



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**ESTUDIO HISTÓRICO DE LA ESTRUCTURA  
DEL PALACIO DE LA AUTONOMÍA**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**MIGUEL ANGEL MORA LÓPEZ**

TUTOR:

**DR. FERNANDO PEÑA MONDRAGÓN**



FES Aragón

SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO, ENERO DEL 2013



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.



## DEDICATORIA

A las tres mujeres que más importantes de mi vida:

A mi madre María Guadalupe Mora López... Por ser mi ejemplo de vida, fortaleza e integridad

A mi abuela María López Cruz... Por enseñarme el verdadero significado de la vida

A mi novia Rosario Rangel Suárez... Porque su amor es el motor que me impulsa



---

---

## ÍNDICE

Índice	5
Introducción	7
Objetivos	7
1.- Importancia del estudio histórico en la intervención de estructuras con valor patrimonial	8
1.1.- Carta de Venecia	8
1.2.- Carta de ICOMOS	9
1.3.- Principios ISCARSAH	9
1.4.- El Estudio Histórico en el proceso de conservación	10
1.5.- El proceso de conservación e intervención de un edificio histórico	11
1.6.- Referencias	12
2.- Estudio Histórico	13
2.1.- Época prehispánica	13
2.1.1.- Vestigios prehispánicos y el Palacio de la Autonomía	14
2.2.- Época colonial	17
2.2.1.- Casa habitación S.XVI	18
2.2.2.- Convento San José de las Carmelitas Descalzas	20
2.2.3.- Convento de Santa Teresa la Antigua	20
2.3.- Época de la Reforma	25
2.4.- Escuela Normal para Profesores	25
2.5.- Inmueble Universitario	29
2.6.- Restauración de 1981	31
2.7.- Palacio de Odontología	36
2.8.- Restauración de 1997	48

2.9.- Palacio de la Autonomía	59
2.10.- Referencias	65
3.- Estudio de las condiciones estructurales pasadas	67
3.1.- Bajada de Cargas Simplificada	67
3.2.- Modelo numérico	74
3.2.1.- Cálculo del sistema de piso	76
3.2.2.- Propiedades mecánicas de la mampostería	78
3.3.- Interpretación de los resultados	80
3.3.1.- Bajada de Cargas	81
3.3.2.- Análisis modal	83
3.3.3.- Revisión por fuerza axial	87
3.3.4.- Revisión por fuerza cortante	90
3.3.5.- Revisión de los desplazamientos del sistema de piso	93
3.4.- Referencias	96
Conclusiones	97
Agradecimientos	99

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de la conservación del patrimonio arquitectónico, el estudio histórico constituye un elemento trascendental para obtener un conocimiento total de la estructura, conocimiento que es necesario para intervenir las estructuras con valor patrimonial. Sin embargo en la práctica, la realización de un estudio histórico no es muy usual entre los ingenieros para ser utilizado en el diagnóstico e intervención de este tipo de estructura.

Con base en esto, la presente tesis tiene como objetivo principal mostrar la importancia que tiene el estudio histórico en el campo de la ingeniería civil, para la conservación del patrimonio arquitectónico. Para llevar a cabo este objetivo, se utilizará como estudio de caso la estructura denominada como Palacio de la Autonomía, edificio que forma parte del patrimonio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Este trabajo forma parte de las actividades de investigación del grupo de monumentos históricos del Instituto de Ingeniería (IdeI) de la UNAM.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos de la presente tesis son:

- 1.- Resaltar la importancia del estudio histórico mediante su aplicación a un edificio del Centro Histórico de la Ciudad de México.
- 2.- Utilizar la información proporcionada por el estudio histórico para explicar el comportamiento estructural del Palacio de la Autonomía.
- 3.- Realizar un modelo numérico con base en la información proporcionada por el estudio histórico, utilizando los resultados para realizar una interpretación de las condiciones pasadas del Palacio de la Autonomía.

## CAPÍTULO 1

### IMPORTANCIA DEL ESTUDIO HISTÓRICO EN LA INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS CON VALOR PATRIMONIAL

Los monumentos históricos son estructuras que con el paso del tiempo han adquirido un gran valor, histórico, arquitectónico, social, cultural, arqueológico, artístico, etc., ya sea de carácter tangible o intangible. Es por este motivo que la preservación de estas estructuras es un tema fundamental [1.1].

La preservación de los monumentos históricos requiere de una serie de medidas según el estado en el que se encuentre la estructura, las cuales consisten en conservación y restauración. La conservación es una intervención cuya finalidad es prevenir los problemas de la estructura, y la restauración es la medida última de la intervención, ya que se enfoca a acciones correctivas a problemas existentes [1.1].

Para estas intervenciones, el papel que juega el ingeniero civil es trascendental, ya que de éste depende la estabilidad de la estructura. Un monumento histórico contiene un valor patrimonial asociado también a otras disciplinas no menos importantes, por lo tanto se concluye que la intervención de un monumento histórico requiere de un estudio multidisciplinario. Sin embargo en el campo de aplicación es muy difícil empatar las ideas de los especialistas encargados de la intervención y por consecuencia afectar a los valores intrínsecos de la estructura [1.1].

De este problema en particular, nace la idea de fijar una serie de parámetros para intervenir a las estructuras con valor patrimonial. El primer antecedente que se conoce es de fines del S. XIX, cuando Camilo Boito redacta una serie de normas para el III Congreso de Ingenieros y Arquitectos, a la postre se redactaría durante el I Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos en 1931 la llamada Carta de Atenas. Es hasta 1964 durante el II Congreso Internacional de Ingenieros y Arquitectos cuando se reunieron los profesionales en conservación y restauración para establecer un documento llamado Carta de Venecia [1.1].

#### 1.1 Carta de Venecia

La Carta de Venecia es un documento que consta de 16 artículos que fijan lineamientos para llevar una intervención armónica de los monumentos históricos. Este documento en su artículo nueve en su apartado de restauración, menciona la importancia del estudio histórico para llevar a cabo esta intervención:

“La restauración es una operación que debe tener un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y los documentos auténticos. Su límite está allí donde comienza la hipótesis: en el plano de las reconstituciones basadas en conjeturas, todo trabajo de complemento reconocido como indispensable por razones estéticas o técnicas aflora de la composición arquitectónica y llevará la marca de nuestro tiempo. La restauración estará siempre precedida y acompañada de un estudio arqueológico e histórico del monumento” [1.2].

En este artículo se hace referencia a la restauración, y se menciona la importancia de respetar la esencia primigenia de la estructura, sin embargo el vago entendimiento de su valor patrimonial conlleva a la pérdida de su valor intrínseco. Es por esta razón que los conocimientos que proporciona el estudio histórico resultan trascendentales para diagnosticar e intervenir.

Posterior a la Carta de Venecia, el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) hace una adaptación de ésta con la finalidad de promover la transmisión de los múltiples sentidos y valores del patrimonio cultural, de forma completa y correcta, mediante una interpretación. La interpretación es aquella explicación o presentación pública, cuidadosamente planeada, que aborda el completo significado de un lugar con patrimonio cultural, ya sea tangible como intangible [1.2].

## 1.2 Carta de ICOMOS

La adaptación hecha por ICOMOS en 1965 lleva como nombre Carta de Ename, también llamada Carta de ICOMOS. El objetivo de este escrito es destacar la función esencial de la interpretación en el marco de la conservación del patrimonio. Esta carta consta de siete principios universales de ética profesional, autenticidad, integridad intelectual y responsabilidad social, así como el respeto, la sensibilización hacia su significado local y su valor patrimonial, singular e irreplicable.

La Carta de Ename en su apartado de evidencia menciona la importancia del estudio histórico:

“La interpretación deberá basarse en un estudio multidisciplinar del lugar y sus alrededores e indicar con claridad y veracidad donde comienzan las conjeturas, hipótesis o reflexiones de carácter filosófico. La meta de la interpretación es mostrar el elenco de datos históricos, tradiciones y significados atribuidos al lugar” [1.3].

“El uso de figuraciones artísticas o de simulación informática deberá fundamentarse en un análisis detallado y sistemático de los restos existentes que incluya datos arqueológicos e históricos, el análisis de los materiales de construcción, los criterios de ingeniería de estructuras, las fuentes escritas y la iconografía. Dichas interpretaciones visuales son meras hipótesis figurativas, y deben ser consideradas como tales” [1.3].

En estos apartados se menciona la importancia de un estudio multidisciplinario, el cual debe ser histórico, ya que en los monumentos históricos se incluye la componente temporal, no obstante se menciona que para hacer una interpretación de los monumentos históricos es posible incluir hipótesis figurativas mediante simulaciones informáticas, siempre que estén bien fundamentadas mediante el estudio histórico.

## 1.3 Principios ISCARSAH

En 1996, ICOMOS funda el Comité Científico Internacional para el Análisis y Restauración de Estructuras de Patrimonio Arquitectónico, mismo que es autor de los “Principios para el Análisis de Conservación y Restauración de Estructuras del Patrimonio Arquitectónico”, los llamados Principios ISCARSAH (por sus siglas en inglés), que están más enfocados a lineamientos estructurales y arquitectónicos.

Dentro de los principios ISCARSAH de investigación y diagnóstico se menciona lo siguiente con respecto al estudio histórico:

2.3. “La práctica de la conservación requiere un conocimiento exhaustivo de las características de la estructura y los materiales. Es fundamental disponer de información sobre la estructura en su estado original y en sus primeras etapas, las técnicas que se emplearon en la construcción, las alteraciones sufridas y sus efectos, los fenómenos que se han producido y, por último, sobre su estado actual” [1.4].

2.5. “El diagnóstico debe apoyarse en métodos de investigación histórica de carácter cualitativo y cuantitativo; los primeros, han de basarse principalmente en la observación de los daños estructurales y la degradación material, así como en la investigación histórica y arqueológica propiamente dicha, y los segundos, fundamentalmente en pruebas de los materiales y la estructura, en la supervisión continua de los datos y en el análisis estructural” [1.4].

2.7. “En la evaluación sobre seguridad, que constituye la última fase de la diagnosis, y en la que se determina la necesidad de aplicar un tratamiento, se deben estudiar conjuntamente las conclusiones de los análisis cualitativos y cuantitativos: la observación directa, la investigación histórica, el análisis estructural y, en su caso, los resultados experimentales y las pruebas que se hayan realizado” [1.4].

Estos principios concluyen que el estudio histórico es una referencia obligada para la intervención de los monumentos, que como ya se había mencionado resulta trascendental para diagnosticar problemas estructurales y sus soluciones, mediante el respeto a la técnica original y al tipo de materiales, para no afectar los valores primigenios de la estructura.

A pesar de que los enfoques de los documentos antes presentados se tornan diferentes en varios puntos, todos concluyen que el estudio histórico es la base en la que se fundamenta la toma de decisiones para cualquier intervención.

#### **1.4 El estudio histórico en el proceso de conservación**

Un estudio histórico es el análisis de un acontecimiento situado en un contexto histórico. En este análisis se buscan las causas, el desarrollo y las consecuencias del acontecimiento sobre un fenómeno social del pasado o del presente. Al unir de una manera analítica y crítica esos elementos, se habrá dado a ese acontecimiento una cualidad de proceso histórico; lo cual ayudará a abrir una ventana más para mirar y comprender el pasado.

El enfoque que se le debe dar al estudio histórico de un edificio está determinado por los miembros del grupo multidisciplinario al que estará dirigido, sean arquitectos, ingenieros, arqueólogos, restauradores, etc. Debido a que ellos utilizarán la información dada en el estudio histórico, para proponer las pautas a seguir. Así, el estudio histórico que vaya dirigido a un arquitecto o a un ingeniero debe incluir datos basados en cuestiones constructivas. La investigación, recopilación e interpretación de la información estará delimitada por los datos que a un ingeniero o arquitecto le sean útiles para realizar el análisis y diagnóstico sobre el estado presente de la estructura de un edificio histórico, así como para respetar los valores propios del edificio.

La profundidad del estudio histórico dependerá del inmueble a intervenir. Si se trata de un monumento, entonces debe ser lo más completo posible. En caso de ser un edificio histórico, el estudio puede ser breve indicando solo algunas características particulares del tipo de construcción y materiales. Es claro, que muchas veces no se encontrará toda la información necesaria. En estos casos, se puede extrapolar la información que se tenga de edificios parecidos al que se va a intervenir. Los datos mínimos que el estudio histórico debe incluir son:

- Información sobre edificaciones anteriores al edificio en estudio que hayan ocupado el predio
- Datos sobre la edificación original: cimientos, materiales de construcción, distribución arquitectónico, tamaño y forma original del edificio, entre otros
- Un análisis sobre el estilo arquitectónico original
- Los datos del estudio no se deben limitar a la condición original del inmueble, sino que además deben incluir un análisis cronológico que muestre los daños, modificaciones y supresiones que el edificio haya tenido a lo largo de su historia
- Se debe indicar los diferentes usos a los que ha sido dedicado el inmueble; ya que estos pueden haber modificado la estructura, cambiado las cargas o producido algún daño
- Un punto importante del estudio histórico es la recopilación de material fotográfico, planos, diversos levantamientos, pinturas, etc., que ayuden a tener un mejor entendimiento de la estructura

### **1.5 El proceso de conservación e intervención de un edificio histórico**

Un proyecto de conservación debe proveer a la estructura de un cierto grado de seguridad ante las distintas cargas que puedan actuar en ella, pero sin modificar la identidad propia del edificio histórico. Es indispensable tomar en cuenta la identidad histórica del edificio, así como conocer los diferentes cambios que ha sufrido el inmueble a lo largo del tiempo, sin embargo esto pertenece principalmente al campo de la historia y suele ser una inapreciable herramienta en el proceso de valoración en el ámbito de la ingeniería. Es aquí donde entra el historiador para apoyar los trabajos de restauración de un edificio histórico. Sin embargo, es necesaria una correlación entre los diferentes grupos para que el trabajo histórico sea de utilidad al ingeniero [1.1].

El diagnóstico es una de las fases principales en un proyecto de intervención. Ésta a su vez se basa en una correcta detección y evaluación del daño. Por lo tanto, un primer análisis necesario es el histórico. A partir de las modificaciones sufridas en el inmueble, los daños presentados en el pasado y las intervenciones realizadas, es posible hacer un primer diagnóstico del estado de la estructura.

Debido a que el daño estructural de una edificación histórica tiene consecuencias no sólo a nivel de costos o pérdidas humanas, sino también a nivel cultural y patrimonial, el estudio de la seguridad estructural de este tipo de estructuras es de vital importancia. Por lo tanto, es necesario el tener criterios adecuados para la conservación de las edificaciones históricas. Estos criterios deben de reconocer explícitamente que la conservación del patrimonio arquitectónico se debe centrar en tres puntos fundamentales: a) la seguridad física de las personas; b) la salvaguarda de los valores intangibles del inmueble; y c) el uso, actual y futuro, que se le dé a la construcción.

Con base en lo anterior, se observa que en un proyecto de intervención es necesario realizar un análisis integral del edificio histórico. Por análisis se debe entender “el estudio de los límites y posibles soluciones de un problema” [1.5]. Por lo tanto, la estrategia de intervención debe estar centrada en el entendimiento global de la estructura; es decir que el análisis sea integral. Con base en esto, los análisis que se deberán desarrollar y que se complementarán entre sí son:

- Análisis de las Condiciones Pasadas: contribuye a conocer la historia de la edificación a lo largo del tiempo. Permite identificar los valores intangibles del inmueble, así como a entender la condición actual del mismo.
- Análisis de las Condiciones Actuales: las condiciones presentes permiten saber, precisamente, el grado de afectación del inmueble. Es aquí donde se planea la posible intervención a realizar.
- Análisis de las Condiciones Futuras: es necesario que se reconozca la importancia de tener un análisis o previsión de las condiciones futuras del inmueble. La importancia radica en que uno de los objetivos de la conservación es la de prever las posibles acciones a futuro, para garantizar que el inmueble se mantenga vivo, conserve su identidad original y se evite la pérdida de sus valores intangibles.

En este trabajo sólo se trabajará en el análisis de las condiciones pasadas, donde el estudio histórico es el punto principal para entender estas condiciones.

## 1.6. Referencias del capítulo

- 1.1.- PEÑA, F., GARCÍA, R. Artículo “Relación de la Ingeniería con la Historia en el Proceso de Restauración de los Edificios Históricos”. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- 1.2.- ICOMOS MEXICANO. Disponible en <http://www.icomos.org.mx/venecia.php>. Consultado el 9- Junio-12.
- 1.3.- ICOMOS MEXICANO. Disponible en <http://www.icomos.org.mx/interpretacion.php>. Consultado el 11-Junio-12.
- 1.4.-ISCARSAH. ICOMOS. Disponible en [http://iscarsah.icomos.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=73](http://iscarsah.icomos.org/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=73). Consultado el 13-Junio-12.
- 1.5 DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMÍA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Disponible en <http://www.rae.es/rae.html>. Consultado el 10-Octubre-12

## CAPÍTULO 2

## ESTUDIO HISTÓRICO

Para mostrar la importancia del estudio histórico, este trabajo se enfoca en el Palacio de la Autonomía, edificio que se encuentra ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de México, entre las calles de Licenciado Primo Verdad No. 2 y República de Guatemala No. 55 (Figura 2.1). A continuación se presenta el estudio histórico de este inmueble.

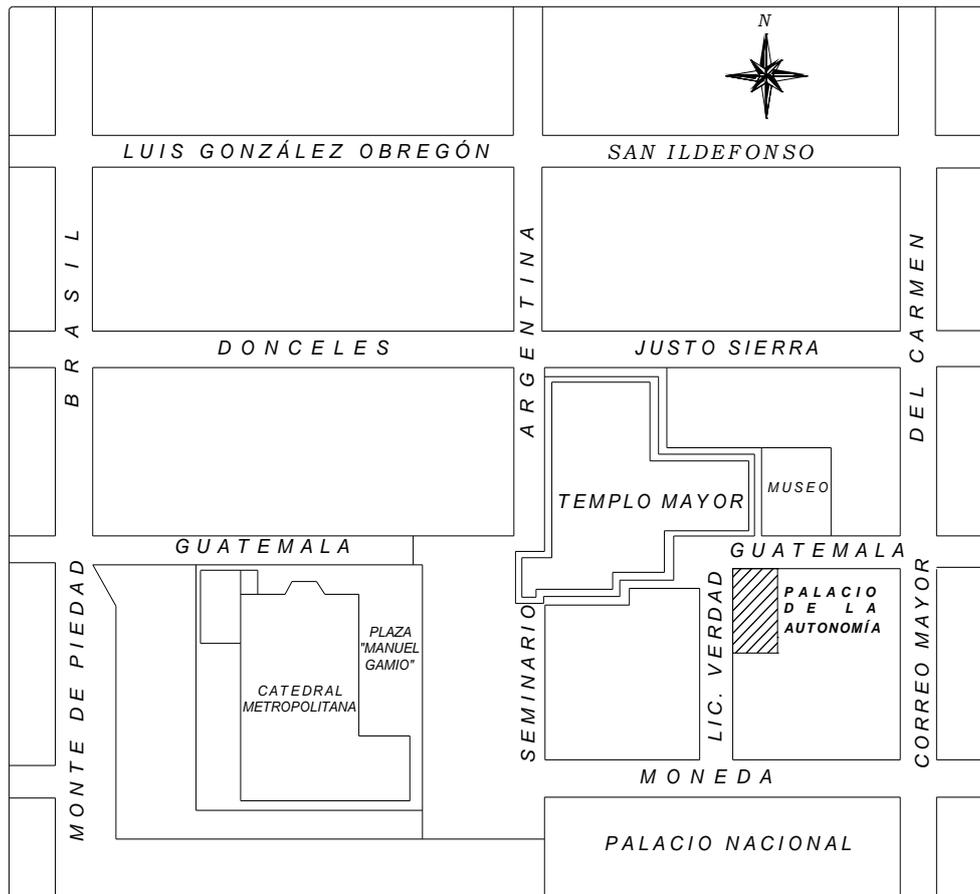


Figura 2.1. Croquis de localización del Palacio de la Autonomía.

### 2.1 ÉPOCA PREHISPÁNICA

Los antecedentes de utilización del terreno en que se asienta el Palacio de la Autonomía datan de la ciudad de México-Tenochtitlan, fundada en 1325 por un grupo de mexicas, que se establecen sobre un islote dentro de la cuenca del Valle de México. Para su organización urbana los aztecas tomaron atributos estilísticos de ciudades como Tula y Teotihuacán, formando una cuadrícula comprendida por cuatro distritos y un templo en medio dedicado a Huitzilopochtli y a Tlaloc, llamado Templo Mayor (figura 2.2) [2.1].

