortero de cal, en el que se ven algunas incrustaciones de ladrillo, con un aparejo regular tanto en sillares como en tamaño de piedras. Fuente propia.*



*Figuras A2.10., A2.11. Otro aspecto de aparejo mas irregular en el caso de la primera y una mezcla de muros de piedra con muros de ladrillo en la segunda. Fuente propia.*



*Figuras A2.12., A2.13., muros de tabique y piedra con aspecto de muros de limosna, con pedacería de otros materiales. Fuente propia.*



*Figura A2.14. Aspecto de muros de mampostería en la unión de los elementos verticales con los horizontales (muro – losa), que ejemplifica claramente el trabajo estructural de este tipo de construcciones. Fuente propia.*

Se llega a hablar de la mejora de la técnica constructiva con el paso de los años, para lograr un mejor aprovechamiento de los elementos característicos de las mamposterías. Este mejoramiento está relacionado con las acciones de prueba y error tan características en esos años, que poco a poco fueron descubriendo las bondades de hacer mejores trabajos de aparejamiento en los muros y en los materiales de mezclas utilizadas para la adhesión de estos materiales.

Un reflejo claro de este mejoramiento de las técnicas constructivas se puede observar en la construcción de la Catedral Metropolitana de la ciudad de México, en donde, derivado de un análisis realizado en el laboratorio a muestras de diversas secciones de las columnas, se determinó que el promedio a la resistencia a la compresión en los sillares inferiores es 3 veces superior que en los sillares superiores, lo que demuestra que la solución dada a esta edificación está encaminada a dar mayor seguridad al edificio y lograr que el comportamiento estructural sea más adecuado.

### Concreto reforzado.

El concreto reforzado es un material presente en gran cantidad de edificios históricos del Centro Histórico de la ciudad de México, debido a múltiples intervenciones realizadas a estos inmuebles para reforzarlos y mantenerlos en buenas condiciones.

Actualmente, la utilización de este material está más que justificada, dado las mejores características estructurales que lo hacen perfecto para afrontar los requerimientos y solicitaciones de trabajo mecánico tanto de fricción como de compresión. (Figuras A2.15 y A2.16).

Baste mencionar casos como el Antiguo Colegio de San Ildefonso, el edificio del PUEC, el Antiguo Palacio de Medicina, etc.



*Figura A2.15. Intervención del edificio anexo del Palacio de la Medicina, en donde el concreto reforzado sustituyó a la losa original de vigas de madera. Fuente propia.*



*Figura A2.16. Elementos de concreto reforzado en la intervención del edificio del Antiguo Palacio de Odontología, hoy Palacio de la Autonomía de la UNAM. Fuente propia.*

### **Madera.**

Este material debido a sus características de trabajo es utilizada para los elementos de vigas y losas principalmente, pero debido al desgaste de este material con el tiempo, actualmente es más improbable de emplear en las restauraciones de los edificios, ya que además las deformaciones que sufre con los hundimientos diferenciales son mayores.

Como claro ejemplo de esto se puede mencionar el caso del edificio del PUEC, en donde el sistema de vigerías de madera tuvo que ser sustituido por un sistema de viguetas prefabricadas y bovedillas de poliestireno, cosa que benefició al edificio ya que se sustituyó el peso del relleno de la losa y se aligeró la carga total del edificio. (Figura A2.17).



*Figura A2.17. Intervención del edificio que alberga actualmente las instalaciones del PUEC de la UNAM. Fuente: PUEC.*

### **Acero.**

Las características mecánicas del acero, hacen que pueda resistir esfuerzos de tensión mayores, por lo que en el momento de realizar algunas intervenciones en los edificios históricos es común observar este material. En algunos de los edificios estudiados se detectó de manera importante el uso del acero tanto en elementos de circulaciones verticales como en elementos de entrepiso. Figuras A2.18 y A2.19. En la fig. A2.20 se aprecia el efecto que los elementos de acero tienen en las mamposterías cuando los esfuerzos se transmiten a estas últimas.