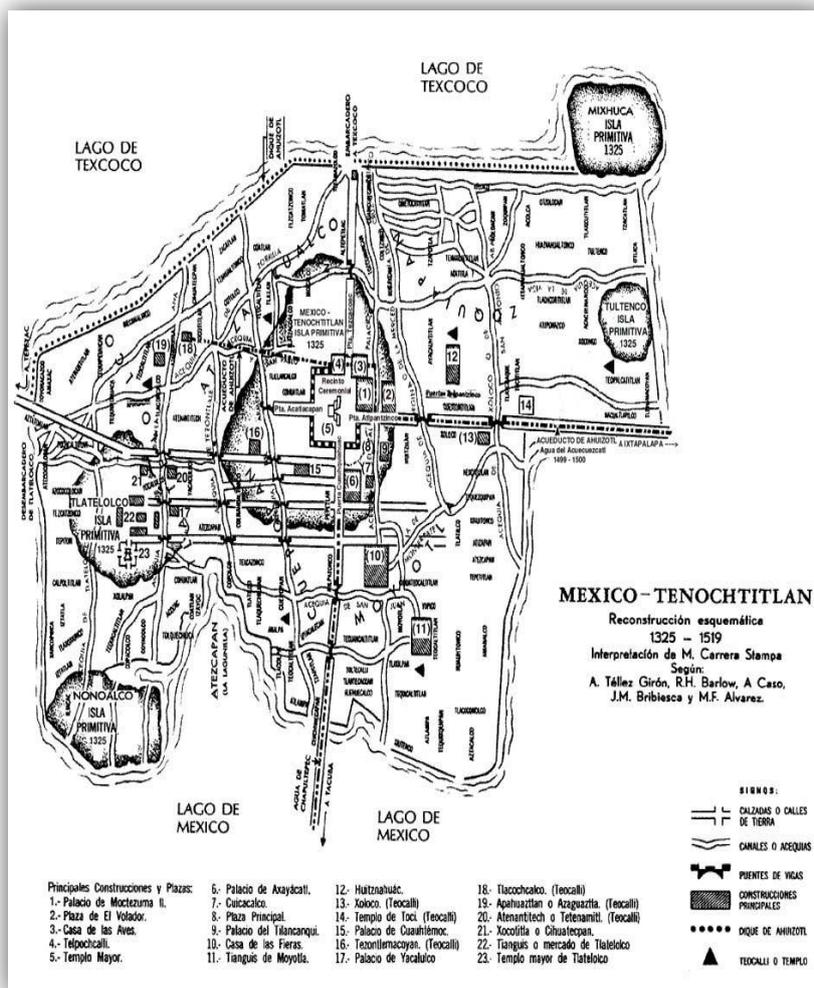
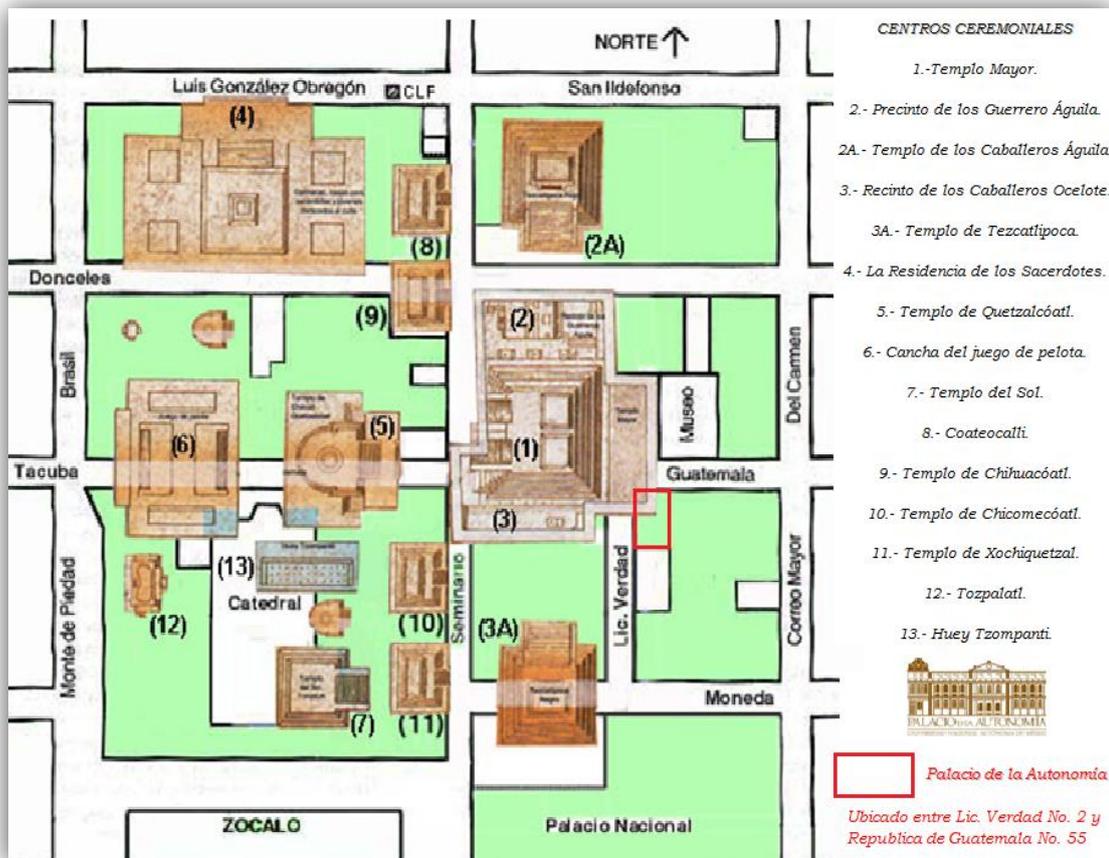


Figura 2.2. Reconstrucción esquemática de México-Tenochtitlan [2.2].

La creación de grandes centros ceremoniales representó problemas de hundimientos durante y después de su construcción, debidos al peso propio de las estructuras y a la falta de resistencia del suelo. Por esta razón implementaron el uso del tezontle por ser fuerte, ligero y abundante en la región. Para la cimentación de sus construcciones clavaban estacas del árbol de ahuejote en formaciones estrechas apoyadas sobre tezontle y lodo, para tratar de mitigar los hundimientos [2.3].

### 2.1.1. Vestigios prehispánicos y el Palacio de la Autonomía

El terreno donde se ubica el Palacio de la Autonomía se encontraba ubicado en el corazón de la civilización prehispánica, por lo que es necesario mencionar su relación. Para entender mejor la relación utilizamos la figura 2.3, donde se muestra una superposición de los centros ceremoniales de México – Tenochtitlan sobre la traza del Centro Histórico, en esta se identifica la posible presencia de una estructura antigua sobre la esquina noroeste del edificio actual.



**Figura 2.3. Superposición de centros ceremoniales de México-Tenochtitlan, sobre la traza del Centro Histórico de la Ciudad de México (modificada) [2.4].**

Las excavaciones del Proyecto de Arqueología Urbana (PAU) realizadas por el Instituto Nacional de Arqueología e Historia (INAH) en el Centro Histórico de la Ciudad de México, revelan la presencia de una parte del llamado coatepantli (muro de serpientes) en el Palacio de la Autonomía.

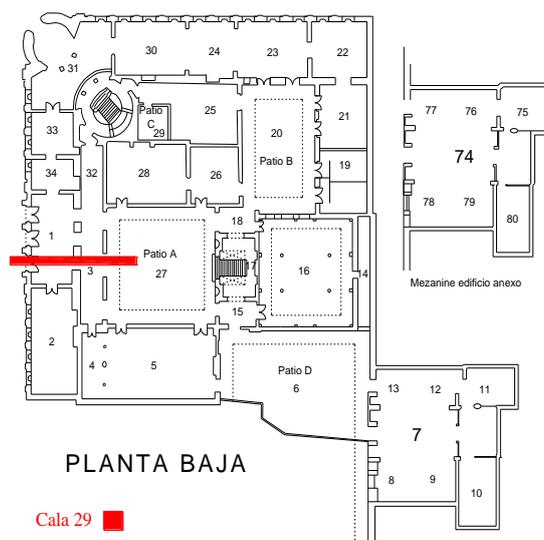
El coatepantli es el límite del Templo Mayor, estructura que se cree, estaba decorado con ofidios, aunque no se han encontrado pruebas fehacientes. El coatepantli puede describirse como una plataforma con escalinatas a los lados, que se interrumpía en los accesos principales del recinto [2.5]. Restos del coatepantli fueron encontrados en 1981 por las excavaciones del Proyecto de Templo Mayor hechas por el INAH (figura 2.4).



**Figura 2.4. Restos del coatepantli cerca del Palacio de la Autonomía.**

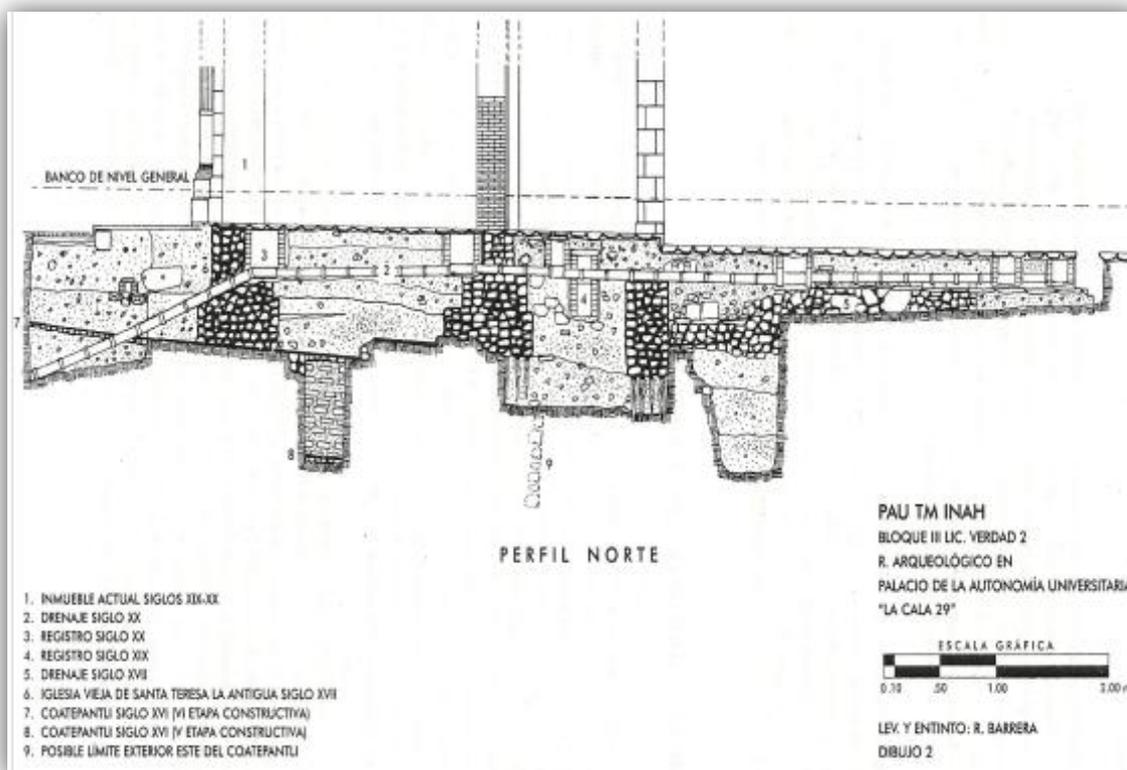
Según los datos proporcionados por las excavaciones, el coatepantli está formado por bloques de adobe de 34cm de longitud por 10cm de espesor aproximadamente, hechos de arcilla café amarillenta, unidos con lodo de arcilla limosa café oscuro. El piso superior se formaba de piedras de tezontle de 10cm de espesor, con un firme de arena y cal viva acabado con estuco pulido [2.6].

Las calas arqueológicas son pequeñas excavaciones que tienen como objetivo encontrar evidencia sobre sociedades antiguas. La cala 29 hecha por el INAH en el Palacio de la Autonomía (figura 2.5) dentro del PAU, reveló la existencia del piso superior del coatepantli a 1.74 m de profundidad medida a nivel de calle, y a 2.56 m de profundidad dentro del inmueble [2.6].



**Figura 2.5. Plano en planta del Palacio de la Autonomía con la ubicación de la cala 29.**

Con dicha cala no fue posible encontrar su nivel de desplante, sin embargo se determinó que el coatepantli recorre a todo lo largo y ancho de la calle de Lic. Verdad. La figura 2.6 muestra los datos obtenidos con la cala 29, donde puede apreciarse las diferentes etapas de construcción de la plataforma prehispánica, además de su probable límite Este. Esta excavación confirma que la fachada principal de la iglesia estaba sobre el coatepantli [2.6].



**Figura 2.6. Perfil Norte de la cala 29 [2.6].**

## 2.2 ÉPOCA COLONIAL

Con la conquista de los españoles en 1521, se funda La Nueva España, la cual fue trazada por el urbanista Alonso García Bravo a petición de Hernán Cortés, quien recomienda se preserven calzadas de Tenochtitlan. Cortés ordena la destrucción de los recintos ceremoniales para aprovechar sus espacios y materiales en la construcción de los nuevos edificios [2.1].

Las construcciones coloniales heredarían problemas de la antigua ciudad, como son los hundimientos diferenciales, las inundaciones en ciertas épocas del año y la vulnerabilidad sísmica. Debido a esto, algunas construcciones son reforzadas o reconstruidas frecuentemente, lo que obligaba a desarrollar sistemas constructivos adecuados y diseños más propicios a las condiciones del terreno [2.1].

### 2.2.1. Casa habitación S. XVI

Los primeros antecedentes de ocupación del terreno donde está desplantado el Palacio de la Autonomía, se remontan hasta el Siglo XVI, donde la referencia [7] afirma que ahí existía la casa habitación de Don Juan Luis de Rivera, representante de la Casa de Moneda y Regidor del Cabildo.

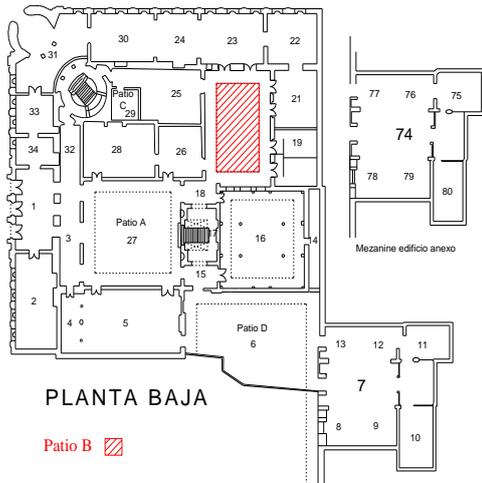
Una descripción del aspecto que solía tener la casa colonial, la proporciona Don Artemio de Valle Arizpe... “Ese vasto caserón de piedra tenía aspecto fosco y macizo. Fué de los primeros que se alzaron en México. Su fachada era de una gravedad ceñuda, áspera, con almenas en su pretil, con ventanas entrecruzadas de gruesos barrotes, con balcones de ancho saledizo y toscos barandales de forja con bolas de bronce en los ángulos, y gruesas puertas de tallados cuarterones. Encima del dintel de las ocho puertas que se abrían sobre los balcones estaba repartida esta leyenda piadosa con realzadas letras de argamasa, entre adornos también de realce de un marcado sabor indígena: VIVAN LAS CINCO PERSONAS DE JESÚS, MARÍA, JOSÉ, SANTA ANA Y SAN JOAQUÍN. Esta fornida casa de piedra gris daba idea clara del conquistador que la levantó, hombre católico y bárbaro, despreciador de la comodidad y del refinado gustar doméstico; y más que hogar quiso que fuera una defendida fortaleza para contender el ataque de los indios.

El patio, rodeado de bastas columnas que sostenían los corredores altos, era apenumbado y de una fría austeridad conventual; la luz estaba allí como enlanguidecida, agonizando siempre entre la fresca canturía de la fuente” [2.8].

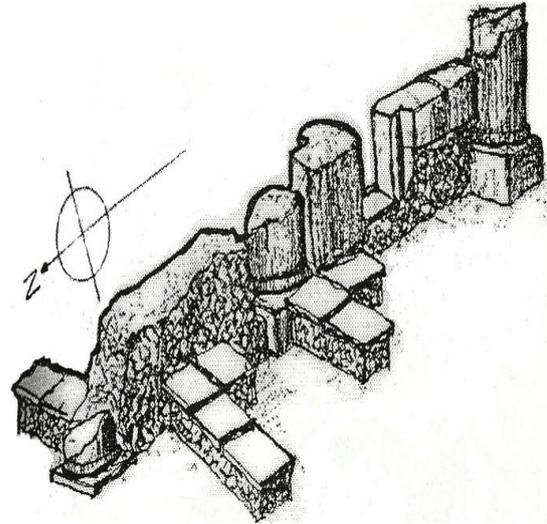
Las características exactas de la casa de Don Juan Luis de Rivera se desconocen, sin embargo puede considerarse una casa señorial dada la importancia del dueño. Si tomamos en cuenta que las tendencias de diseño y construcción no distan mucho respecto a cada época, se describe brevemente el aspecto general de una casa señorial del siglo XVI, asociándola a su vez con la casa de Juan de Rivera.

Las casas señoriales por lo general eran cuadradas de dos pisos, con uno o más patios descubiertos en el centro, el patio interno tenía una fuente cantarina estilo mudéjar, mismo lugar donde se realizaban la mayor parte de las labores domésticas. Su fachada era estilo muralla, con ventas cubiertas de herrería ornamental y con un portón de dos hojas con suficiente espacio para un carruaje. La planta baja la utilizaba la servidumbre para realizar sus actividades (bodegas de leña y forraje, cocheras, caballerizas y accesorias alquiladas para los artesanos, etc.), tenía una gran escalera de piedra para llegar a la planta alta, lugar que ocupaban los dueños (despachos, recámaras, capilla, comedor, salón del dosel, etc.) [2.9, 2.10].

La figura 2.7, muestra la ubicación de un espacio denominado según el PAU como patio B, dentro del cual fueron encontrados diversos niveles de ocupación mediante una excavación, misma que reveló los restos de la casa de Don Juan Luis de Rivera. Se trata de la fachada de un pórtico comprendido por tres desplantes de columnas cilíndricas de andesita, con bases rectangulares de 60cm por lado y 30cm de altura, hechas de tabiques rojos y fragmentos de tezontle, revestido con arena, tezontle rojo molido y cal (figura 2.8) [2.6].

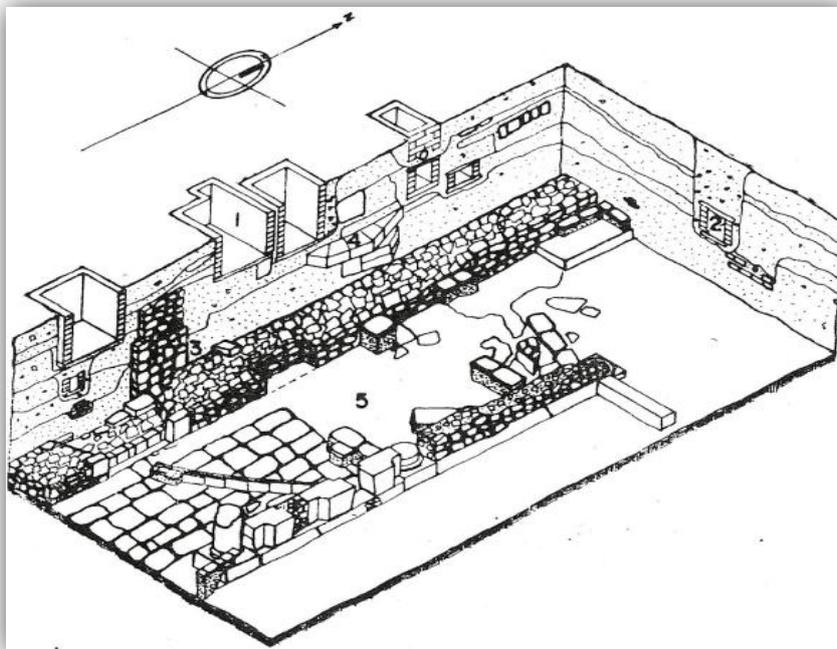


**Figura 2.7. Plano en planta del Palacio de la Autonomía identificando el Patio B.**



**Figura 2.8. Restos del pórtico en la casa habitación del S. XVI [2.11].**

Dentro del pórtico se encontraron restos de un piso contemporáneo a las columnas, hecho con lajas de andesita unidas con mortero, mismas que se presume fueron utilizadas en una remodelación, donde colocaron un relleno de 30cm de tierra para posteriormente volver a colocar las lajas de andesita [2.6]. La figura 2.9 muestra los vestigios encontrados en el patio B.



**Figura 2.9. Excavación en patio B. 1.- Registro del S. XX, 2.- Drenaje del S. XIX, 3.- Convento de Santa Teresa la Antigua, 4.- Fuente del S. XVII, 5.- Casa colonial del S. XVI [2.6].**

### 2.2.2 Convento San José de las Carmelitas Descalzas

Según el escritor Carlos Singüenza y Gongora, Don Juan Luis de Rivera siempre tuvo la intención de levantar un convento dedicado a la advocación de las carmelitas descalzas, para lo cual habló con las religiosas Sor Inés de la Cruz y Sor Mariana de la Encarnación. En su testamento destinó su casa y cuatro mil pesos para su fundación [2.12].

La construcción del convento se inició el 5 de julio de 1615 y fue dirigida por Juan Gómez de Transmonte. La primera iglesia estaba ubicada en la esquina noroeste del predio, con la fachada principal hacia la calle del Hospicio (Guatemala). Para su obra adaptaron algunos cuartos como confesionarios y coros, además de que construyeron un campanario. Para el convento se construyó un cuarto para guardar culto, un claustro, oficinas pavimentadas con piedra de Tenayuca y algunas celdas. Es en 1616 y después de ocho meses de trabajo se termina la primera iglesia, y se inaugura el “Convento San José de las Carmelitas Descalzas” [2.11].