*Figura A2.18 Viga de acero soportando un descanso de escalera, en el edificio del Palacio de Odontología. Fuente propia.*



*Figura A2.19. Vigas de acero usadas para un piso en el proceso de restauración del Palacio de Odontología. Fuente propia.*



*Figura A2.20. Vigas de acero usadas para el Palacio de Odontología. Fuente propia.*

#### A2.4 Efectos secundarios de cimentaciones aledañas al edificio.

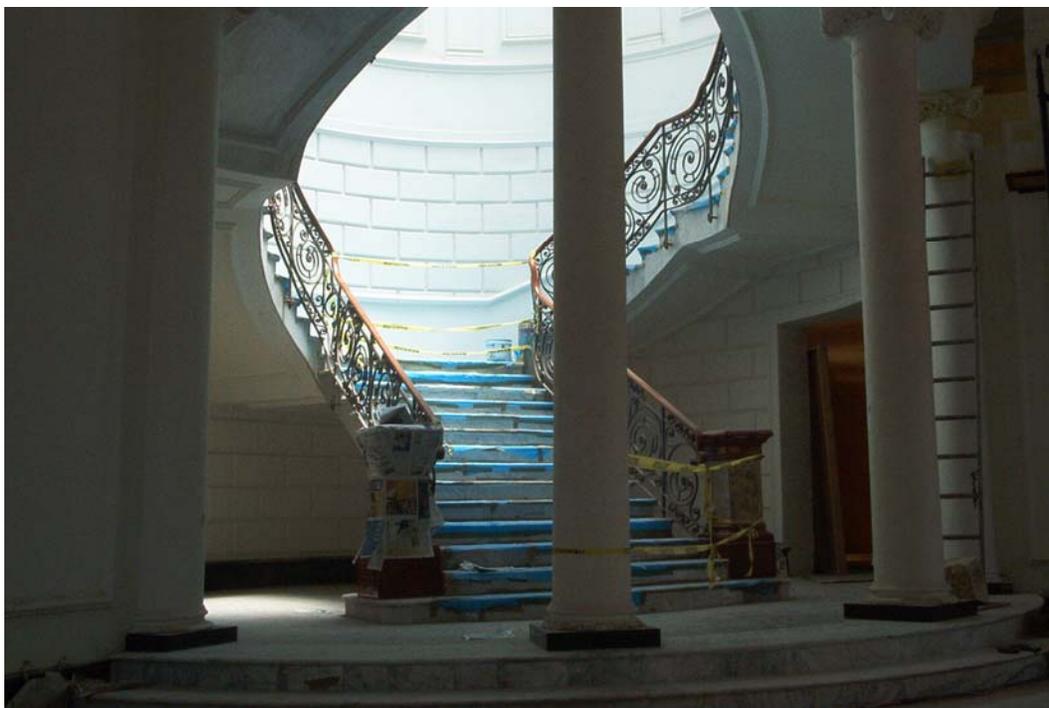
El comportamiento estructural de un edificio, no depende únicamente de sus elementos y la influencia de estos en el suelo; la presencia de distintos tipos de edificios aledaños, significa un comportamiento heterogéneo en la superficie en la que se desplanta el conjunto. Los bulbos de presión de los distintos tipos de cimentaciones, pueden afectar de manera significativa a los edificios, no solamente en las colindancias sino incluso en partes más lejanas. Generalmente estos efectos son notablemente identificables, los podemos visualizar de manera rápida, debido a las constantes que presenta en su comportamiento:

Hundimiento de muros de colindancia con tendencia a inclinarse hacia edificios mas “pesados” y altos.

Notoria presencia de agrietamientos que muestran la fatiga de elementos de unión, como trabes, cadenas de liga o de desplante y que muestran como el otros bulbos de presión “jalan” a la cimentación del edificio.

Algunos nuevos edificios que se han construido, tienen el sistema de pilotes de punta, que al presentarse los hundimientos en el centro histórico, se mantienen mas elevados del nivel de piso original y transmiten esfuerzos a las estructuras colindantes, que les provoca agrietamientos y hundimientos diferenciales.

En el caso de los edificios analizados se puede detectar de manera principal el edificio del Antiguo Palacio de Odontología, en donde el efecto de la estructura y cimentación del templo mayor, es visible con la inclinación hacia ese extremo de la calle de Guatemala (fig. A2.21) y el del Antiguo Palacio de Economía, donde el edificio construido en el siglo XIX, de estructura de concreto armado, de una altura mucho mayor y una configuración estructural distinta al entorno, afectó a su muro colindante, haciendo necesaria una intervención con un nuevo muro de concreto armado, para poder actuar de forma adecuada a estas deformaciones, figuras A2.22 a y b.