En la década de 1620 se añadieron al convento las portadas de cantería, santos tallados de piedra, la torre y el campanario, obras a cargo del arquitecto Juan Gómez de Transmonte. En 1626 compran por 11,000 pesos dos casas a Doña Isabel de la Cueva y Colón. Estas casas estaban ubicadas frente a las cárceles del arzobispado, colindando con el convento y con las casas del hospital del Amor de Dios [2.11].

Debido a la gran inundación de 1629, se intervinieron los dos aposentos bajos, en la capilla se subió el nivel y se colocaron azulejos, mismos que se colocaron también en la iglesia a manera de protección contra futuras inundaciones [2.11].

### 2.2.3 Convento de Santa Teresa la Antigua

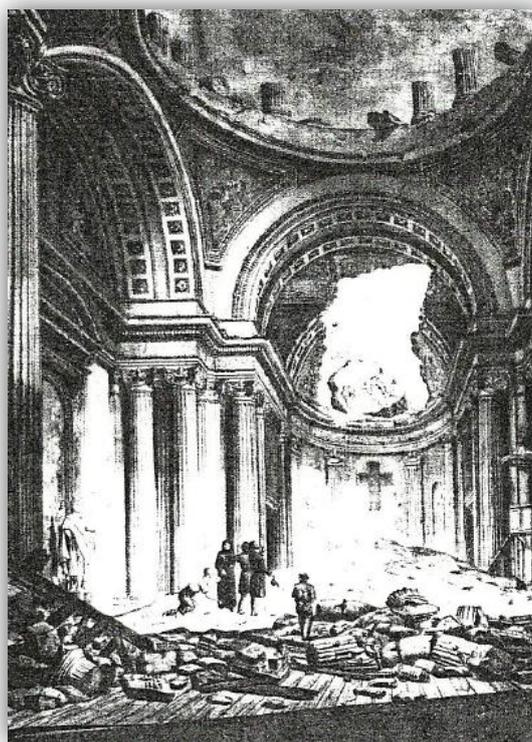
Debido al deterioro del templo en 1678, el comerciante platero Esteban de Molina y Mosquera y su esposa Doña Manuela de la Barreda, proponen construir un nuevo templo y convento, ahora con el nombre de “La Gloriosa Madre Santa Teresa con el título y advocación de Nuestra Señora de la Antigua” [2.12]. La propuesta incluía la compra de casas aledañas para construir sobre estas una nueva capilla con su retablo y sacristía, así como la ampliación del convento [2.11].

La iglesia estuvo a cargo del arquitecto Cristóbal de Medina Vargas Machuca, su fachada era de bloques de tezontle unidos con mortero, con rodapié de piedra chiluca y tres cuerpos separados por banquetas de piedra y contrafuertes, tenía dos portadas gemelas con sus columnas salomónicas pareadas. Una característica de esta iglesia era una cúpula de ocho caras sostenida por un esbelto tambor. El templo fue inaugurado el 11 de septiembre de 1684 por el arzobispo Don Francisco de Aguiar y Seixas [2.12]. Este templo fue una de los más bellos y reconocidos de la época, y su nuevo nombre trajo consigo el cambio de nombre de sus calles aledañas (lo que hoy es República de Guatemala a Calle de Santa Teresa, y lo que hoy es Lic. Verdad a Cerrada de Santa Teresa) [2.12].

El inmueble permaneció sin intervenciones durante las primeras décadas del siglo XVIII, solo se observaron algunas obras en el convento en 1730, la construcción de un baño y la reparación de una bóveda y celdas, así como una cañería. Durante estos años se terminó el comedor, un velatorio, las capillas, una cocina y escaleras [2.6].

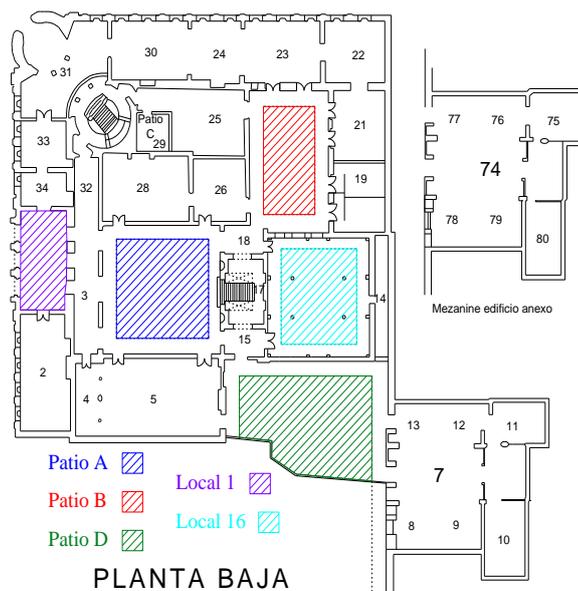
La inconformidad del capellán del convento Doctor Manuel Flores, trajo como resultado la construcción de una nueva capilla entre 1798 y 1813, dirigida por el arquitecto Antonio González Velázquez hasta su muerte en 1810 y terminada por el arquitecto Joaquín de Heredia. Los arquitectos propusieron un diseño de cruz griega, construyeron columnas, estatuas de mármol y alabastro, además de un tabernáculo. Para el diseño artístico intervino el arquitecto y escultor Manuel Tolsa, el escultor Pedro Patiño Ixtolinque y el pintor Rafael Ximeno [2.13]. La nueva capilla duró poco tiempo sin intervenciones, ya que el 7 de abril de 1845 un sismo derribó el cimborrio, gran parte de la bóveda y el ábside de la capilla (figura 2.10), además se perdieron las pinturas de Rafael Ximeno. Solo se salvaron los arcos torales y los muros [2.13].

La reconstrucción se encomendó al arquitecto español Don Lorenzo de la Hidalga, quien proyectó los planos de la cúpula y capilla. La decoración estuvo a cargo del pintor Juan Cordero, donde pintó “Dios Padre y las virtudes cardinales y teologales” [2.12].



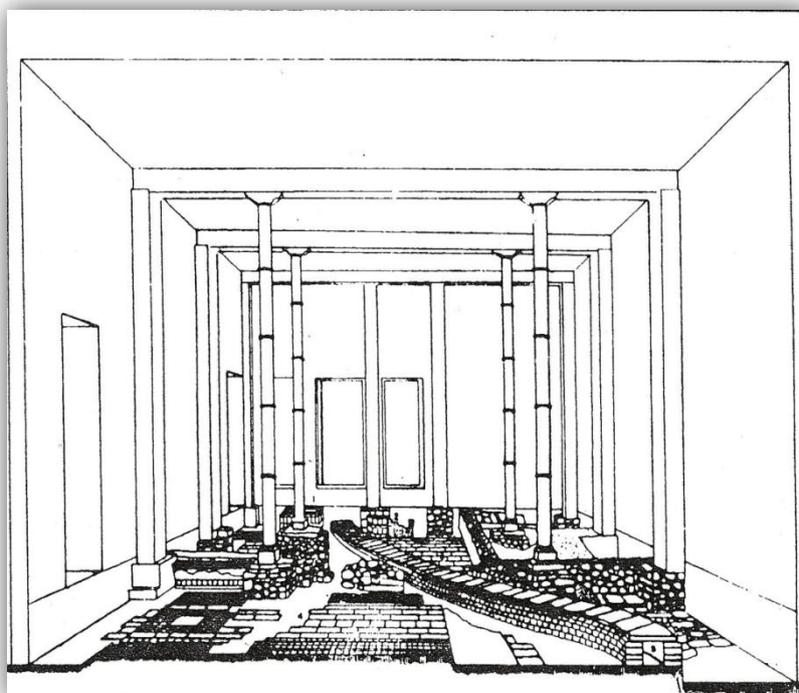
**Figura 2.10. Daños en la Iglesia de Santa Teresa la Antigua a causa del sismo de 1845 [2.13].**

Las excavaciones del Proyecto de Arqueología Urbana confirman que en los sitios mostrados en la figura 2.11, existen vestigios de la época conventual, sin embargo se explicarán los lugares con el mayor peso específico respecto a los vestigios correspondientes al convento.



**Figura 2.11. Plano de ubicación de vestigios arqueológicos dentro del Palacio de la Autonomía referentes a Santa Teresa la Antigua.**

En el cuarto denominado como local 16 se encontró evidencia de al menos tres tipos de piso contemporáneos al convento y desplantes de muros, algunos de los cuales fueron reutilizados a principios del S.XIX. Por la evidencia encontrada en este sitio este espacio es clasificado como la cocina – comedor del convento, no obstante se tiene razón de restos de un muro que pasa por en medio del cuarto, indicando que a lo largo del tiempo este sitio ha tenido diversos usos. La figura 2.12 muestra una vista interior del local 16 y sus vestigios [2.11].



**Figura 2.12. Vista interior del local 16 con un levantamiento de vestigios [2.6].**

El Patio D es otro de los lugares con restos más representativos del convento, ya que aquí se encuentran restos de varios tipos de piso correspondientes a toda la etapa del convento, sin embargo el dato más notable es la ubicación del patio central del convento en esta área. Los elementos que conforman el Patio Central fueron tomados de la referencia [2.11], y son explicados brevemente a continuación:

- Elemento A. Es una jardinera circular de 48cm de diámetro por 25cm de altura aproximadamente, hecha de ladrillos unidos con mortero.
- Elemento B. Es una jardinera circular de 45cm de diámetro por 20cm de altura, construida con fragmentos de ladrillo unidos con mortero.
- Elemento C. Es una jardinera circular de 50cm de diámetro por 17cm de altura, elaborada con tabiques rojos unidos con mortero.
- Elemento D. Es una jardinera circular de 78cm de diámetro por 18cm de altura aproximadamente, está construida con fragmentos de tabique unidos con mortero.
- Elemento E. Es una jardinera circular de 44cm de diámetro y 16cm de altura aproximadamente, constituida de igual manera que las anteriores
- Elemento F. Es una jardinera circular compuesta por dos cuerpos, uno de 88cm de diámetro que actúa como cimienta, y el otro de 1.04m de diámetro, con una altura a nivel de piso original es de 32cm. Está hecha de mampostería cubierta con azulejos.
- Elemento G. Es una escalinata rectangular de 2.6m de longitud por 36cm de altura aproximadamente, tiene dos escalones, mismos que miden 12cm de huella y peralte
- Elemento H. Es una canal de desagüe con 30cm de profundidad que va de Oeste a Este, con pendiente hacia el extremo Sureste del patio
- Elemento I. Es una pileta rectangular que mide 1.35m de longitud, 1.12m de ancho y 70cm de profundidad, está hecha con tabiques unidos con mortero.
- Elemento J. Es un pórtico del que se encontraron los desplantes de dos columnas cuadrangulares de 70cm por lado, con 3.70m de separación entre estas. Los pilares son de mampostería de tezontle careado unido con mortero.
- Elemento K. Es un pórtico con dos desplantes de columnas con dimensiones, separación y materiales iguales al elemento J.

La figura 2.13 muestra la distribución de los elementos antes mencionados. Mientras que la figura 2.14 muestra una imagen de los vestigios en la actualidad.

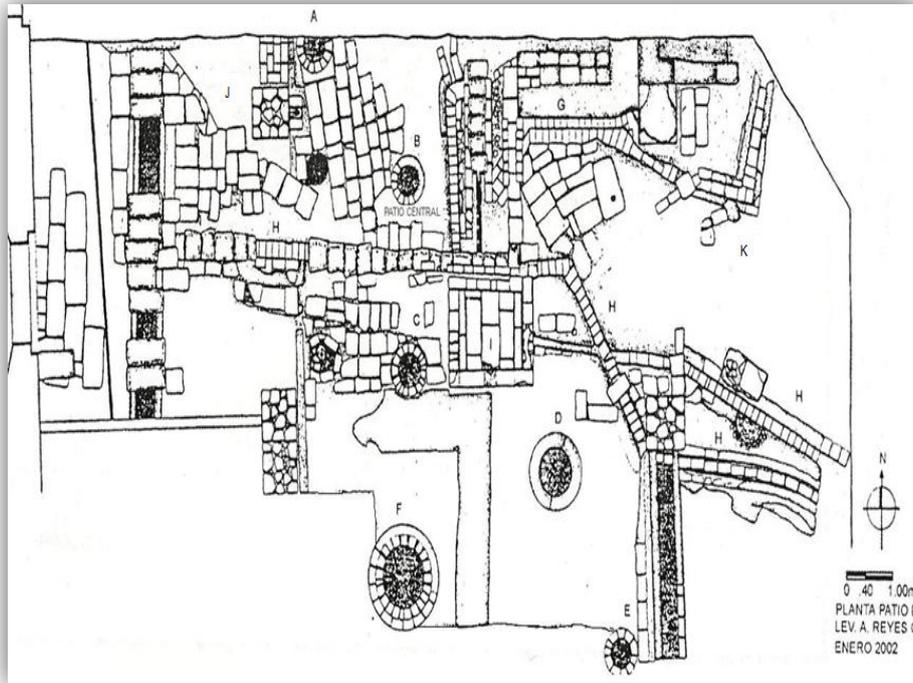


Figura 2.13. Planta del Patio D con ubicación de vestigios (vista hacia el Norte) [2.6].



Figura 2.14. Vista en planta de los vestigios del Patio D (vista hacia el Sur).

### 2.3 ÉPOCA DE LA REFORMA

En 1863 desalojan a las monjas debido a las Leyes de Reforma promulgadas por Benito Juárez, quien nacionalizó los bienes de la iglesia. En ese mismo año el inmueble es vendido a particulares. Es entonces cuando el predio se ocupa como bodega, vecindad y cuartel militar. En 1868 la parte del convento fue adquirida por Don Luis de Miranda e Iturbide, quien la ocupa como casa habitación, mientras que la iglesia y las capillas seguían funcionando para fines religiosos. Al transcurrir del tiempo, el convento sufre varios deterioros en sus elementos arquitectónicos y estructurales. A pesar de esto, es vendido a Don Carlos Haghenbeck, quien al morir, hereda el edificio a su esposa la señora Josefa Sanromán y esta a su vez a su hija la señora María de Jesús Haghenbeck de Rincón Gallardo [2.11].

### 2.4 ESCUELA NORMAL PARA PROFESORES

El terreno seguiría a manos de la señora Rincón Gallardo hasta 1882, cuando el gobierno federal le compra el predio por la cantidad de 18, 500 pesos, con el objeto de crear la Escuela Normal para Profesores, a iniciativa de Ignacio Manuel Altamirano. En 1885 el encargado de realizar el diseño y construcción, fue el Arquitecto Enrique Laubscher, quien ocupó como su principal material la cantera blanca traída desde Pachuca. La escuela fue inaugurada en 1887 por el presidente Porfirio Díaz [2.11].

Debido a la gran demanda que presentó la escuela, en 1890 se contempló la ampliación y reestructuración del edificio, además de incluir un estilo arquitectónico más moderno. Este trabajo es encargado al Ingeniero y Arquitecto Manuel Francisco Álvarez, quien hizo un detallado levantamiento en planta de los dos niveles del edificio que diseñara Laubscher (figuras 2.15 y 2.16).

En los planos levantados por Manuel Álvarez, descubrimos que la fachada Norte tenía un gran acceso sobre la calle de Guatemala, y tres puertas como acceso en la fachada Oeste sobre la calle de Lic. Verdad. Cabe mencionar que, la esquina Noroeste entre las calles de Guatemala y Lic. Verdad, no estaba habilitada para la escuela.

El nuevo proyecto de remodelación, fue hecho por encargo del entonces director de la escuela, el Dr. Miguel Serrano, donde se propone un completo reacomodo de los usos y espacios arquitectónicos, destacando la construcción de un auditorio y la construcción de la fachada semicircular Noroeste (figuras 2.17 y 2.18). Los cambios hechos al edificio, le otorgan un estilo arquitectónico ecléctico de fines del siglo XIX y principios del XX que conserva hasta la actualidad.

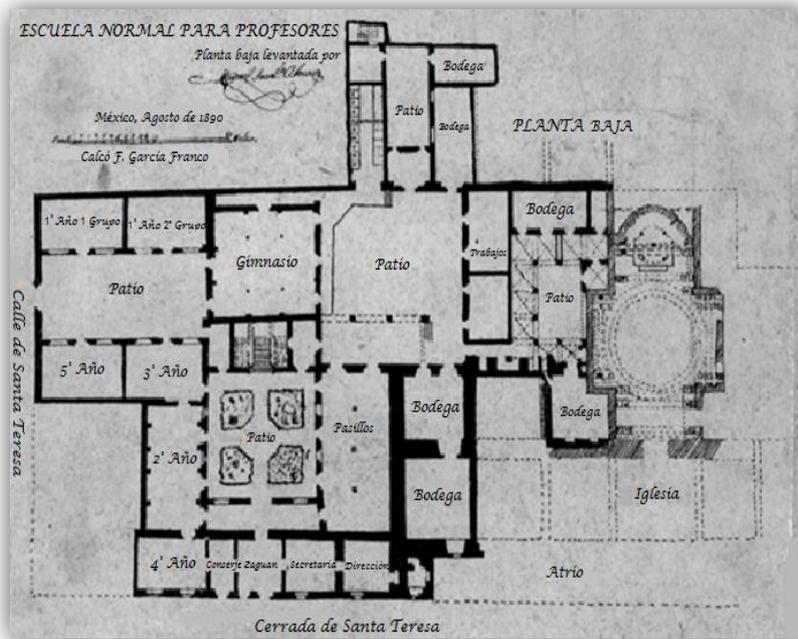


Figura 2.15. Plano de la Escuela Normal para Profesores en 1890 (Planta Baja) [2.14].

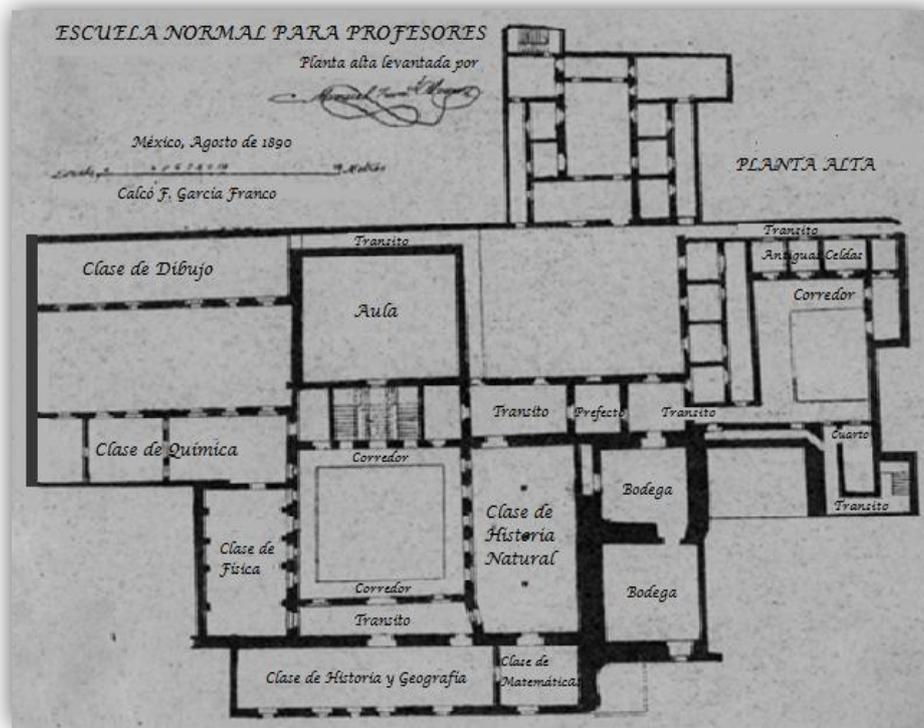


Figura 2.16. Plano de la Escuela Normal de Maestros en 1890 (Planta Alta) [2.14].

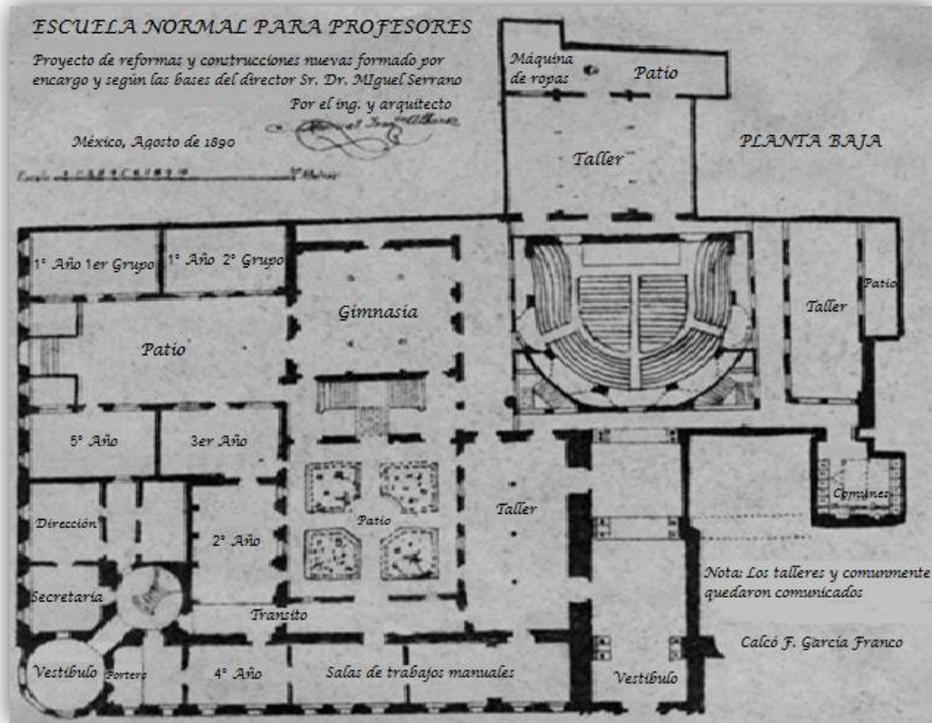


Figura 2.17. Plano del proyecto de remodelación del Ingeniero y Arquitecto Manuel Francisco Álvarez en 1890. (Planta Baja) [2.14].