*Figura A2.21. En el vestíbulo de acceso al edificio del Antiguo Palacio de Odontología se aprecia una tendencia de hundimiento hacia la esquina en donde se encuentra la zona del Templo Mayor. Fuente propia.*



*Figura A2.22a. En la parte colindante al edificio del Antiguo Palacio de Economía un inmueble de varios niveles, tuvo una influencia negativa en ese costado del edificio. Fuente propia.*



*Figura A2.22b. Aspecto del nuevo muro de concreto armado que se construyó en el proceso de restauración del Antiguo Palacio de Economía. Fuente propia.*

### **A2.5 Canalizaciones subterráneas.**

Un efecto muy nocivo para este tipo de cimentaciones, es el que causa la presencia de agua de distintas características en su estructura, ya que puede llegar a debilitarlas de manera importante. De la misma forma, se sabe que la presencia de agua en el suelo tiende a aumentar la presión hidrostática, pero cuando se tienen variaciones en la cantidad de agua presente en el suelo, esta presión varía de la misma forma, provocando un trabajo dispar de la superficie de desplante de la cimentación.

Las fugas de agua, en la red de abastecimiento del centro histórico de la ciudad, han sido históricamente una constante debido a los tipos de tubería utilizada en su conducción, misma que no admite deformaciones fuertes y falla generalmente, con la consecuente fuga de agua. Cabe mencionar el caso del edificio del Palacio de Medicina, en donde se presentó una fuga de agua por bastante tiempo, que probablemente haya afectado de manera grave a la cimentación.

También dentro de este tipo de problemas, podemos encontrar referencias históricas que nos indican la ruptura de tuberías de aguas negras, que producen alteraciones también significativas debido a la presencia de agentes que reaccionan de manera nociva en los elementos de cohesión de las cimentaciones de mampostería.

Con el Programa de Mejoramiento de las Calles del Centro de la Ciudad de México, se sustituyó de manera total las tuberías viejas, por nuevas tuberías que absorben de manera más efectiva los hundimientos diferenciales y toleran esas deformaciones producidas por los mismos, de manera que se evita una ruptura en su estructura, y con esto se evita que las fugas de agua continúen su efecto nocivo en las cimentaciones.

Esta forma, es la adecuada para solucionar este aspecto nocivo a las cimentaciones del Centro Histórico, (fig. A2.23).



*Figura. A2.23. Imágenes de la reintroducción de servicios de Drenaje por parte del G.D.F. Fotos: G.D.F.*

### A2.6 Deterioro por abandono.

Un efecto que se puede apreciar en algunas construcciones, es el deterioro más rápido de todos los elementos cuando éste no tiene mantenimiento constante, ya no se diga cuando está en completo abandono. Generalmente el abandono de un edificio, lleva un efecto ascendente en relación a los daños producidos, ya que se van generando efectos en cadena. Podemos empezar a mencionar estos aspectos; la falta de luz natural y artificial aunado a la nula presencia de mantenimiento en muros, pisos y losas, así como al excremento de palomas, provoca la aparición de hongos en las paredes(fig. 2.24), que se desarrollan de manera rápida y que en época de lluvias acumula humedad en estos espacios; generalmente, este tipo de hongos son particularmente nocivos para los tipos de materiales comunes en estos edificios, como calizas, piedras, ladrillos y morteros.



*Figura A2.24. Parte de la construcción del Palacio de la Medicina, que dado el abandono ha sufrido mayores deterioros en su estructura. Fuente propia.*

---

---

Como consecuencia de la acumulación de estos hongos, frecuentemente se desarrollan plantas de mayores dimensiones, cuyas raíces penetran los muros y los agrietan de manera constante, esto además de los daños a las estructuras de madera en los sistemas de vigas – losa característicos.

Si a estos agentes nocivos, se les añade el vandalismo que se puede presentar, el resultado es muy nocivo, ya que muchas veces la acción humana llega a perjudicar más que la acción de las fuerzas naturales.

Cuando estos efectos empiezan a afectar la condición de un elemento constitutivo del edificio, como un muro, generalmente, sigue otro elemento, ya que al fallar uno provoca la falla del otro, de tal forma que desencadena una serie de eventos que llevan al deterioro cada vez mayor y con mayor rapidez que al principio.

Con el paso del tiempo estos daños pueden ser irreversibles, de tal forma que rescatar los edificios afectados resulta frecuentemente muy costoso y en ocasiones improbable, ya que solo algunas instituciones pueden llegar a absorber los elevados costos de rescate de los mismos.

Finalmente, cabe mencionar que estas prácticas son comunes en edificios antiguos, ya que sus propietarios propician estos deterioros, debido a intereses distintos a los de preservarlos, y encaminados más bien a intereses “mas redituables”.

### **A2.7 Contaminación atmosférica.**

La contaminación atmosférica también es un elemento que se debe considerar como de efectos nocivos a los edificios, no sólo a los históricos, sino a todo tipo. En las grandes ciudades, como la ciudad de México, ésta es considerablemente más nociva, dado que los agentes contaminantes son más agresivos.

Todos estos agentes son producidos en su mayor parte por la gran cantidad de motores de combustión interna que circulan en la ciudad, por la presencia de fábricas, y otros factores que hacen que la cantidad de gases contaminantes sea de proporciones mayúsculas, como en los últimos años la presencia de ceniza volcánica de las erupciones del volcán Popocatepetl. Aunque en los últimos años la contaminación en la ciudad ha disminuido, aún es de proporciones considerables. Se tienen identificados tres aspectos en los que se presenta la contaminación, en forma gaseosa (humos), como partículas sólidas en suspensión (polvo, cenizas, hollín) y como aerosoles.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Álvarez de Buergo Ballester, Mónica, Restauración de Edificios monumentales, CEDEX, España, 1999.

En la ciudad de México los principales contaminantes son los siguientes:

PARÁMETRO	CLAVE	UNIDAD
<u>Monóxido de Carbono</u>	<u>CO</u>	<u>PPM</u>
<u>Dióxido de Azufre</u>	<u>SO<sub>2</sub></u>	PPM
<u>Dióxido de Nitrógeno</u>	<u>NO<sub>2</sub></u>	PPM
<u>Ozono</u>	<u>O<sub>3</sub></u>	PPM
Oxido de Nitrógeno	NO <sub>x</sub>	PPM
Acido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	PPM
<u>Partículas menores a 10 micras</u>	<u>PM-10</u>	µg/m <sup>3</sup>
Partículas suspendidas totales	PST	µg/m <sup>3</sup>
<u>Plomo</u>	<u>Pb</u>	µg/m <sup>3</sup>
Cobre	Cu	µg/m <sup>3</sup>
Fierro	Fe	µg/m <sup>3</sup>
Cadmio	Cd	µg/m <sup>3</sup>
Níquel	Ni	µg/m <sup>3</sup>

Además de los elementos antes mencionados, tenemos la lluvia ácida, cuyas características y efectos nocivos son los siguientes:

### Partes Por Millón (PPM)

Para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen se utilizan las partes por millón. Se divide el volumen en un millón de partes iguales. Cada millonésima parte de este volumen, correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por millón de la sustancia.

Las PPM se utilizan para determinar concentraciones muy pequeñas de gases en la atmósfera.

### Partes Por Billón (PPB)

Para determinar la concentración de una sustancia química en un volumen se utilizan las partes por billón. Se divide el volumen en un billón de partes iguales. Cada billonésima parte de este volumen, correspondiente a la sustancia de nuestro interés, se considera una parte por billón de la sustancia.

Las PPB se utilizan para determinar concentraciones muy pequeñas de gases en la atmósfera.

### **Partículas Suspendidas en su Fracción Respirable ( PM-10 )**

#### CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramos sobre metro cúbico) en un promedio de 24 horas.

#### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro va de 0.3 a 10  $\mu\text{m}$ ) como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen. La fracción respirable de PST, conocida como PM-10, está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior a 10 micras, que tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alveolos pulmonares.

#### FUENTES PRINCIPALES

Combustión industrial y doméstica del carbón, combustóleo y diesel; procesos industriales; incendios, erosión eólica y erupciones volcánicas.

#### EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Irritación en las vías respiratorias; su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares.
- Materiales.- Deterioro en materiales de construcción y otras superficies.
- Vegetación.- Interfieren en la fotosíntesis.
- Otros.- Disminuyen la visibilidad y provocan la formación de nubes.

### **Monóxido de Carbono**

#### CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

---

---

Un promedio de 11 **PPM** en 8 horas.

#### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Gas incoloro e inodoro que se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina y puede llegar a concentraciones letales.

#### FUENTES PRINCIPALES

Combustión incompleta de **hidrocarburos** y sustancias que contienen carbono, tales como la gasolina, el diesel, etc.. Otra importante fuente de formación del monóxido de carbono son los incendios.

#### EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- La carboxihemoglobina afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardiacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.

### Ozono

#### CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

Ozono: Un promedio horario máximo de 216  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.11 **PPM**).

#### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Compuesto gaseoso incoloro producido en presencia de luz solar. Oxida materiales no inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso.

#### FUENTES PRINCIPALES

Reacciones atmosféricas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

---

---

## EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Irritación de los ojos y del tracto respiratorio. Agravan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- Materiales.- Deterioran el hule, los textiles y la pintura.
- Vegetación.- Provocan lesiones en las hojas y limitan su crecimiento.
- Otros.- Disminución de la visibilidad.

### Dióxido de Nitrógeno

## CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

Un promedio horario máximo de  $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.21 PPM).

## CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Gas café rojizo de olor picante.

## FUENTES PRINCIPALES

Combustión a alta temperatura en industrias y vehículos. Tormentas eléctricas.

## EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Irrita los pulmones; agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- Materiales.- Desteñimiento de pinturas.
- Vegetación.- Caída prematura de las hojas e inhibición del crecimiento.
- Otros.- Disminución la visibilidad.

---

---

## Dióxido de Azufre

### CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

Un promedio móvil de 0.13 **PPM** en 24 hrs..

### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida.

### FUENTES PRINCIPALES

Combustión de carbón, diesel, combustóleo y gasolina con azufre. Fundición de betas metálicas ricas en azufre, procesos industriales y erupciones volcánicas.

### EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema.
- Materiales.- Corroe los metales; deteriora los contactos eléctricos, el papel, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción y los monumentos históricos.
- Vegetación.- Provoca lesiones en las hojas y reducción en la fotosíntesis.

## Hidrocarburos

Sólo en una estación de la R.A.M.A. del Valle de México se miden hidrocarburos tales como Benceno, Tolueno y Formaldehído, para los que aún no existe una norma de calidad del aire.

### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

---

---

Compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en estado gaseoso. Se pueden combinar en presencia de la luz solar con óxidos de nitrógeno y participan en la formación del smog fotoquímico.

#### FUENTES PRINCIPALES

Combustión incompleta de combustibles y otras sustancias que contienen carbono. Procesamiento, distribución y uso de compuestos derivados del petróleo, tales como la gasolina y los solventes orgánicos. Incendios, reacciones químicas en la atmósfera, y descomposición bacteriana de la materia orgánica en ausencia del oxígeno.

#### EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Trastornos en el sistema respiratorio; algunos hidrocarburos provocan el cáncer.

#### Plomo

#### CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE

Una norma de 1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 3 meses.

#### CARACTERÍSTICAS DEL CONTAMINANTE

Metal pesado no ferroso que se presenta en forma de vapor, aerosol o polvo.

#### FUENTES PRINCIPALES

Combustión de gasolina con plomo, minería, fundición y procesos industriales.

#### EFFECTOS PRINCIPALES

- Salud.- Se acumula en los órganos del cuerpo, causa anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central (saturnismo).

Como podemos observar de los datos anteriores, se determina que los elementos contaminantes que inciden de forma negativa en los edificios son básicamente cuatro: las partículas suspendidas por fracción respirable, el Ozono, el Dióxido de Nitrógeno y el Dióxido de Azufre, siendo este último el más nocivo para los monumentos históricos.