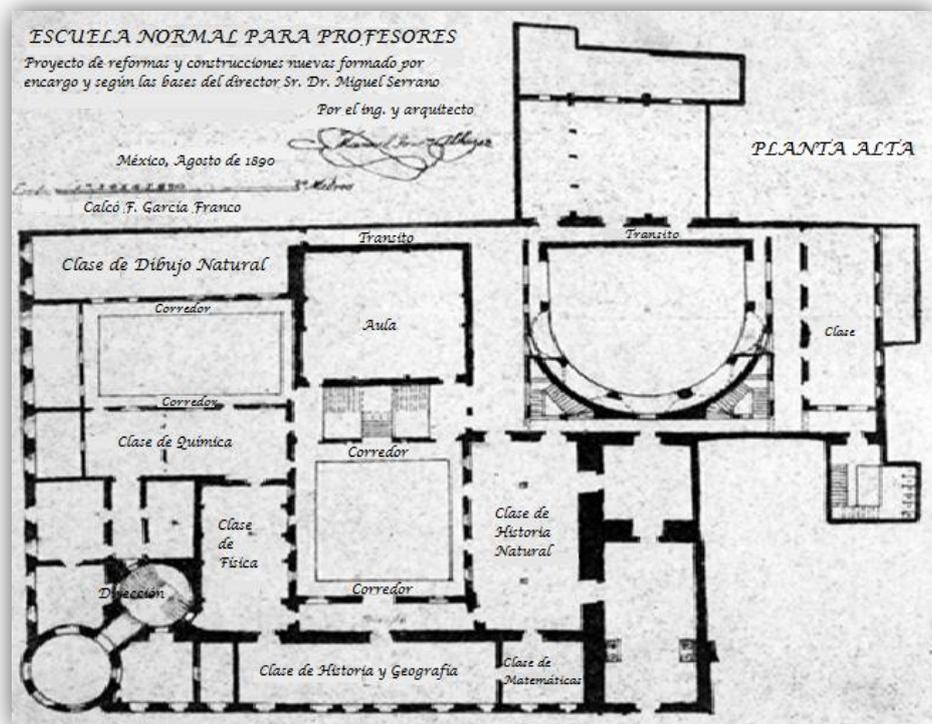


Figura 2.18. Plano del proyecto de remodelación del Ingeniero y Arquitecto Manuel Francisco Álvarez en 1890 (Planta Alta) [2.14].

En 1908 el edificio sufre una nueva reestructuración, a cargo del Ingeniero Porfirio Díaz Ortega, hijo del Presidente Don Porfirio Díaz Mori, donde se cerraron algunas ventanas y accesos para separar cuartos, se colocaron pisos de bloques de basalto y andesita en los patios, además de colocar un drenaje en todo el edificio. Entre estas modificaciones resalta el proyecto de Leopoldo Batres en 1909, la realización del salón de actos llamado “El Paraninfo” [2.11].

El Paraninfo fue construido con un estilo neobarroco, está constituido por columnas salomónicas, retablos churriguerescos de cedro y sillería estilo colonial. En el interior se encuentra el escudo liberal y positivista de la Universidad, con el lema “*Patria scientiaqve amor salvspopvliet*”, que quiere decir “La Salvación del Pueblo está en el Amor a la Patria y a la Ciencia”. Fue ubicado en la planta alta donde antes se impartían las clases de historia y geografía, y cuya fachada da hacia la calle de Lic. Verdad (figura 2.19) [2.11].



**Figura 2.19. Paraninfo de la Escuela Normal para Profesores c. 1910 [2.15].**

Contrastando con las intervenciones que cambiaron el aspecto general del ex convento de Santa Teresa la Antigua, la iglesia se mantuvo sin cambios considerables. La figura 2.20 muestra el plano en planta de la iglesia, en esta imagen se puede observar a la izquierda que algunas zonas que originalmente eran de la iglesia, formaron parte de la Escuela Normal para Profesores, terreno que probablemente perdió con la división de predios en la época de la reforma.

Con este dato podemos decir que los muros que originalmente pertenecieron a la iglesia, fueron reutilizados para la construcción de la Escuela Normal para Profesores, y es en esta época cuando se rellenan los patios del convento para habilitarlos al uso académico.

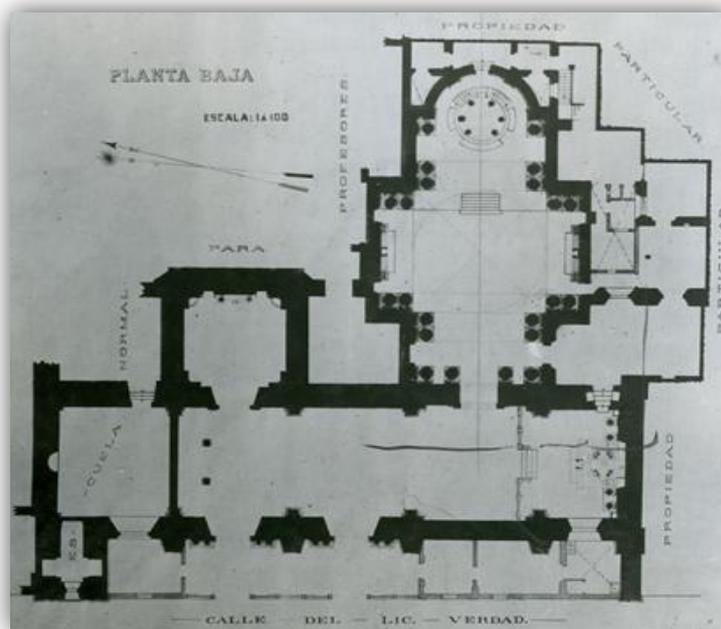


Figura 2.20. Plano de la iglesia de Santa Teresa la Antigua en 1909 [2.14].

## 2.5. INMUEBLE UNIVERSITARIO

Con motivo del centenario de la independencia, el 26 de abril de 1910 se promueve la iniciativa de Justo Sierra de crear la Universidad Nacional de México. Esta se inaugura el 22 de septiembre de 1910 en la Escuela Nacional Preparatoria, proceso durante el cual la Escuela Normal para Profesores, y por supuesto el edificio, es integrado a la Escuela Nacional de Altos Estudios y posteriormente a la Universidad Nacional de México [2.12]. Es entonces cuando el edificio se convierte en sede la Rectoría de la Universidad Nacional, y es por tal motivo que en el salón de actos o El Paraninfo, en julio de 1929 se declara la Autonomía de la Universidad Nacional de México [2.11].

En 1930 la Rectoría de la Universidad se traslada al Antiguo Colegio de San Ildefonso. Es entonces cuando el inmueble se convierte en la Escuela de Iniciación Universitaria, escuela que en 1933 compartiría el edificio con la Escuela Nacional de Comercio y Administración. Es en 1935 cuando Patrimonio Universitario entrega la parte Norte y la esquina Noroeste a la Escuela Nacional de Odontología [2.12].

En 1954 se inaugura la Ciudad Universitaria, y como consecuencia, los antiguos edificios que sirvieron como unidad académica fueron desalojados para trasladarse paulatinamente a su nuevo edificio en Ciudad Universitaria.

En 1956 el Maestro Lázaro López restaura la sillería del paraninfo.

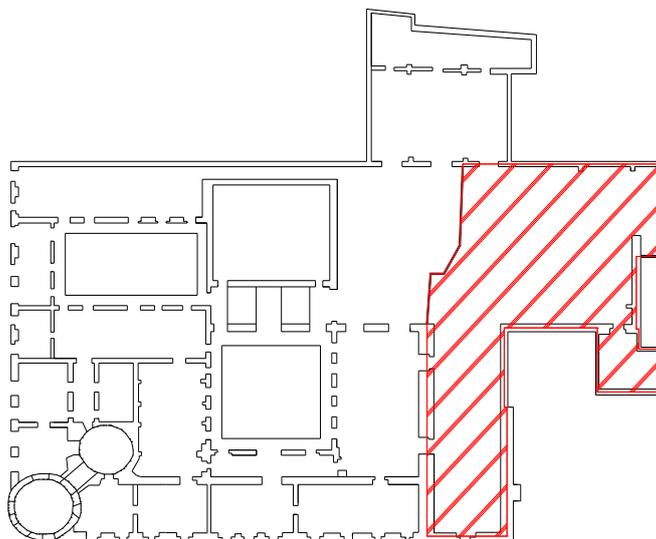
El edificio continuó en ocupación, ahora ocupado por la Escuela de Enfermería y Obstetricia y por la Escuela Nacional Preparatoria No. 2 “Dr. Erasmo Castellanos Quinto” (figura 2.21) [2.12].



**Figura 2.21. Fachada del Palacio de la Autonomía durante la estancia de la Escuela Preparatoria Dr. Erasmo Castellanos Quinto [2.14].**

La Preparatoria No 7, tuvo un paso fugaz por el edificio, estuvo solo de 1960 a 1964. El edificio continuó en servicio hasta 1978, cuando iniciaron los trabajos arqueológicos del Proyecto de Templo Mayor en los alrededores, motivo que influyó en el desalojo del inmueble.

Durante el periodo de abandono del inmueble, la zona que originalmente pertenecía a la iglesia de Santa Teresa la Antigua es devuelta, estimando esta área en 947 m<sup>2</sup> aproximadamente. La figura 2.22 muestra el área devuelta a la iglesia.



**Figura 2.22. Área patrimonio de la Iglesia de Santa Teresa la Antigua, que antes era ocupado para la Escuela Normal de Profesores.**

## 2.6. RESAURACIÓN DE 1981

A partir de 1978 el edificio queda desalojado, y a falta de mantenimiento con los años el deterioro comienza a ser evidente. De acuerdo con la referencia [2.15], con el Proyecto de Templo Mayor, se empezó a dar mantenimiento a las fachadas de los principales edificios del Centro Histórico, para devolverles su aspecto original, por lo cual se realizaron los siguientes trabajos únicamente en la fachada:

- Retiro de pintura en el rodapié y en cintillas
- Retiro de instalaciones, tuberías, letreros y reja de la puerta principal
- Retiro de malla ciclónica en ventanas
- Removieron la vegetación
- Consolidación de muros con falla estructural y acabados de las paredes
- Rejunteo de cantera
- Limpieza y rehabilitación de elementos de hierro
- Restitución de piezas de cantera

Con casi 20 años desocupado, el desgaste del inmueble era inminente, a pesar de haber intervenido la fachada, los interiores presentaban un desgaste importante. De la figura 2.23 a la 2.31 se muestran imágenes del deterioro en ciertos sectores del edificio.



**Figura 2.23. Deterioro del plafón eclético y de la pintura decorativa del Paraninfo [2.16].**



**Figura 2.24. Entrada al vestíbulo principal, muestra daños en columnas y escalera [2.16].**



**Figura 2.25. Daños en escalera del vestíbulo principal [2.16].**



**Figura 2.26.** Estado de la cúpula acristalada del vestíbulo principal [2.16].



**Figura 2.27.** Oxidación de la vigería del entresuelo en la zona del vestíbulo principal [2.16].



**Figura 2. 28. Estado de la fachada del Patio B [2.16].**



**Figura 2.29. Vista del Patio D y del edificio anexo, antes de las excavaciones [2.16].**



**Figura 2.30. Deterioro del edificio anexo [2.16].**



**Figura 2.31. Grieta en muro, se puede apreciar cala sobre este para determinar pintura muros o azulejos [2.16].**

Como se puede observar en las figuras anteriores, el interior del predio sufrió daños a causa de la humedad, se perdieron las molduras de yeso, se desprendieron algunos aplanados, mientras que la humedad provocó oxidación de la herrería y crecimiento de la vegetación. Los elementos de herrería como barandales, puerta principal, cúpula Noroeste y viguería del sistema de piso se vio afectada por la oxidación. La duela del vestíbulo principal y la sillería del paraninfo sufrieron de polilla y humedad, además en esta se afectó el plafón ecléctico y las pinturas decorativas. En la fachada se perdieron los vidrios, así como partes de cantera y algunas figuras de ornato [2.16].

Una de las cuestiones importantes, son los agrietamientos en muros colindantes con la esquina Noroeste, que son provocados por los hundimientos diferenciales, principal causa de los problemas estructurales del edificio.

## **2.7. PALACIO DE ODONTOLOGÍA**

En 1991 la Facultad de Odontología propone crear un patronato para rescatar el edificio e instalar el museo referente a la Odontología en México, puesto la Escuela Nacional de Odontología ocupó este edificio durante varios años. El patronato del Palacio de la Odontología se enfocó a conseguir los recursos para su rescate (razón por la cual el edificio tomó el nombre de Palacio de la Odontología) sin embargo no logro conseguir recursos suficientes, por lo que la Dirección General de Patrimonio Universitario evaluó su rescate.

Con la inminente intervención del edificio, se iniciaron los estudios del suelo bajo el Palacio de Odontología, ya que como se mencionó anteriormente, los daños encontrados dentro del inmueble se debieron en gran medida a las grietas debidas a los hundimientos diferenciales, por lo que definir la estratigrafía y las propiedades mecánicas fue necesario para revisar la estabilidad de la estructura.

Los estudios que mandó hacer la Dirección General de Patrimonio Universitario consistieron en un sondeo de cono eléctrico y un sondeo mixto, además de colocar piezómetros y realizar calas para conocer el tipo de cimentación, dimensiones y sus materiales constitutivos. La figura 2.32 muestra la localización de los estudios.



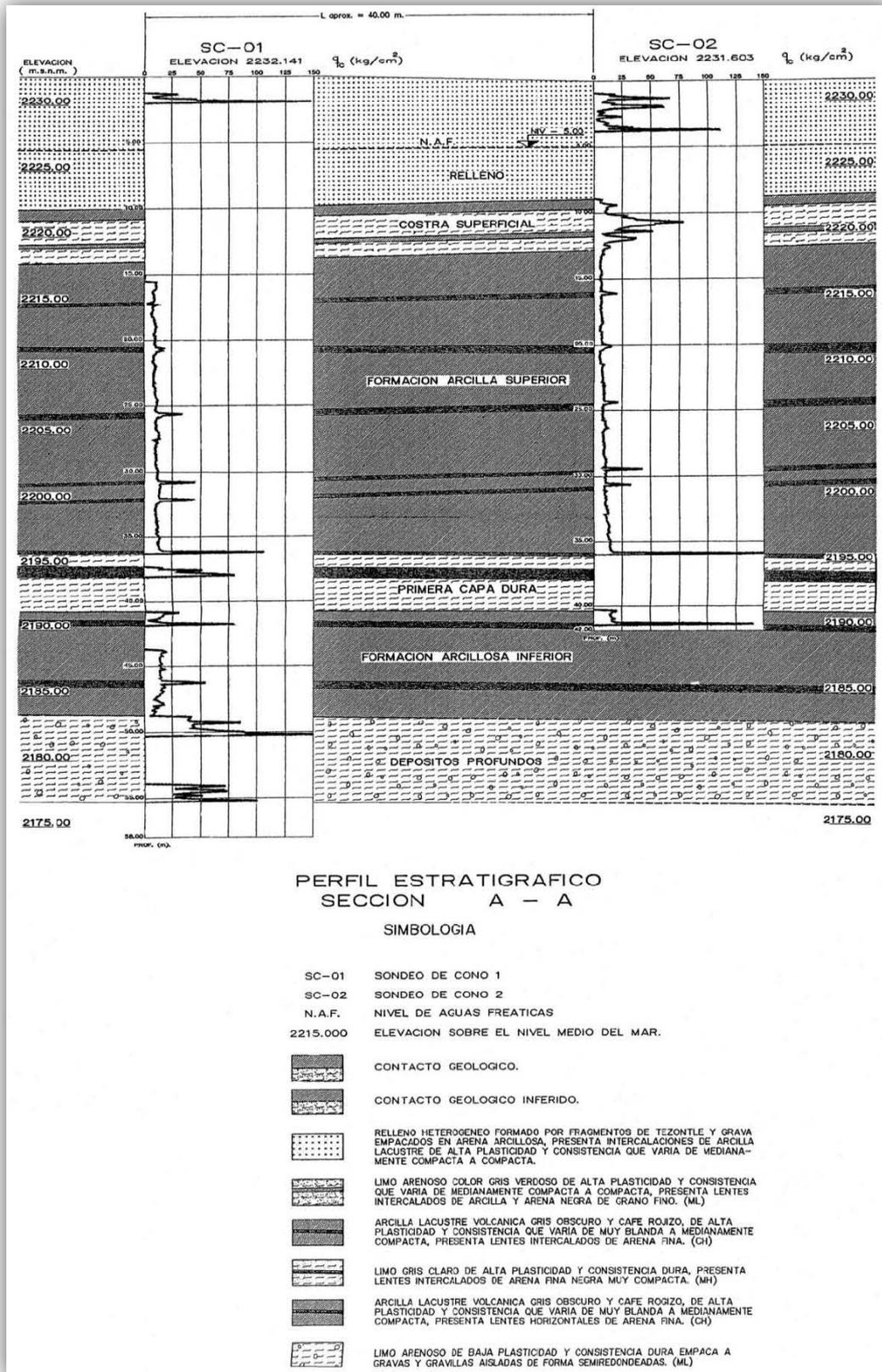
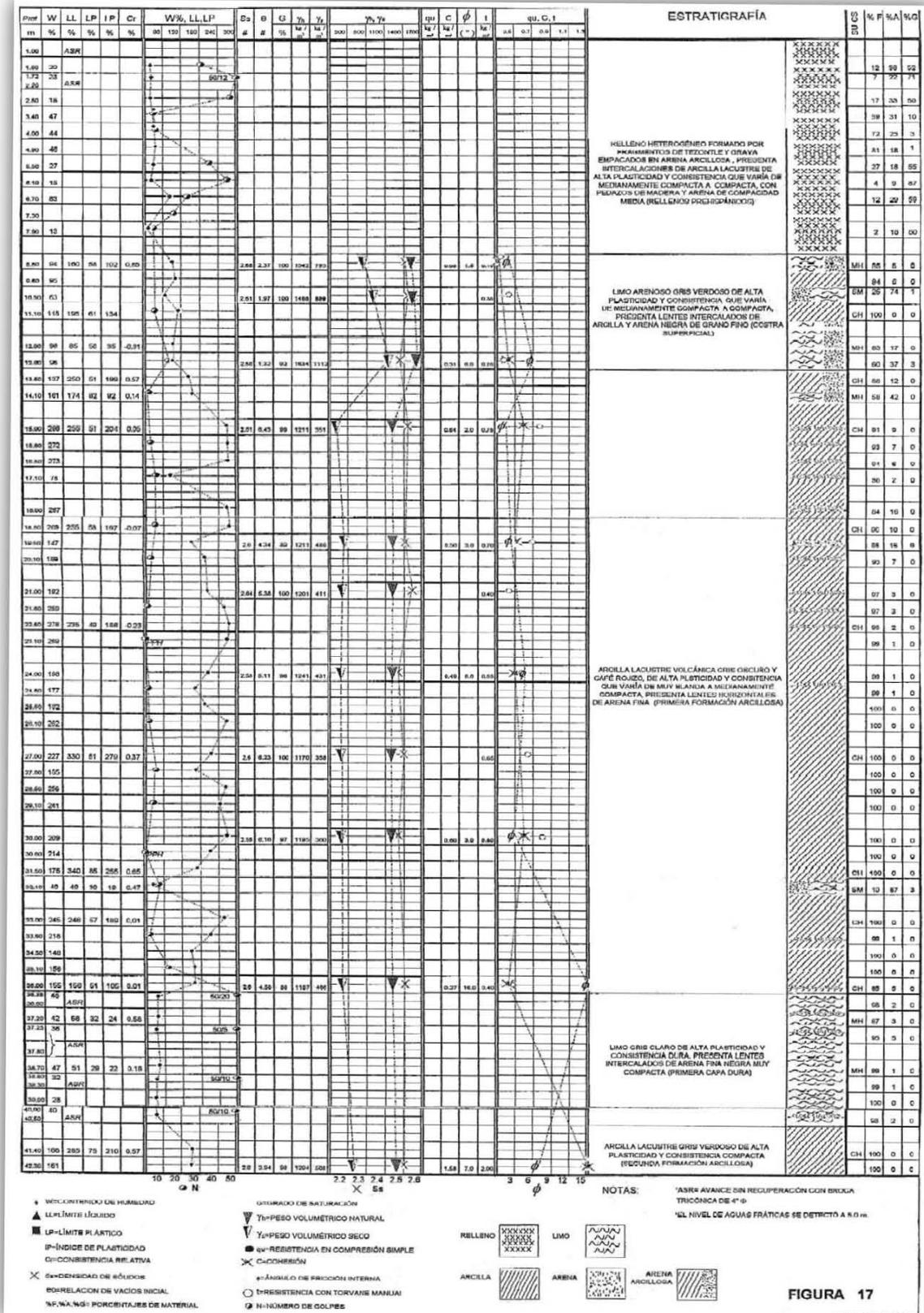


Figura 2.33. Resultados de los sondeos de cono eléctrico [2.16].



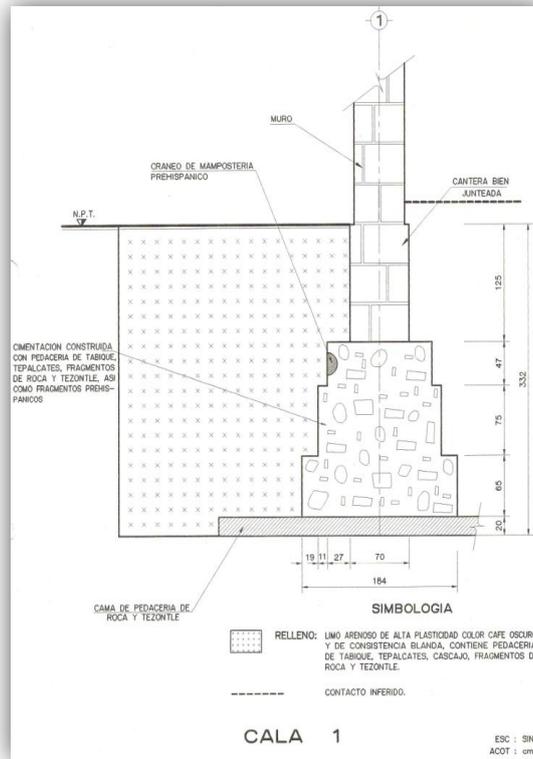


Figura 2.35. Levantamiento de la cimentación en calca 1 [2.16].

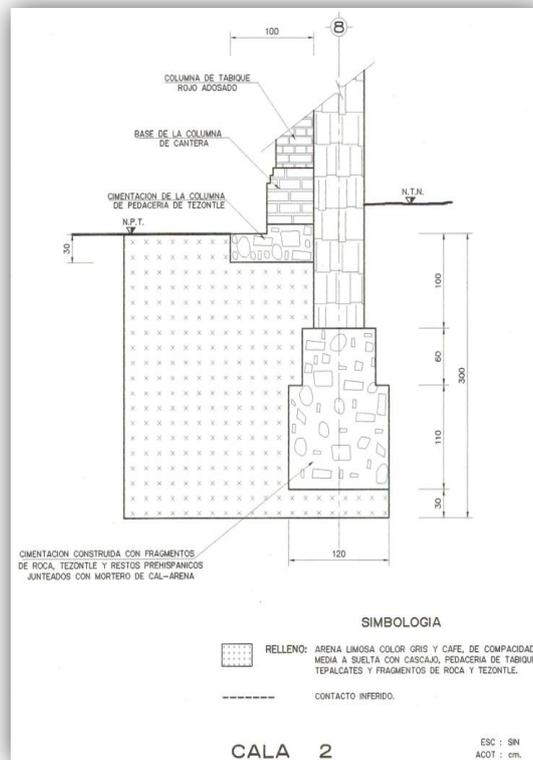


Figura 2.36. Levantamiento de la cimentación en la calca 2 [2.16].

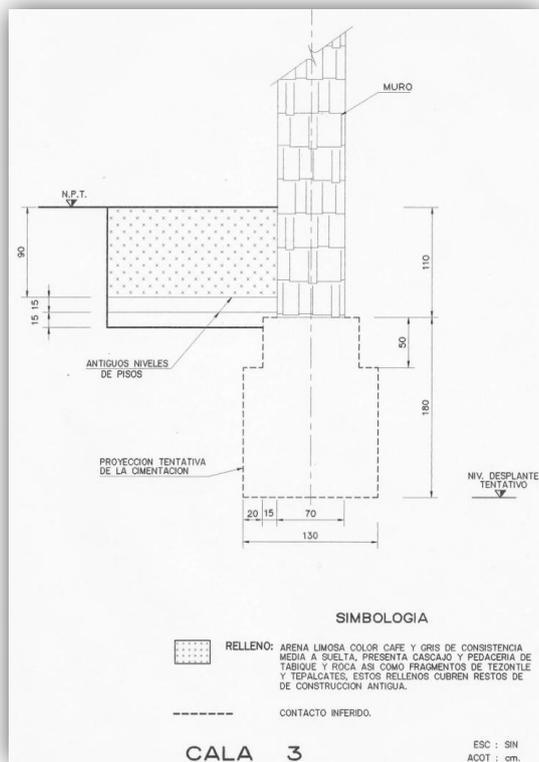


Figura 2.37. Levantamiento de la cimentación en la calca 3 [2.16].

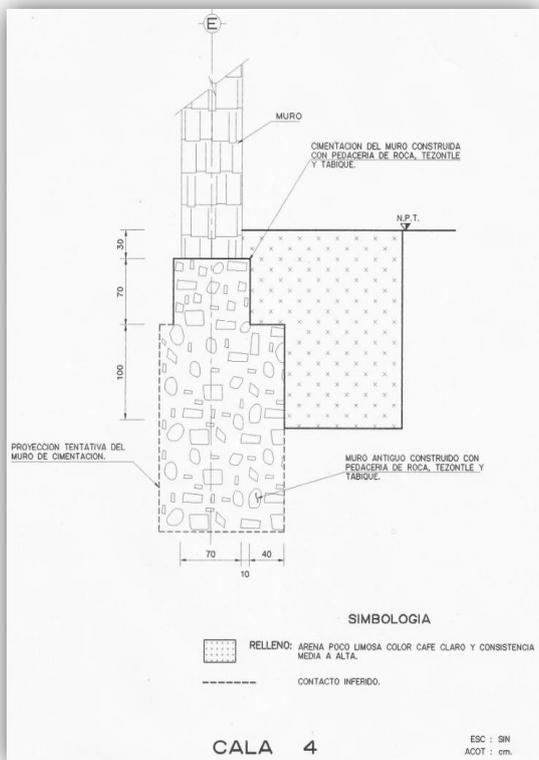


Figura 2.38. Levantamiento de la cimentación en la calca 4 [2.16].

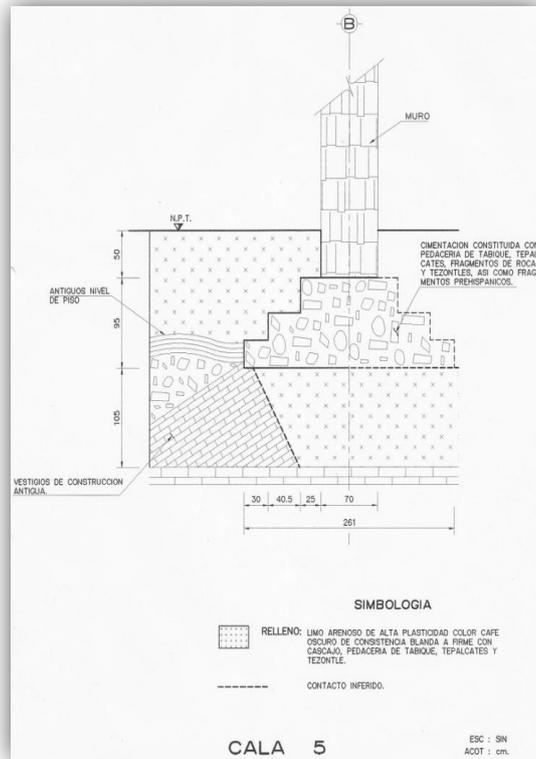


Figura 2.39. Levantamiento de la cimentación en la cala 5 [2.16].

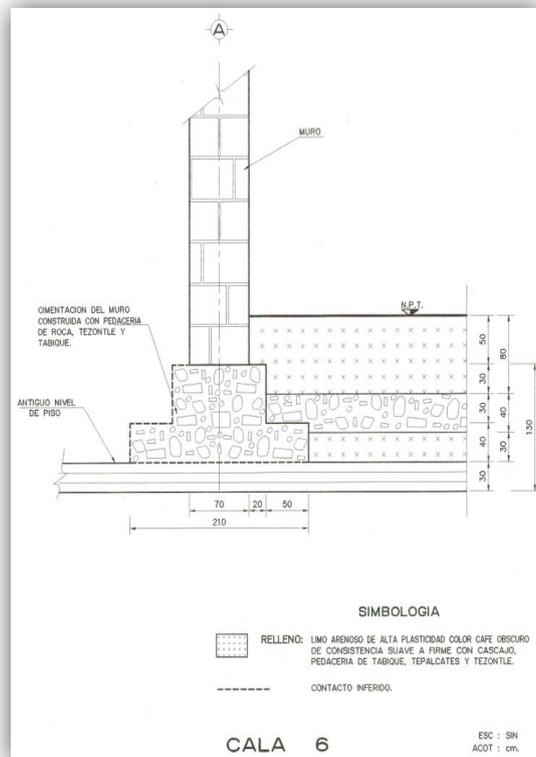
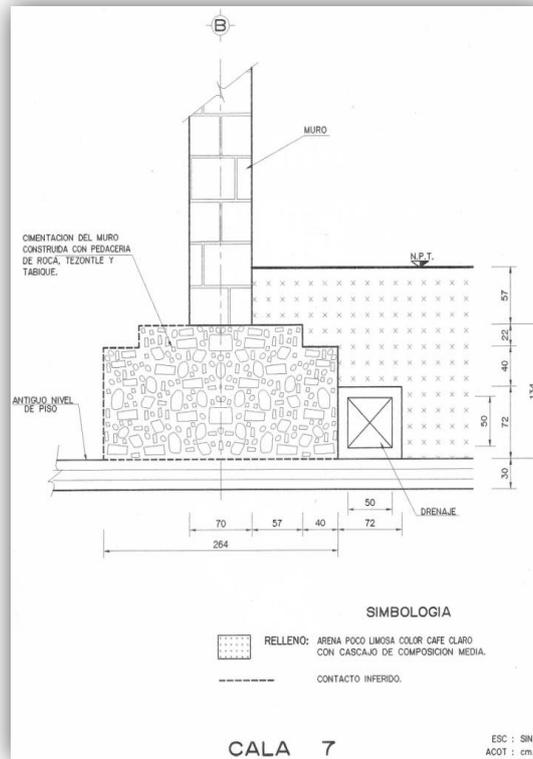


Figura 2.40. Levantamiento de la cimentación en la cala 6 [2.16].



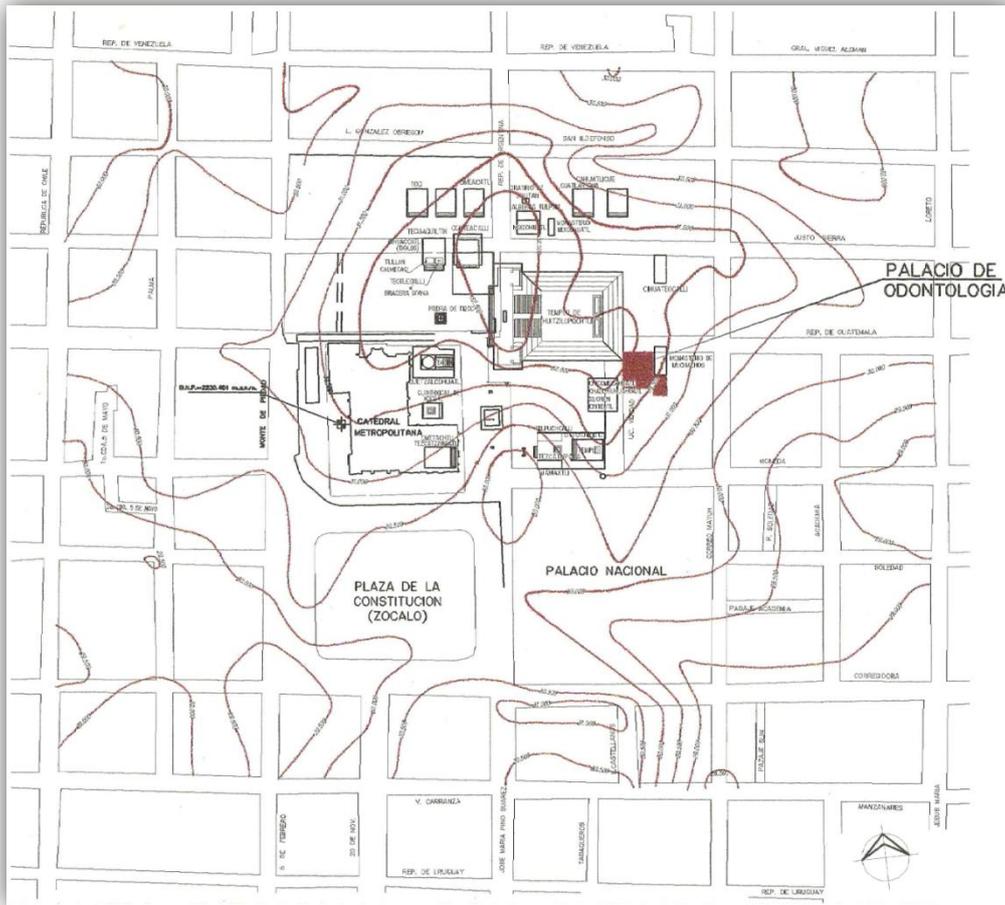
**Figura 2.41. Levantamiento de la cimentación en la cala 7 [2.16].**

Con el resultado de los trabajos se determinó que la cimentación es una zapata corrida, constituida de mampostería (basalto, tezontle, tabique y mortero), con dimensiones muy inestables, desplantada a diferentes profundidades sobre antiguas construcciones o sobre potentes rellenos [2.16].

Para revisar la estabilidad de la cimentación, en 1999 realizaron una revisión por estado límite de falla, con los lineamientos del reglamento vigente en aquel entonces, obteniendo resultados positivos. También realizaron el cálculo la capacidad de carga admisible de la zapata, determinando su resistencia en  $20^{\text{ton}}/\text{m}^2$ , considerándolo al suelo inmediato inferior como cohesivo-friccionante [2.16].

Durante la realización de los sondeos de cono eléctrico, se instalaron estaciones piezométricas del tipo abierto a una profundidad de 29.50m, 37.80m y 53.50m, con la intención de conocer las pérdidas de agua intersticial de los mantos acuíferos subterráneos y poder calcular la presión de poro [2.16].

La figura 2.42 muestra las curvas de nivel en la zona del Centro Histórico, se puede observar que la esquina Noroeste es la zona más elevada del edificio, no así la zona Suroeste, donde se muestran una elevación menor, diferencia que se aproxima a los 50 cm entre ambas esquinas del edificio.



**Figura 2.42. Curvas de nivel en el Centro Histórico [2.16].**

Para revisar el estado límite de servicio a corto y largo plazo se iniciaron las nivelaciones al mismo tiempo que la remodelación, para medir la vulnerabilidad del edificio con respecto a los hundimientos diferenciales. Las nivelaciones están referidas al Banco de Nivel Profundo de la Catedral Metropolitana (BNP) que se encuentra a 2230.030m.s.n.m, además de contar con tres Bancos de Nivel Superficial (BNS), la figura 2.43 muestra la distribución de estos.

Las nivelaciones a cargo del proyecto de remodelación iniciaron el 12 de Diciembre de 1997, con periodos de mediciones a cada dos meses. Las primeras curvas de nivel medidas hasta el 7 de febrero del 2000 se presentan en la figura 2.44 y el resumen de los resultados se muestra en la Tabla 2.1.



Figura 2.43. Localización de los bancos de nivel [2.16].

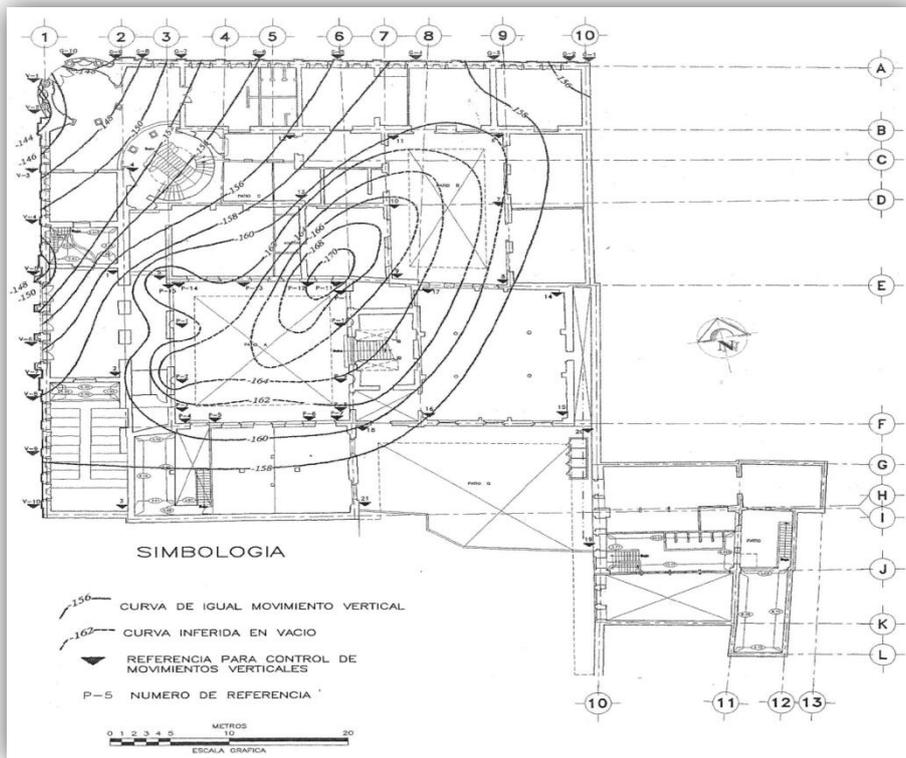


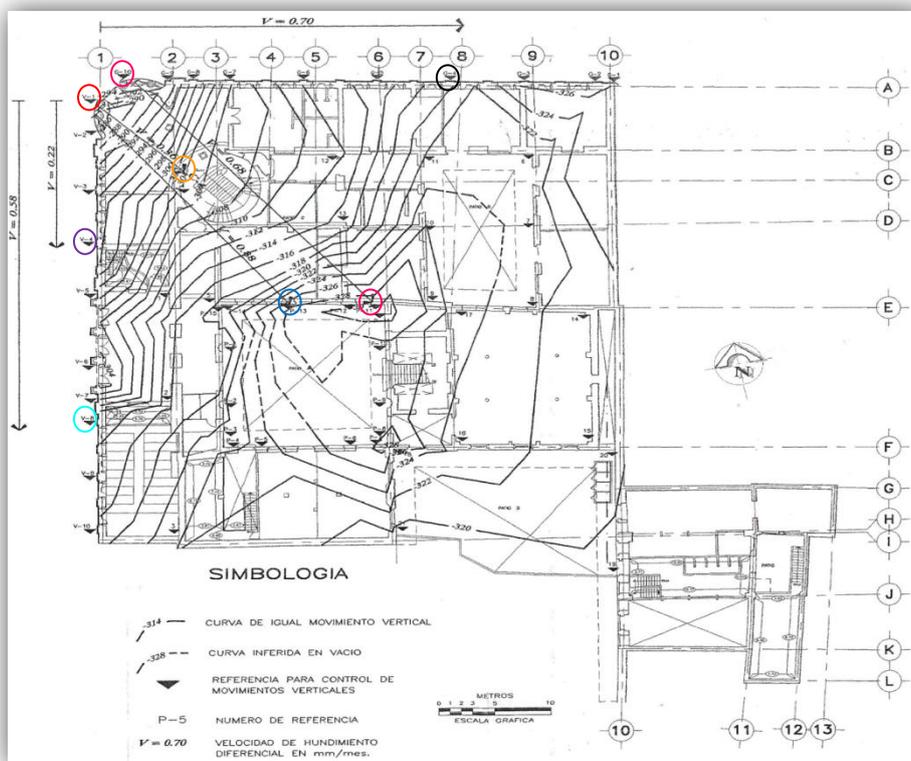
Figura 2.44. Curvas de igual movimiento vertical acumulado, del 12 de diciembre de 1997 al 7 de febrero del 2000, acotaciones en mm [2.16].