# Bibliografía.

---



- Aguirre Cárdenas, Jesús. Arquitectura y Subsuelo. El centro histórico de la Ciudad de México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Arquitectura. Facultad de Arquitectura. UNAM, 1995.
- ARNAL, Luis y Max BETANCOURT, Reglamento para Construcciones para el Distrito Federal. Ilustrado y comentado, México 1994, edit. Trillas.
- Álvarez de Buergo Ballester, Mónica, Restauración de Edificios monumentales, CEDEX, España, 1999.
- Barba, Luis. Estudio geofísico de los vestigios arqueológicos enterrados y la preservación del patrimonio arquitectónico de la Ciudad de México, Laboratorio de Prospección Arqueológica. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM. México. 1999.
- Block, Phillip. Equilibrium systems. Studies in Masonry Structure. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- CNA. Nuestros orígenes. Ensayos sobre la ciudad de México. México, 1994.
- Chavarría, Rosa Ma. Trascendencia histórica del Palacio de la Autonomía. Gaceta UNAM, No. 3745, 6 de septiembre de 2004. México.
- Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana, Diagnóstico y Proyecto Geotécnico, Aspectos arquitectónicos y estructurales. Informe Técnico. Amigos de la Catedral, México, 1995.
- Creixell M, José, Estabilidad en las construcciones, Continental, México, 1983.
- Cuadernos de Arquitectura Virreinal No. 5. UNAM. Facultad de Arquitectura. División de Estudios de Posgrado. México, 1988.
- Cuadernos de Arquitectura Virreinal No. 6. UNAM. Facultad de Arquitectura. División de Estudios de Posgrado. México, 1989.
- De la Maza, Francisco. El Palacio de la Inquisición. Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, México, 1951.
- DDF. Imagen de la gran capital, México, 1985.
- DDF. Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, México, 1975.
- Espinosa López, Enrique. Ciudad de México. Compendio cronológico de su desarrollo urbano 1521 – 1980. México, 1991.
- Fernández Loaiza, Fernando. Mejoramiento y estabilización de suelos. Limusa, 1982.
- Gaceta UNAM. No. 3732, 3745. UNAM. México, 2004.
- González Flores, Manuel. Recimentación y levantamiento de la Iglesia de las Capuchinas. Informe técnico. México, 1981.
- Gordon A. Fletcher, Estudio de suelos y cimentaciones en la industria de la construcción, Limusa, México, 1978.
- Greene Castillo, Fernando, Nava Díaz, David. Reporte de los trabajos de nivelación del edificio de Gobierno de la FES Zaragoza, Facultad de Arquitectura, UNAM, México, 1998.

- Herrera y Ascue, Carlos. Respuestas del Suelo. Cimentaciones para Arquitectos. Tesis para obtener el grado de maestro en Tecnología de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura. UNAM. México, 1982.
- Heyman J. "The Stone Skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture". Cambridge University Press. 1995.
- INAH/CNMH. Normas y especificaciones generales para aplicar en edificios históricos dañados por el sismo de del 15 de junio. México, D.F., 1999.
- INBA, La Construcción del Palacio de Bellas Artes, México. 1994.
- Informes de la Sociedad Mexicana de Suelos. Zacatecas 1992, SMMS, México 1992.
- Juárez Badillo, Eulalio, Mecánica de Suelos. T. I, Limusa, México, 1989.
- Juárez Badillo, Eulalio, Mecánica de Suelos. T. II, Limusa, México, 1996.
- Ley Federal sobre Monumentos y Zonas arqueológicas e Históricas. Publicada en el Diario Oficial de 6 de mayo de 1972.
- López Zaldaña, R.A., Lazcano Díaz del Castillo, S., Recimentación de 126 casas a base de inyecciones de compactación en Guadalajara, Jalisco, SMMS, México 1996, p. 275-278.
- López Carmona, Fernando. Aspectos arquitectónicos y estructurales. Corrección Geométrica de la Catedral Metropolitana, Informe Técnico. Amigos de la catedral, México, 1995.
- López Carmona, F. Estudio de la condición actual de la Catedral Metropolitana. Tesis doctoral. Facultad de Arquitectura, UNAM, México, 1992.
- La ciudad de México No. I. Artes de México, No. 49/50 año XI 1964.
- La ciudad de México No. II. Artes de México, No. 53/54 año XI 1964.
- La ciudad de México No. IV: sus casas. Artes de México, No. 97-98 año XIV 1967, 2ª. época.
- La ciudad de México No. VI: sus plazas. Primera parte. Artes de México, No. 109 año XV 1968.
- La ciudad de México No. VI: sus plazas. Segunda parte. Artes de México, No. 110 año XV 1968.
- Lasso Herrera Ricardo. Actualidades de Construcción. México, 1971.
- Marquina, I. Arquitectura prehispánica. INAH, México, 1951.
- Marsal y Mazari. El subsuelo de la ciudad de México, Facultad de Ingeniería. UNAM. México, 1959.
- Matos Moctezuma, Eduardo, Hinojosa, Francisco, Barrera Rivera J. Álvaro, Excavaciones Arqueológicas en la ciudad de México. Arqueología Mexicana, Vol. VI, No. 31, México, mayo/junio 1998. pp. 12-19.
- Mazari Hiriart, Marisa , Ciudad de México: dependiente de sus recursos hídricos, CIUDADES, julio – septiembre de 2001, RNIU, Puebla, México.
- Mazari Menzer Marcos. La isla de los perros. El Colegio Nacional. México, 1996.
- Meli, Roberto. Ingeniería estructural de los Edificios Históricos. ICA, México, 1998.