**Tabla 2.1. Tendencias y deformaciones medidas en el periodo comprendido del 12 de diciembre de 1997 al 7 de febrero del 2000 [2.16].**

Zona	Patrón de deformación	Hundimientos medidos, en mm		Hundimiento diferencial (mm)	Vel. de hundimiento dif. (mm/mes)
		Lado	Lado		
NO	Esquina NO hacia la parte central	Esquina NO = 144	Central = 170	26	0.99
NE	Esquina NE hacia la parte central	Esquina NE = 155	Central = 170	15	0.57
SO	Esquina SO hacia la parte central	Esquina SO = 158	Central = 170	12	0.46
SE	Esquina SE hacia la parte central	Esquina SE = 158	Central = 170	12	0.46

Los resultados anteriores muestran que el centro del edificio es el lugar que mayor hundimientos presentó con 170mm, sin embargo los estudios mostraron que existe un hundimiento diferencial, entre la esquina noroeste y el centro, de 26mm en una distancia de 31 m, a una velocidad de  $1.00^{mm}/mes$ . Por esta razón, se consideró necesario efectuar nivelaciones periódicas al edificio [2.16].

La medición de los hundimientos acumulados en el edificio terminaron el 25 de Enero de 2002, ahí se resaltó la influencia que ejerce la esquina Noroeste del edificio, siendo esta una referencia obligada. Las curvas se presentan en la figura 2.45 y resultados se muestran en la tabla 2.2.



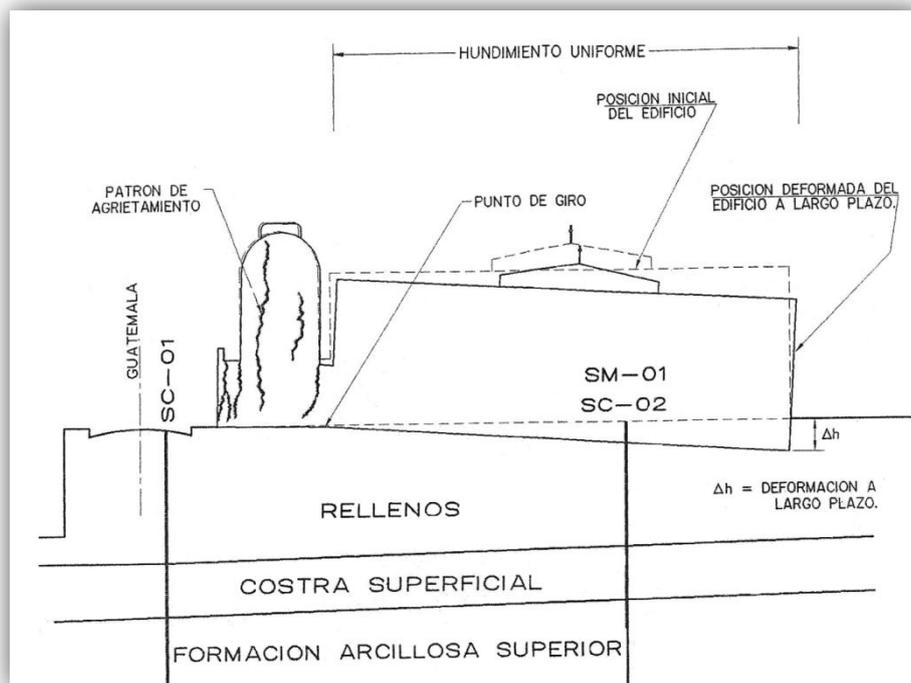
**Figura 2.45. Curvas de igual movimiento vertical acumulado, del 12 de diciembre de 1997 al 25 de enero de 2002, acotaciones en mm [2.16].**

Zona	Patrón de deformación	Hundimientos medidos en mm.		Hundimiento diferencial en mm.	Velocidad de hundimiento diferencial, en $\text{mm}/\text{mes}$
		Referencia topográfica	Referencia topográfica		
NO	Esquina NO hacia la parte central	V-1 285	P-13 329	44	0.88
NO	Esquina NO hacia la columna C-4	V-1 285	C-4 303	18	0.36
NO	Esquina NO hacia la parte central	G-10 296	P-11 330	34	0.68
NO	Esquina NO hacia la parte Oriente	V-1 285	G-4 320	35	0.7
NO	Esquina NO hacia la parte sur	V-1 285	V-8 314	29	0.58
NO	Esquina NO hacia la referencia topográfica V-4	V-1 285	V-4 296	11	0.22

**Tabla 2.2. Tendencias y deformaciones medidas entre el 12 de Diciembre de 1997 y 25 de Enero de 2002 [2.16].**

Los resultados de las nivelaciones muestran que el centro del edificio continúa siendo el lugar que más se hunde, muy a la par de la esquina Sureste, por el contrario la esquina Noroeste presenta un hundimiento menor, con lo que se confirma que los hundimientos diferenciales entre estas dos aristas están influyendo en el mal comportamiento de la estructura [2.16].

A partir de los resultados obtenidos con los estudios geotécnicos, se estimó que de no mitigar los hundimientos diferenciales, el edificio seguiría perdiendo la verticalidad. La figura 2.46 muestra el comportamiento provocado por los hundimientos diferenciales en el Palacio de la Autonomía.



**Figura 2.46. Deformación a largo plazo del Palacio de la Autonomía [2.16].**

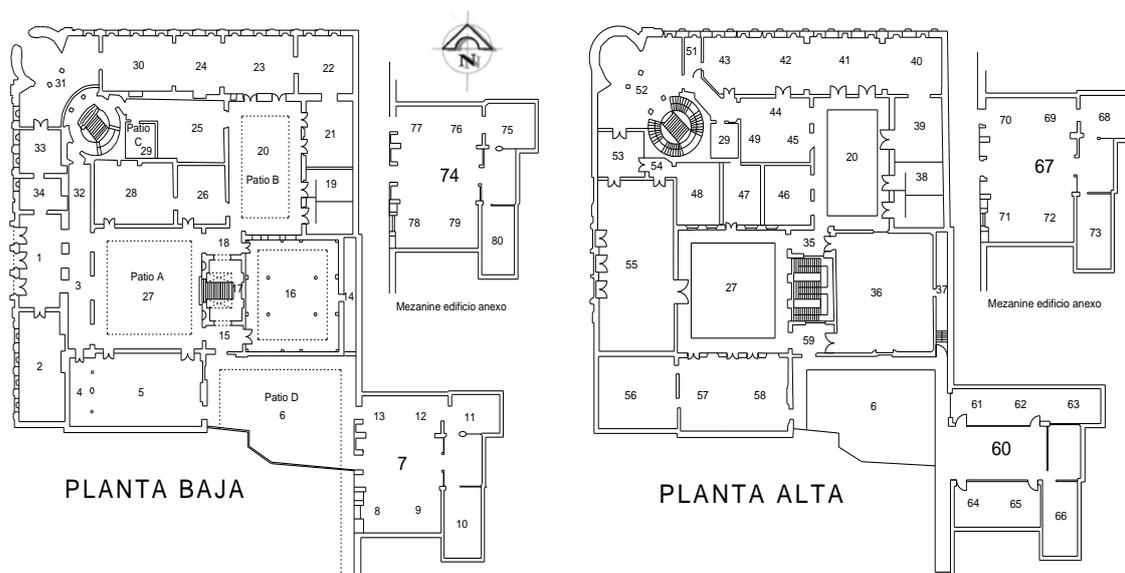
Como ya se ha visto, los hundimientos diferenciales en el inmueble están causando daños estructurales, por lo que se han presentado propuestas, como la de colocar un sistema de pozos de inyección de agua a los mantos acuíferos, ya que en general, la extracción de agua del subsuelo para abastecer a la población, está causando que los hundimientos regionales aumenten considerablemente. Se han considerado también la colocación de diversos tipos de pilotes, pero representan un alto costo y el cierre temporal de las actividades del inmueble.

El Patronato del Palacio de Odontología firma un acuerdo con la UNAM para establecer los lineamientos generales para la restauración, sin embargo el patronato no contaba con un proyecto definido, por lo que la Dirección General de Patrimonio Universitario analizó otras opciones, una de las cuales presentó el Instituto Francés para América Latina, para establecer la “Casa de Francia en México” como centro de difusión de la cultura y aprendizaje de idiomas, propuesta rechazada por proponer el uso total del edificio.

## 2.8. RESTAURACIÓN DE 1997

Las obras iniciaron en 1997, a pesar de que el Patronato del Palacio de Odontología se retiró, y durante la restauración el destino del edificio cambió en gran medida por los hallazgos arqueológicos.

A continuación se presentan algunos trabajos hechos en esta restauración, información proporcionada por la referencia [2.16]. Para tener mejor referencia de la localización de algunos locales, se presentan la figura 2.47.



**Figura 2.47. Planos en planta del Palacio de la Autonomía con referencias de los locales [2.16].**

En las fachadas se retiró la vegetación, se repararon los marcos de madera y se repusieron los vidrios, se revisó el estado de la cantera sustituyendo las piezas rotas y colocando las faltantes.

En los espacios interiores del inmueble se retiraron los acabados, con la finalidad de encontrar agrietamientos, no sin antes hacer calas en ellos para la búsqueda de pinturas murales, o acabados de cerámica de otras épocas de ocupación. Los nuevos acabados interiores fueron de una mezcla de mortero de cal-arena-cemento en proporción 1:3:0.1.

Debido al deterioro de las piezas de yesería ornamental, fue necesario fabricarlas con moldes de silicón, y las piezas que se conservaron necesitaron tratamiento especial.

En la vigería de los sistemas de piso se realizó una limpieza con carda y tratamiento contra la corrosión, puesto que estas fueron reutilizadas para esta restauración. Cabe aclarar que existieron losas de concreto las cuales fueron removidas, y que se utilizaron nuevos sistemas de piso además de la lámina acanalada.

Para mitigar las filtraciones de agua que existen en las colindancias, se propuso el uso de drenes de cobre B5/15 en los muros.

Los hundimientos diferenciales que presenta el edificio, provocaron agrietamientos que dañaron algunos muros (figura 2.48), los cuales tuvieron que ser inyectados lechada de mortero de cal o con emulsión epóxica (figura 2.49).



**Figura 2.48. Reparación de la grietas con inyecciones de emulsión epóxica en muros de mampostería [2.16].**

El patio B también tuvo intervenciones, las cuales consistieron en la construcción de una cisterna, y dado el descubrimiento de vestigios arqueológicos del siglo XVI, colocaron un piso falso de cristal para fungir como ventana arqueológica. Además se realizó la nivelación y rescate del piso.

Otro aspecto importante es la construcción de un elevador y escaleras de servicio en el patio C.

En el interior del paraninfo se sustituyeron los aplanados, se instaló un piso de duela de madera, se restauraron las pinturas murales, así como la sillería de madera, se arreglaron las ventanas que dan hacia la calle de Lic. Verdad y se colocó un nuevo plafón falso de medio cañón.

En el paraninfo se reemplazó el sistema de piso de la cubierta (figura 2.50), siendo necesario tapiar la parte frontal para proteger las pinturas existentes (figura 2.51). El nuevo sistema colocado se llama losacel, el cual trabaja con pequeñas armaduras, placas de poliestireno y un firme de concreto (figura 2.52), las cuales reducen peso proporcionan el peralte necesario.



**Figura 2.50. Demolición del sistema de cubierta del paraninfo [2.16].**



**Figura 2.51. Tapiado del muro frontal del paraninfo, puede observarse el deterioro del plafón ecléctico [2.16].**



**Figura 2.52. Sistema losacel utilizado en el paraninfo [2.16].**

Todos los elementos de herrería, fueron analizados por la Facultad de Química para determinar que se encontraban en buen estado, posteriormente se utilizó una carda para quitarles el oxido y repusieron las partes faltantes, esto se aplico en barandales, puerta y cúpula acristalada del vestíbulo principal (figura 2.53). A esta última se le colocó acabado epóxico y posteriormente un tapiz tipo cristal de 5mm de espesor (figura 2.54).

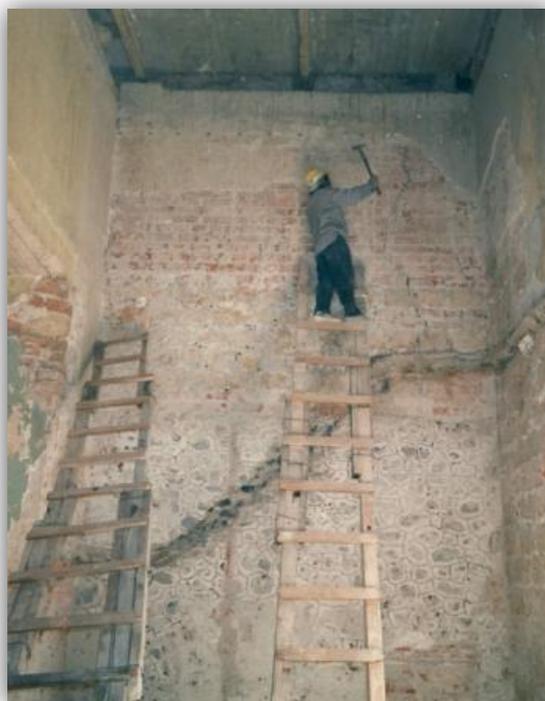


**Figura 2.53. Restauración de la cúpula acristalada del vestíbulo principal [2.16].**



**Figura 2.54. Colocación del tapiz tipo cristal en cúpula del vestíbulo principal [2.16].**

Las calas arqueológicas sobre los muros, tuvo como resultado el descubrimiento de pintura mural en los locales 57, 58 y 80. Con las demoliciones de los aplanados quedaron al descubierto los vestigios de un arco en el local 2, arco que se cree comunicaba con la Iglesia de Santa Teresa, y de una escalera en el local 59 (figura 2.55).



**Figura 2.55. Eliminación de aplanados en local 59, se observa que el muro está constituido de piedra, tezontle, tepetate y tabique, además de los restos de una escalera [2.16].**

Como ya se ha mencionado, en el local 16 se llevó a cabo una excavación intensiva, donde se encontraron vestigios de diferentes épocas, motivo por el cual se colocó una ventana arqueológica, la que consiste en un piso falso de cristal (figuras 2.56 y 2.57).



**Figura 2.56. Local 16 antes de las excavaciones, se observan las columnas que existen desde la Escuela Normal para Profesores [2.16].**



**Figura 2.57. Local 16 antes de colocarse la ventana arqueológica, se observan algunos vestigios arqueológicos del convento de Santa Teresa [2.16].**

En el local 36 se construyó un auditorio, además que se cambió la losa siporex por una cúpula. Esta cúpula está hecha a base de una estructura metálica (figura 2.58), recubierta con hojas de triplay, posteriormente colocaron una malla e impermeabilizante asfáltico, y para terminar una capa de enladrillado. En la linternilla se puso un concreto ligero y cristales laterales.



**Figura 2.58. Estructura de la cúpula con linternilla en la parte superior [2.16].**

En el patio D se arreglaron los muros de las colindancias además se reconstruyeron los pasillos del segundo piso. La figura 2.59 muestra la demolición de los cuartos para realizar la excavación extensiva.



**Figura 2.59. Derribo de muros en el Patio D, para realizar la excavación extensiva [2.15].**

La intervención en el edificio anexo (figura 2.60) fue drástica, se demolieron sus sistemas de piso, cubierta y muros casi en su totalidad. El piso que en esta parte del edificio eran de concreto armado, fueron cambiados por un sistema losacero. Además en el edificio anexo se colocó un pequeño domo con cubierta acristalada en el Patio E (figura 2.61), se reconstruyeron los muros, se colocaron los acabados, se construyó una escalera metálica en el local 10, además se introdujo un séptico para la colocación de muebles sanitarios en el mismo espacio.



**Figura 2.60. Estado del edificio anexo al comienzo de la restauración [2.16].**



**Figura 2.61. Colocación de estructura metálica en patio E antes de la colocación de su cubierta tipo cristal [2.16].**

En el local 4 y 5, se reemplazó la lámina acanalada y se colocó un sistema de cubierta del tipo losacero, además de que se demolió un muro y se detectaron unas columnas metálicas recubiertas de concreto mediante una cala en la base. Esta capa de concreto fue retirada para volver su estado original (figura 2.62). A las columnas metálicas se les construyó un capitel, además de un refuerzo estructural en su base y un zuncho para evitar el pandeo.



**Figura 2.62. Retiro de concreto en columna metálica [2.16].**

En el vestíbulo principal (local 52) se realizó la limpieza a base de ceras de la duela de madera, además de reconstruir su perímetro que se encontraba dañado por la humedad. Se restablecieron las molduras ornamentales de yeso, se repuso el plafón, se realizó la limpieza de ventanas y rehabilitado de sus marcos, además de la reconstrucción de la escalera circular (figura 2.63) la cual utilizó el sistema losacero, con escalones terminados en mármol. Además se limpiaron los barandales y se restauraron los pasamanos de madera. La cúpula escamada también fue intervenida, ya que presentaba desprendimientos a causa de la oxidación, sustituyendo sus láminas de zinc por láminas de acero.



Figura 2.63. Restitución de la escalera en el vestíbulo principal [2.16].

Algunas intervenciones en los muros se presentan en la figura 2.64, donde se puede apreciar la demolición de muros para rescatar espacios originales

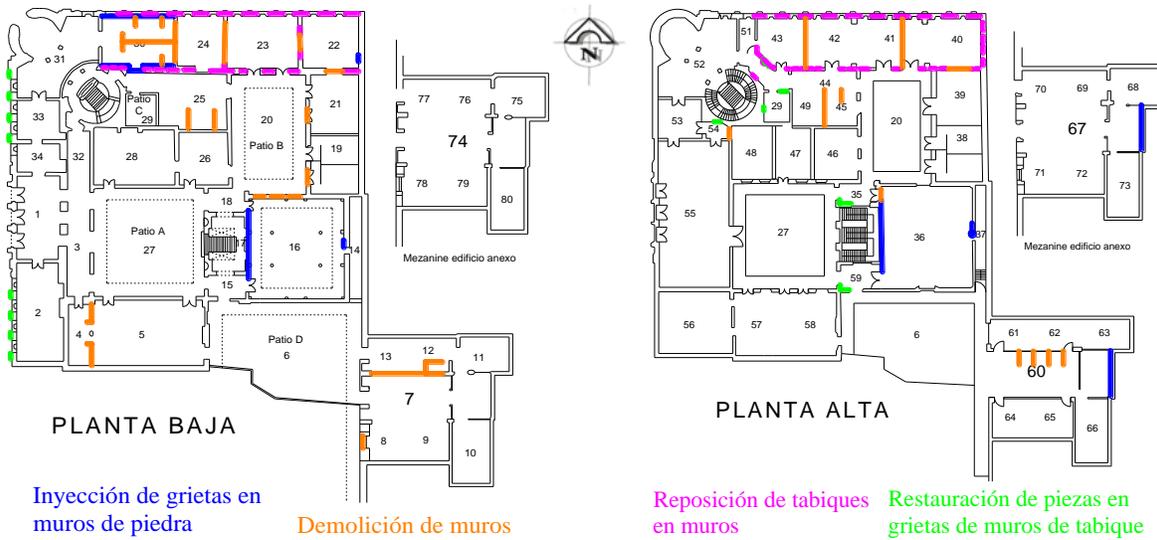


Figura 2.64. Intervenciones generales a muros en la intervención de 1997 al Palacio de la Autonomía [2.16].

## 2.9. PALACIO DE LA AUTONOMÍA

Al terminar los trabajos de restauración en 2004, el Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) el Doc. Juan Ramón de la Fuente inaugura el edificio como Palacio de la Autonomía (figura 2.65), con motivo del 75 aniversario de la Declaración de la Autonomía Universitaria.



**Figura 2.65. Palacio de la Autonomía en 2004 [2.18].**

Este edificio contiene algunas instalaciones externas del Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras de la UNAM y de la Fonoteca de Radio UNAM. También cuenta con exposiciones temporales y permanentes, como el Museo de la Odontología Mexicana y el Museo de la Autonomía Universitaria. Las figuras 2.66 y 2.67 muestran los planos del Palacio de la Autonomía.

Tiempo después de la inauguración comenzaron a presentarse agrietamientos en el edificio, por lo que la Dirección General de Patrimonio Universitario solicita una evaluación de la seguridad estructural al Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El análisis hecho por el Instituto de Ingeniería se basó en estudios geotécnicos hechos en 1995 como el más próximo antecedente. Dentro de estos estudios se encontraron perfiles topográficos de las fachadas (figuras 2.68 y 2.69), donde se aprecia que en la fachada Oeste existe un hundimiento diferencial de más de 1m con pendiente hacia el Sur; en cuanto a la fachada Norte existe solo 40cm

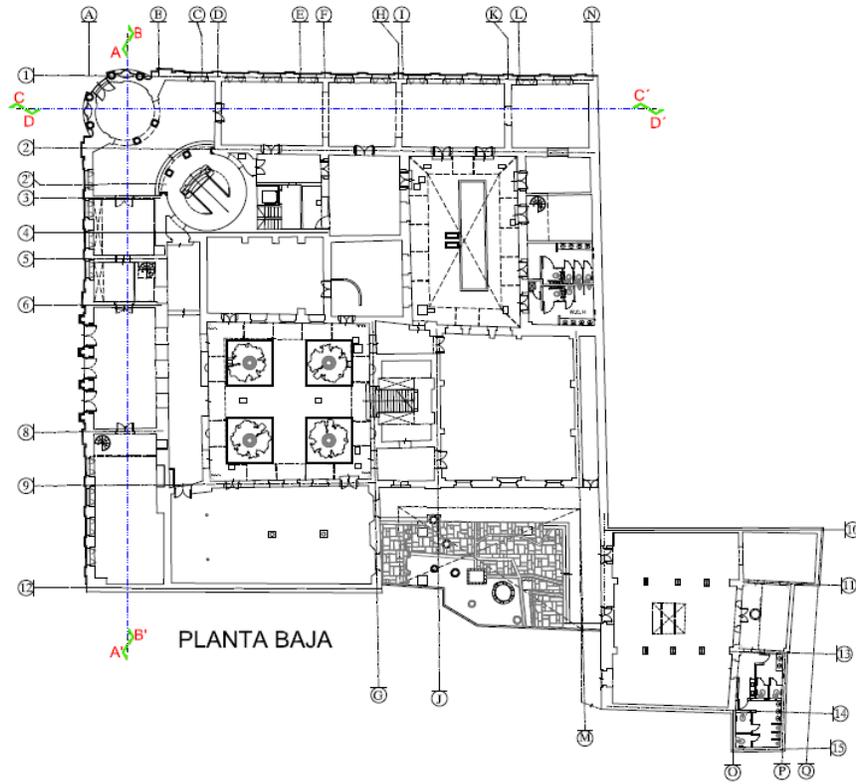


Figura 2.66. Planta baja del Palacio de la Autonomía (2004) [2.16].