- Mendoza L. Manuel J. Problemática de la ingeniería de cimentaciones en el valle de México. II Comportamiento de cimentaciones.
- México en el tiempo. Fisonomía de una ciudad. Excélsior, México, 1945.
- Mooser F., Estudio geológico del valle de México, trabajo no publicado. México, 1985.
- Moreno Pecero, Gabriel. Influencia del abatimiento piezométrico en los agrietamientos y hundimientos del subsuelo. Simposio El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Area Urbana del Valle de México. SMMS, México, 1978, pp. 186-192.
- Moreno Pecero, Gabriel. Refoundation research of Mexico's National Palace. X ICSMFE, Estocolmo, 1981, pp. 133-137.
- Murica Vela, Juan. Una introducción al análisis estructural del pretensado. Revista de Obras Públicas. España. 1975.
- Nava Díaz, David. Renivelación de edificios. Tesis para obtener el grado de Maestría en Arquitectura. DEPFA, UNAM, México, 1999.
- Nuñez Garduño, C., Hundimiento del subsuelo de la ciudad de México, XVIII Reunión Nacional de Mecánica de suelos, Morelia, 1996. SMMS, México 1996.
- Ovando Shelley, E., Manzanilla, L. AN ARCHAEOLOGICAL INTERPRETATION OF GEOTECHNICAL SOUNDINGS UNDEER THE METROPOLITAN CATHEDRAL, MEXICO, CITY. Great Britain, 1997, Archaeometry 39, 221-235 p.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
- Sanders, William T., Et. Al., The basin of Mexico, ecological processes in the evolution os a civilization. Academic Press, New York, 1979.
- Santoyo, Enrique, Segovia, José A., Recimentación y renivelación en monumentos históricos, TGC, México, 1995.
- Santoyo, Enrique, Inyección del subsuelo del Palacio de Bellas Artes, Vector de la ingeniería civil, No. 4, México, 1997.
- Santoyo E. y E. Ovando. Termina la subexcavación de la Catedral. Vector de la ingeniería civil, No. 14, México 1998.
- Sigler Islas, Eduardo. Patrimonio y sismos. Memoria fotográfica de los sismos de 1999 en el estado de Oaxaca. CONACULTA – INAH. México, 2001.
- Secretaría General de Obras del Departamento del Distrito Federal. Manual de exploración geotécnica. México, 1988.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. SMMS. Recimentaciones. México, 1990.
- Sowers B. George, Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Limusa, México, 1986.
- Tamez, E., SMMS. Undécima conferencia Nabor Carrillo. Hundimientos diferenciales de edificios coloniales en el Centro Histórico, México, 1992.
- Toussaint, Manuel, Gómez de Orozco Federico, Fernández Justino. Planos de la ciudad de México. Siglos XVI Y XVII. IIE, UNAM, DDF, México, 1990.

- Vega Muñoz, Lorena. *Efectos de la inyección en la compresibilidad de las arcillas del valle de México*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil, ENEP Acatlán, México, 1998.
- Veitez Utesa Luis. *Mejoramiento masivo de suelos*. Reunión Técnica, SMMS, México, 1980.
- Wright Carr, David Ch. *Los acabados de los monumentos novohispanos y la petrofilia al final del siglo XX*, Ponencia publicada en *La abolición del arte, XXI Coloquio internacional de historia del arte*, México, Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México, 1998.
- Zeevaert, Leonardo, *Interacción suelo - estructura*, Noriega - Limusa, México, 1991.
- La Jornada, marzo de 2007.

Páginas electrónicas consultadas.

<http://biblional.bibliog.unam.mx/hem/losedificios/>

<http://www.oem.com.mx/elsoldemexico/notas/n96357.htm>

[http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2007\\_203.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2007_203.html)

<http://www.web.mit.edu/masonry>

[www.processing.org](http://www.processing.org)

<http://ropdigital.ciccp.es>

<http://www.arq.com.mx/>

[www.df.gob.mx](http://www.df.gob.mx)

[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

<http://www.igeofcu.unam.mx/divulgacion/geofisicosas/geofisicosas22.pdf>

[http://www.todoarquitectura.com/v2/noticias/one\\_news.asp?IDNews=3121](http://www.todoarquitectura.com/v2/noticias/one_news.asp?IDNews=3121)

<http://www.unam.mx>