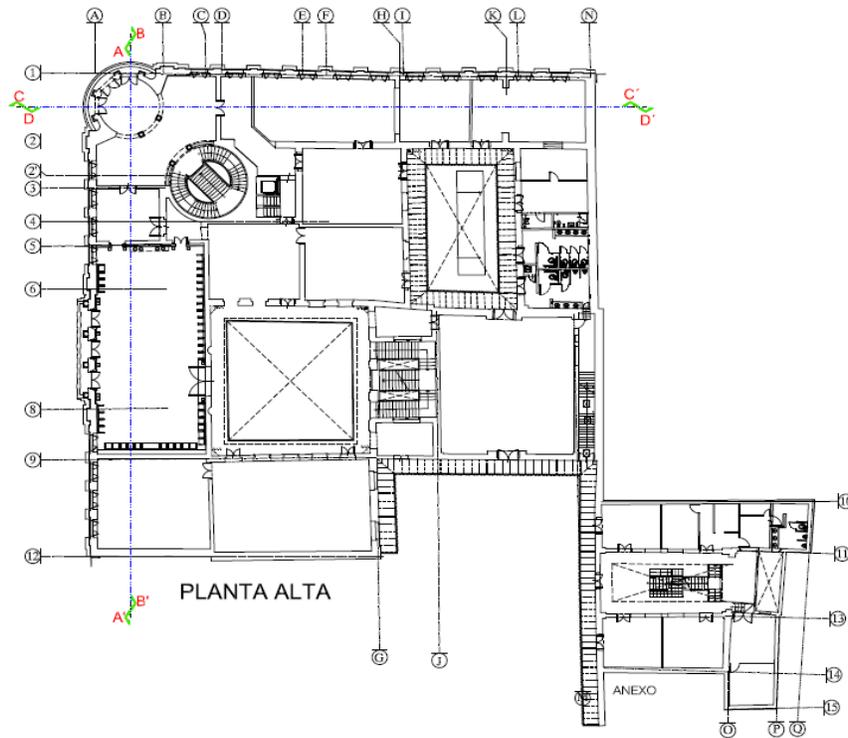


Figura 2.67. Planta alta del Palacio de la Autonomía (2004) [2.16].

de hundimiento diferencial con pendiente hacia el Este [2.17]. La figura 2.70 muestra el levantamiento de grietas en planta hecho en 1995 a causa de los hundimientos diferenciales.

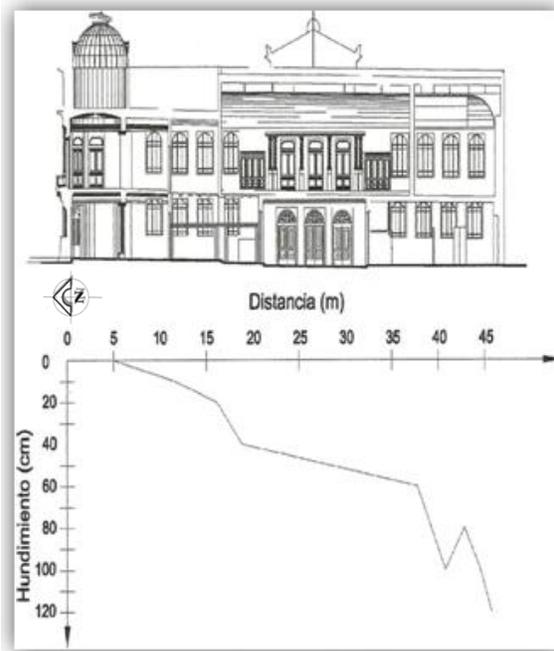


Figura 2.68. Perfil topográfico de la base en fachada Oeste, corte A – A' [2.17].

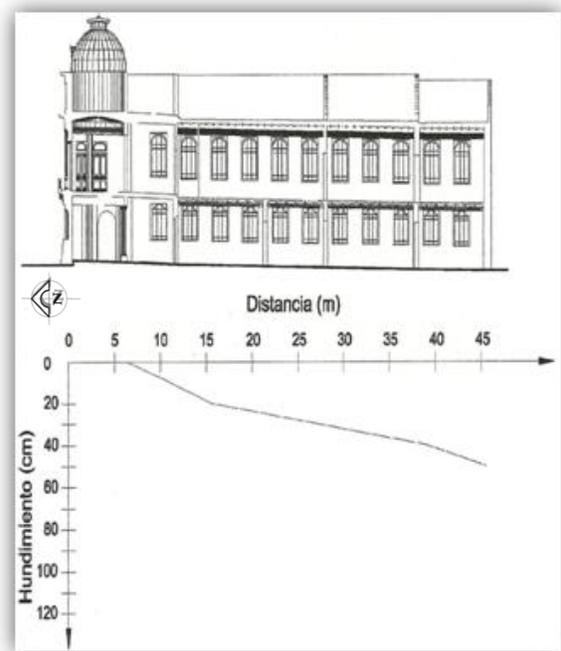


Figura 2.69. Perfil topográfico de la base en fachada Norte, corte C – C' [2.17].

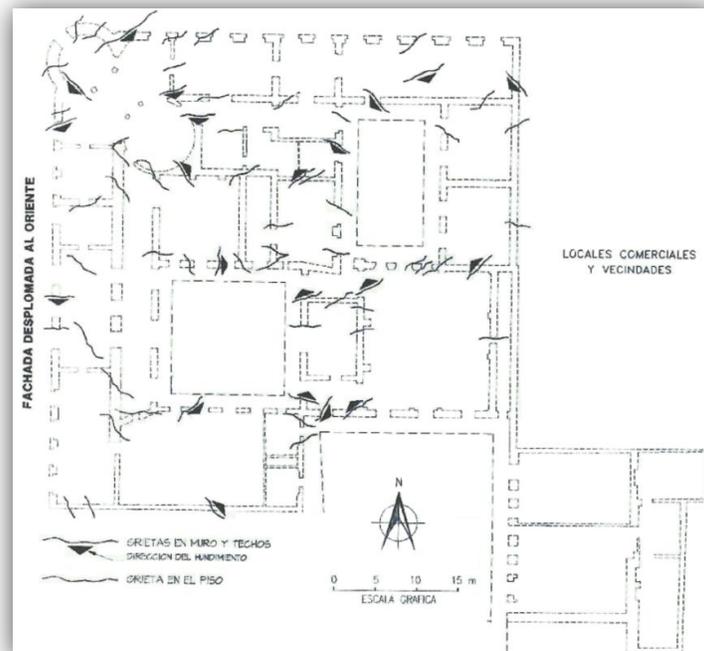
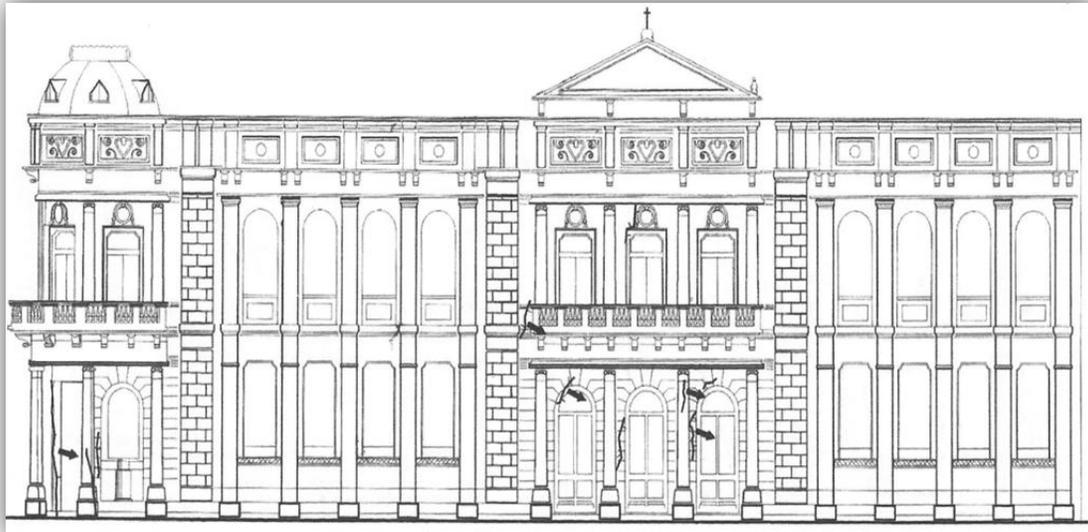
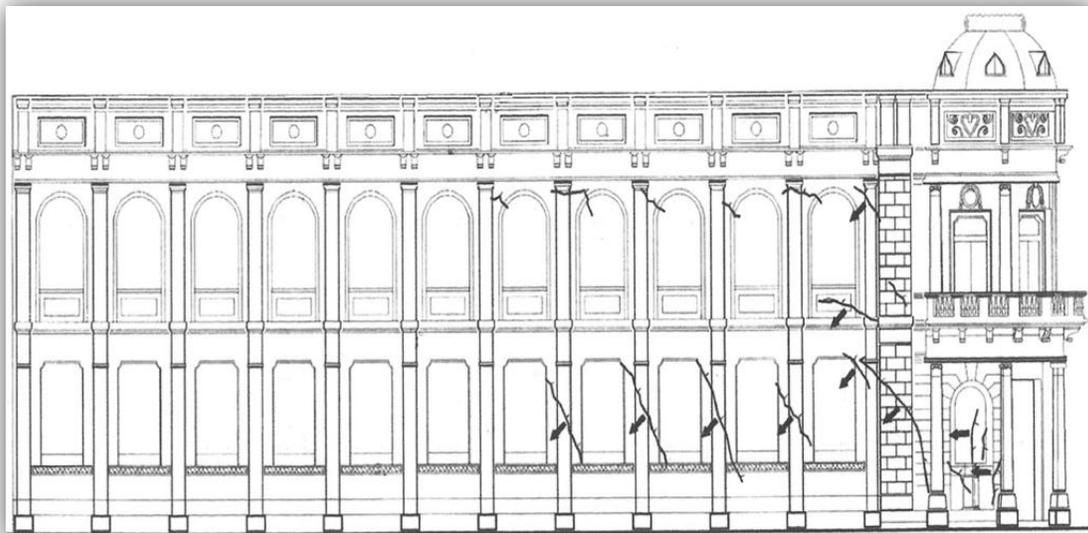


Figura 2.70. Levantamiento de grietas en planta del Palacio de la Autonomía (1995) [2.17].

Las figuras 2.71 y 2.72 presentan el levantamiento de grietas de las fachadas del Palacio de la Autonomía en 1995.



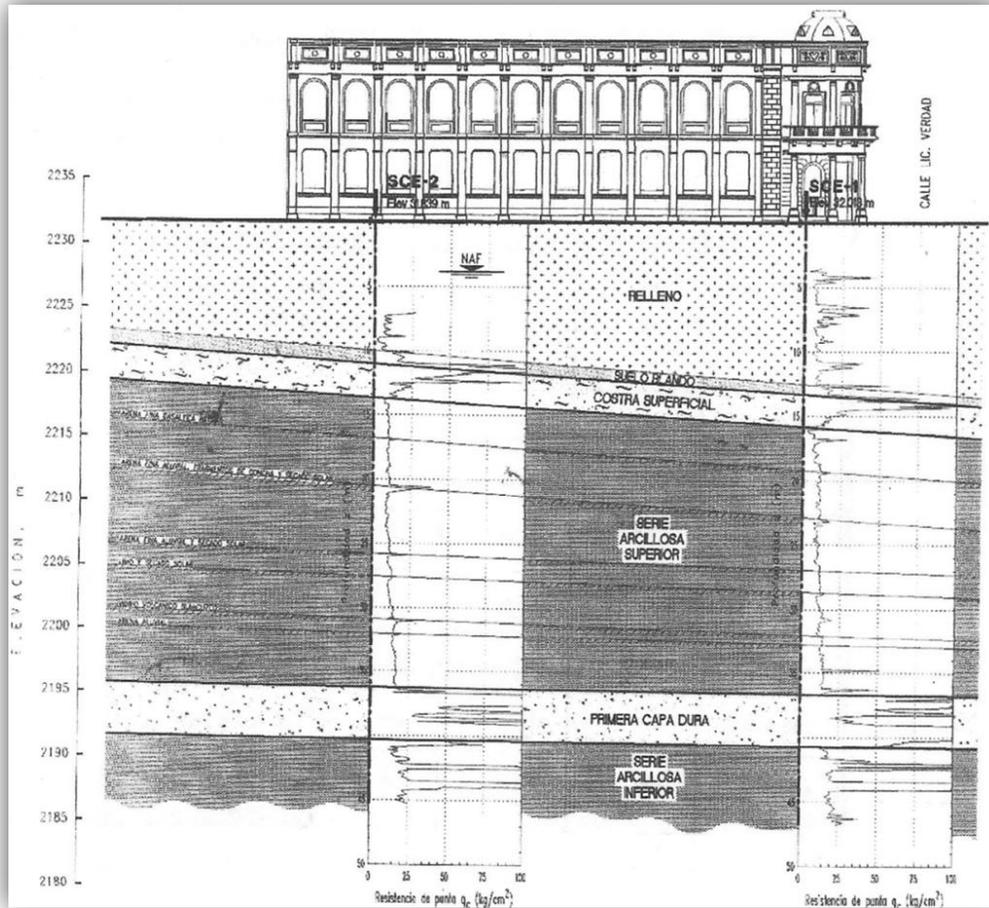
**Figura 2.71. Levantamiento de grietas en fachada Oeste, (1995) [2.17].**



**Figura 2.72. Levantamiento de grietas en fachada Norte, (1995) [2.17].**

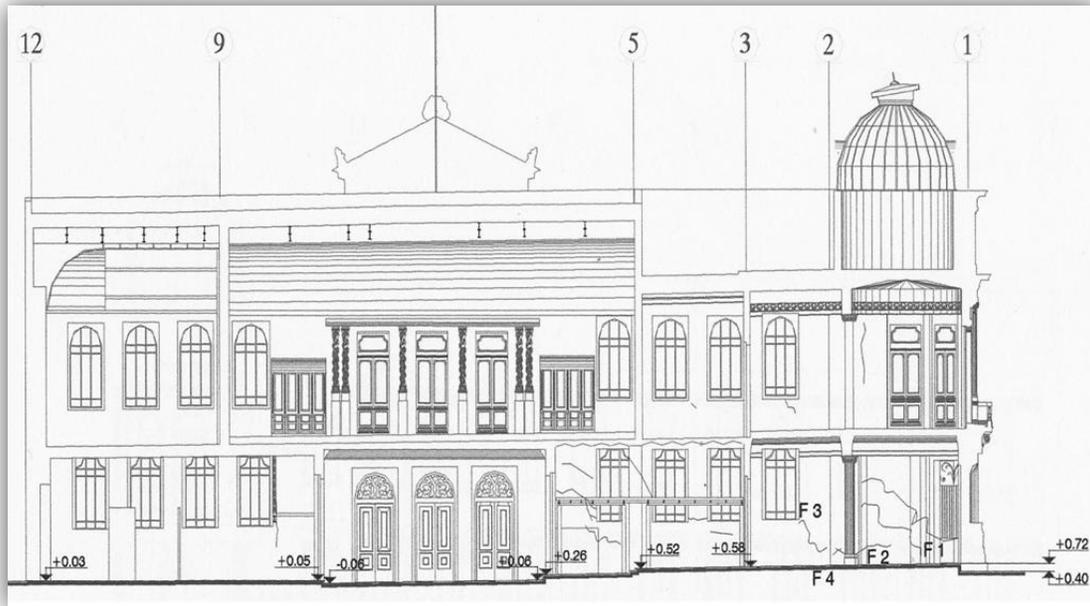
Las grietas en las fachadas muestran que el edificio se está separando de la esquina noroeste, ya que la mayoría se presenta en las inmediaciones de esta zona. A pesar de no ser la zona con mayor hundimientos diferenciales, si es la fachada más agrietada.

En la fachada Norte se hicieron dos sondeos, con los cuales obtuvieron un perfil estratigráfico (figura 2.73), en el que se observa una diferencia de nivel de 4.5m entre el extremo Este y Oeste, a partir de la serie arcillosa superior. Esta diferencia de niveles hacia el Oeste, donde se encuentran los restos de Templo Mayor, indica que dicha construcción ha consolidado de manera importante el suelo en esa zona, presentando en las colindancias un efecto de succión del suelo [2.17]. Los rellenos posteriores a la serie arcillosa superior, están formados por arcillas y limos mezclados con tezontle, por lo que su resistencia está entre los 13 y 18  $\text{kg}/\text{cm}^2$  [2.16].

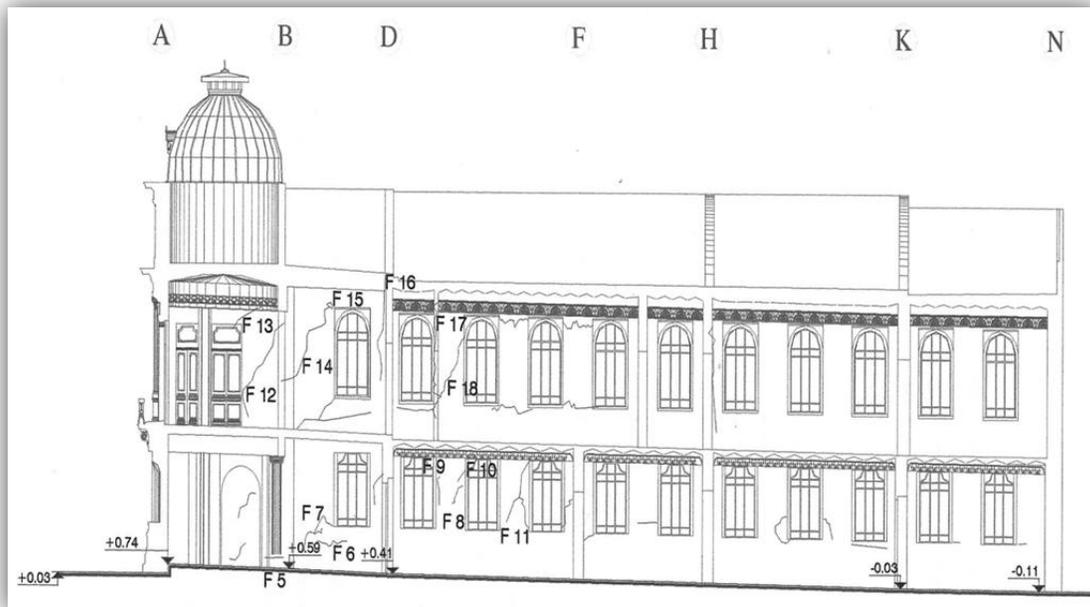


**Figura 2.73. Perfil estratigráfico sobre la fachada Norte, (1995) [2.17].**

Teniendo en cuenta esta información, se llevó a cabo en el 2007 un nuevo levantamiento de grietas en la parte interna de las fachadas (figuras 2.74 y 2.75). De igual manera puede observarse que las grietas se presentan en las proximidades a la esquina noroeste, y de nuevo es la fachada Norte donde más proliferan las grietas diagonales. Un dato importante es señalar, que el retiro de muros (figura 2.64) para devolver los espacios originales, tiene una influencia negativa en la rigidez y resistencia del inmueble en especial en la zona Norte [2.17].



**Figura 2.74. Levantamiento de grietas en la fachada Oeste (2007), corte A – A' [2.17].**

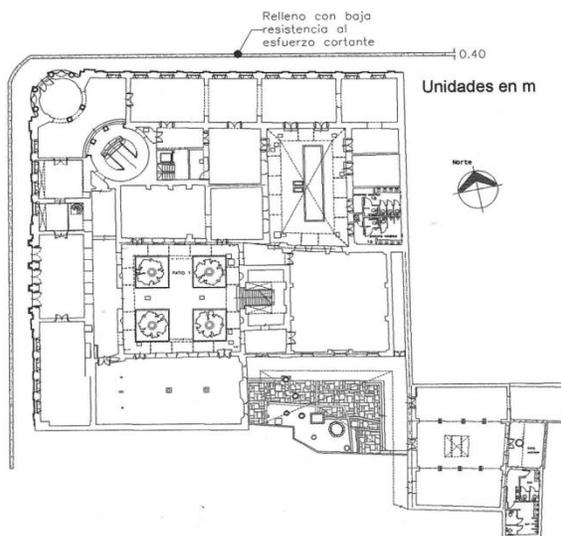


**Figura 2.75. Levantamiento de grietas en la fachada Norte, corte C – C' (2007) [2.17].**

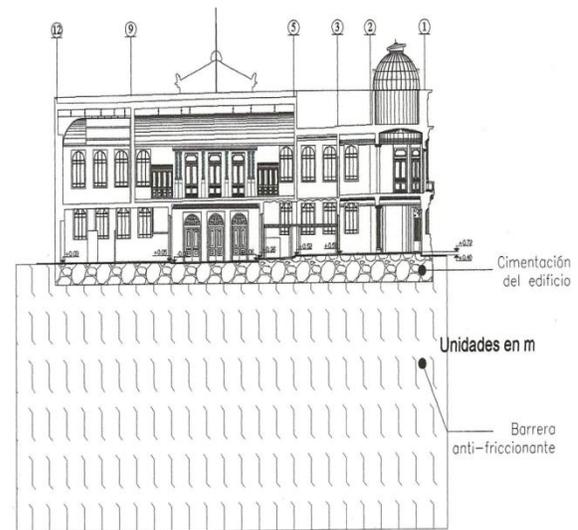
Con la comparación de estos dos levantamientos de grietas se puede concluir que los hundimientos diferenciales son determinantes en la seguridad estructural del edificio, y estos a su vez son provocados por los restos del coatepantli, por las condiciones del suelo y por el hundimiento generalizado del Centro Histórico. El dictamen determinó que estos agrietamientos no representaban riesgo para la estabilidad del edificio, sin embargo fueron consolidadas por inyección de lechada compatible con la mampostería [2.17].

A pesar de ser reparados estos problemas, el edificio ha necesitado una medida que mitigue los hundimientos diferenciales de fondo, para evitar futuras grietas, por lo cual el Instituto de Ingeniería presentó la siguiente propuesta (2007).

La propuesta consistió en construir una zanja de 40cm por 20m de profundidad alrededor del edificio, rellena de un material con baja resistencia al esfuerzo cortante (figuras 2.76 y 2.77) [2.17]. Esta propuesta contempló que el material permitiera un hundimiento más uniforme, sin embargo implica la posibilidad de destruir restos prehispánicos, factor que pudo influir su ejecución.



**Figura 2.76. Planta del Palacio de la Autonomía, muestra la ubicación de la zanja [2.17].**



**Figura 2.77. Corte de la zanja con material anti-friccionante sobre la fachada Oeste [2.17].**

## 2.10. Referencias del capítulo

- 2.1.- ARTIGAS, B. J. y otros. *Arquitectura Religiosa de la Ciudad de México Siglos XVI al XX*. INAH. 1ª Ed. México 2004.
- 2.2- Disponible en <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1109627&page=9>. Consultada el 7-5-12.
- 2.3.- AGUILAR – MORENO, M. *Arquitectura Azteca*. 2011. Disponible en: [http://www.famsi.org/spanish/research/aguilar/Aguilar\\_Arch\\_Bib\\_es.pdf](http://www.famsi.org/spanish/research/aguilar/Aguilar_Arch_Bib_es.pdf) visitada el 13-10-11. Consultada el 3-9-11.
- 2.4.- MÉXICO – MAXICO. 2011. Disponible en: <http://www.mexicomaxico.org/Tenoch/Tenoch2.htm>. Consultada el 5-9-11.

- 2.5.- LÓPEZ, L. L. Revista Arqueología Mexicana “El coatepantli de Tenochtitlan Historia de un Malentendido”. Pág. 54-57. 2011. Disponible en: <http://www.mesoweb.com/about/articles/AM111.pdf>. Consultada el 17-9-11.
- 2.6.- MATOS, M. E. Excavaciones del Programa de Arqueología Urbana. INAH. 1ª Ed. México 2003.
- 2.7.- SIBGÜENZA Y GONGORA, C. Parayso Occidental, plantado y cultivado en su magnífico Real Convento de Jesús María de México. México 1684.
- 2.8. – VALLE, A. A. Libro de Estampas. “La Fundación del Convento de Santa Teresa”. Madrid: Espasa Calpe, 1934. Pág 95-105.
- 2.9.- STREET – PORTER, T. Casa mexicana. Ed. Limusa. 8ª Ed. Japón 2001.
- 2.10.- ACOSTA, S. E. Revista Interarq “Casas Señoriales del siglo XVIII”. 2011. Disponible en: [http://www.esenciayespacio.esiatec.ipn.mx/revista/interarq\\_28.pdf](http://www.esenciayespacio.esiatec.ipn.mx/revista/interarq_28.pdf). Consultada el 20-10-11.
- 2.11.-BARRERA, R. R. Tesis “El Antiguo Palacio de Odontología de la UNAM a través de su espacio y tiempo arqueológico” ENAH. México 2002.
- 2.12.- Disponible en: [http://www.juntense-prepa2-64-69.org/pdf/predio\\_santa\\_teresa\\_la\\_antigua.pdf](http://www.juntense-prepa2-64-69.org/pdf/predio_santa_teresa_la_antigua.pdf). Consultada el 22-10-11.
- 2.13.- UNAM, “Inmuebles Universitarios con valor Histórico-Estético, México 2004.
- 2.14.- Fototeca Constantino Reyes-Valerio de la CNMH-CONACULTA-INAH-MEX. 2011.
- 2.15.- HERNÁNDEZ, B. J. “75 años de Autonomía Universitaria”. Revista El faro la luz de la ciencia. Año IV. Número 43. Octubre de 2004.
- 2.16.- Archivo Histórico de la Dirección General de Patrimonio Universitario.
- 2.17.- SÁNCHEZ, R., MELI, P. R. “Diagnóstico sobre el Comportamiento Estructural del Palacio de la Autonomía”. Instituto de Ingeniería 2007.
- 2.18.- Fundación UNAM. Disponible en <http://www.fundacionunam.org.mx/recintoshistoricos/autonomia.php>. Consultado el 18 de Septiembre de 2012.

## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES PASADAS

Como complemento al estudio histórico propiamente dicho, en algunos casos se debe realizar un estudio más detallado de las condiciones estructurales que presentaba el inmueble anteriormente, para entender el comportamiento actual que el edificio en estudio presenta. Esto nos llevará a entender el comportamiento estructural del edificio a lo largo del tiempo: principalmente ante eventos extraordinarios como: sismos, hundimientos diferenciales, inundaciones, etc. De especial interés es la descripción histórica de los daños presentados, así como de las distintas reparaciones a las que ha sido sometido, como por ejemplo: cambios de materiales, modificaciones estructurales y arquitectónicas, cambios de uso y por lo tanto de cargas, etc.

Por tal motivo, en este capítulo se presenta la evaluación estructural del edificio que existía cuando el Palacio de la Autonomía era la Escuela Normal de Maestros. Este estudio, de una estructura que no existe, sirve para mostrar como el estudio histórico, en algunos casos, no se debe limitar a la simple recopilación de datos. Sino que algunas veces, debido a la importancia de la estructura o a la complejidad del fenómeno que se quiera estudiar, es necesario recurrir a las herramientas de análisis actuales, para entender el funcionamiento estructural del edificio histórico a lo largo del tiempo.

#### 3.1 Bajada de cargas simplificada

Primeramente se realizó una estimación del peso de la estructura mediante una estimación de pesos tomada de la literatura. Esta estimación simplificada permite tener de manera rápida el peso de la estructura y cuanto se descarga en la cimentación. Esto es particularmente útil para edificios del Centro Histórico de la Ciudad de México, por los problemas de hundimientos diferenciales que presentan los edificios históricos. La tabla 3.1 presenta las cargas muertas unitarias empleadas para en este trabajo, las cuales se tomaron de la referencia [3.1].

**Tabla 3.1. Resumen de cargas gravitacionales unitarias de los sistemas estructurales más comunes en las casas coloniales del Centro Histórico de la Ciudad de México [3.1].**

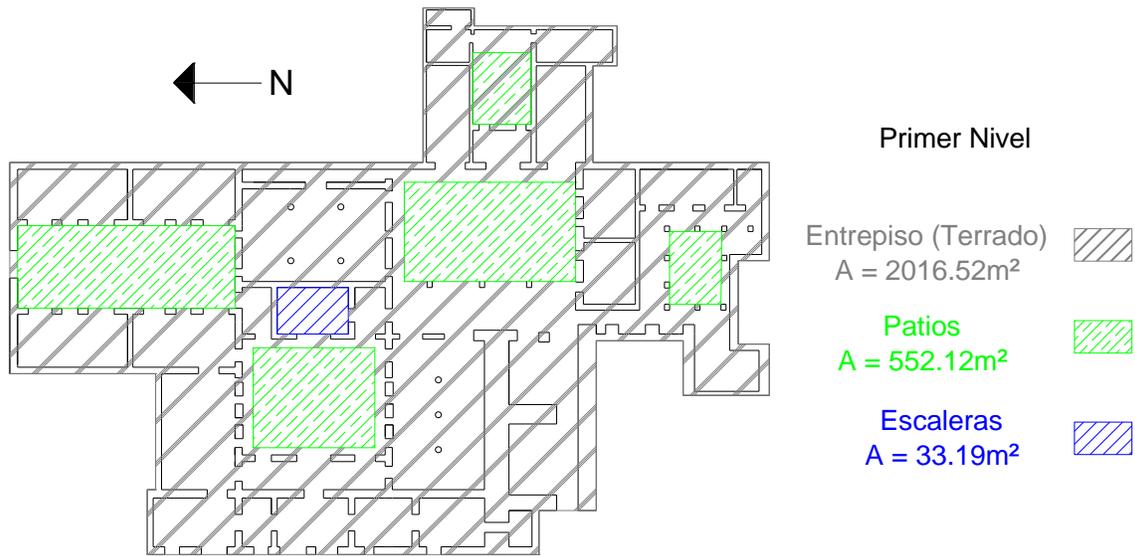
Elementos Estructurales	Peso t/m
Muros (planta baja)	12
Muros (planta alta)	8
Cimentación	6
Tipo de Columna	Peso t
Columnas redondas, planta baja	1.13
Columnas redondas, resto de niveles	0.565
Columnas cuadradas, planta baja	1.44
Columnas cuadradas, resto de niveles	0.72
Sistema de piso	Peso t/m <sup>2</sup>
Terrado	0.639
Lámina acanalada	0.498
Concreto armado	0.504
Escaleras	0.817

Con los datos anteriores solo es necesario cuantificar los sistemas estructurales para obtener un peso total de la estructura. Como ejemplo de aplicación, en este trabajo se realizó una bajada de cargas de la Escuela Normal para Profesores en 1887, y para su posterior intervención propuesta en 1890, además de una bajada de cargas del actual Palacio de la Autonomía.

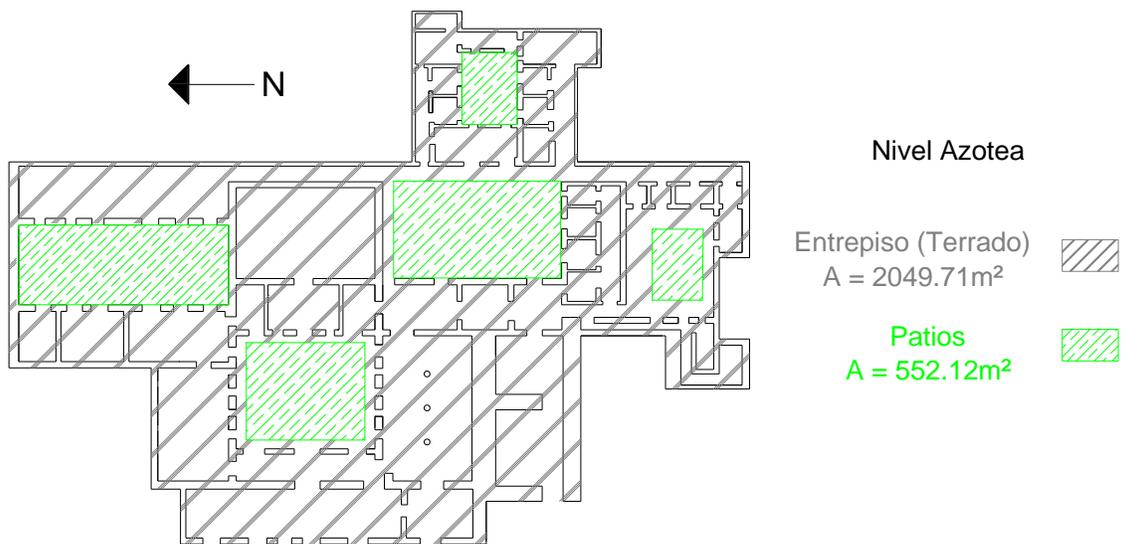
Para la realización de la bajada de cargas de la Escuela Normal para Profesores (ENP) de 1887, fue necesario hacer una serie de consideraciones y simplificaciones que se explican a continuación:

- 1.- Se considera al sistema de piso como terrado, por ser el más comúnmente empleado en la época de su construcción.
- 2.- Las cargas vivas máximas fueron tomadas de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para Diseño Estructural de las Edificaciones del 2004, escogidas conforme al uso del edificio en 1887 (escuela), tomando así  $250 \text{ kg/cm}^2$  para losas tipo,  $100 \text{ kg/cm}^2$  para losa de azotea y  $350 \text{ kg/cm}^2$  para escaleras.
- 3.- La suma de las cargas vivas y muertas fue afectada por un factor de cargas tomado de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones de Diseño Estructural de las Edificaciones (2004), clasificando a la estructura como del tipo A, por tanto se empleó un factor de 1.5.
- 4.- Al no contar con planos originales, la cuantificación se valió de una imagen de los mismos, la cual había perdido su escala, motivo por el cual fue necesario identificar un espacio arquitectónico de los planos de la ENP que conservara el Palacio de la Autonomía, el cual posteriormente fue medido directamente del edificio, para obtener un factor de escala para redimensionar los planos

Aplicadas las simplificaciones y consideraciones, se identificaron los sistemas estructurales adecuados, se cuantificaron los metros cuadrados del sistema de piso y escaleras, los metros de cimentación y de muros en planta baja y alta, además de la cantidad de columnas, su ubicación y geometría. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran la cuantificación de áreas en el edificio.



**Figura 3.1. Distribución de áreas en primer nivel de la (ENP) (1887).**



**Figura 3.2. Distribución de áreas en nivel azotea de la (ENP) (1887).**

El resumen de los pesos calculados para cada sistema estructural, y el peso total del edificio se presenta en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Peso de cada sistema estructural de la Escuela Normal de Profesores en 1887.**

Sistema Estructural	Peso por sistema estructural
	t
Sistema de piso	4957.15
Muros	18542.88
Escaleras	58.08
Cimentación	5191.38
Total del edificio	28749.49

Con esta bajada de cargas, se considera que el edificio transmitía una carga de 28749 t, sobre un área de 2601.83 m<sup>2</sup>, obteniendo así una carga media de 11.05 t/m<sup>2</sup>. Con los sondeos realizados en 1995 se determinó que suelo de relleno debajo del Palacio de la Autonomía cuenta con una resistencia que oscila entre 13 y 18 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se concluye que la capacidad del suelo era suficiente para soportar las cargas transmitidas por el edificio.

Para la bajada de cargas de la Escuela Normal para Profesores con la intervención propuesta en 1890, se realizaron las siguientes consideraciones y simplificaciones:

- 1.- Se considera al sistema de piso como lámina acanalada. Difícilmente los sistemas de piso fueron reemplazados en su totalidad entre inauguración e intervención, no obstante se contempla el reemplazo parcial del sistema con el paso del tiempo, dato que se sustenta en el estudio histórico. Al no contar con la información específica de años y lugares, se considerará que el edificio completo tiene un sistema de piso a base de lámina acanalada.
- 2.- El peso de las cúpulas se determinó en base a los planos actuales del Palacio de la Autonomía, con los cuales se calcularon volúmenes, mismos que fueron multiplicados por su respectivo peso específico para obtener así el peso de cada cúpula.
- 3.- Las consideraciones 2, 3 y 4 hechas a la bajada de cargas de la Escuela Normal para Profesores de 1887, también son aplicadas a este caso.

Redimensionados los planos (figuras 3.3 y 3.4), se cuantificó de la misma forma que el caso anterior, obteniendo así el resumen de pesos en la tabla 3.3

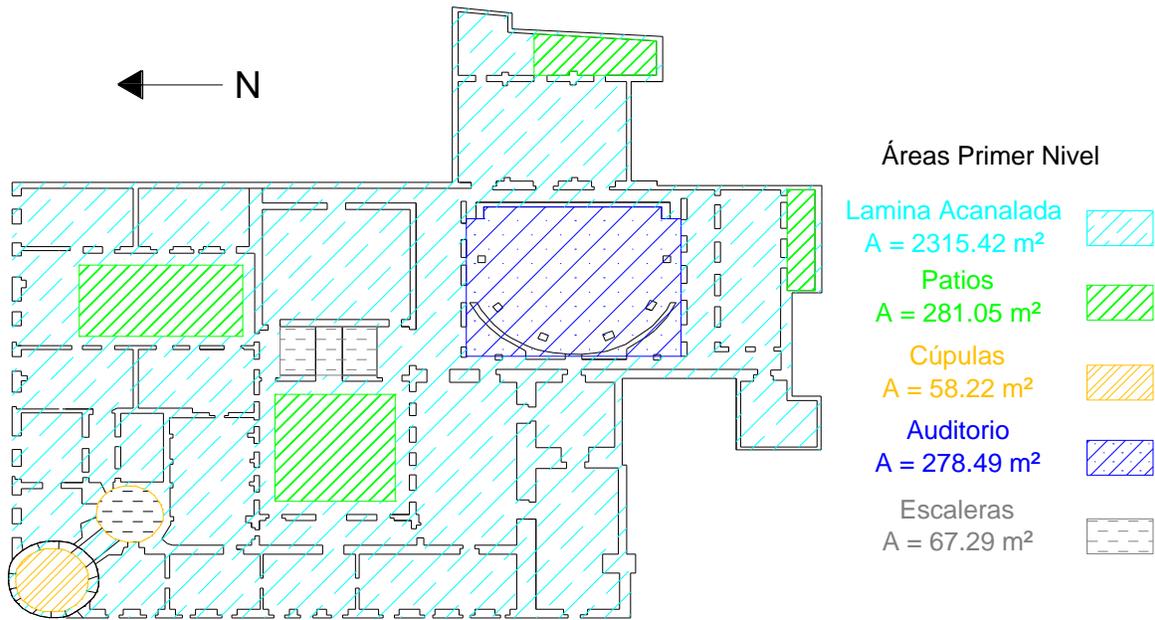


Figura 3.3. Distribución de áreas en el primer nivel de la (ENP) (1890).

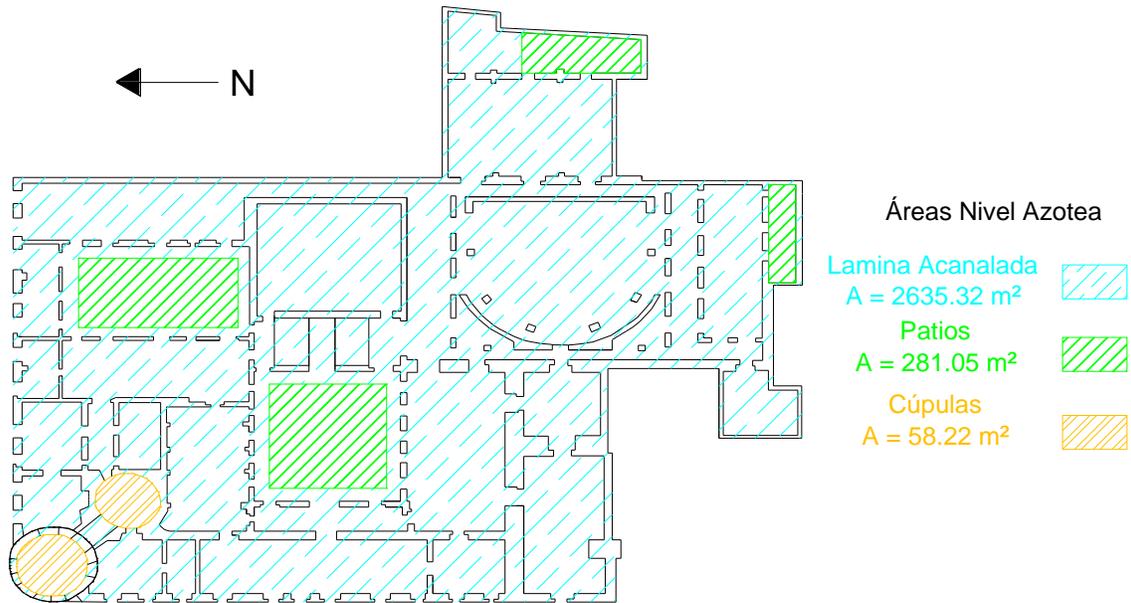


Figura 3.4. Distribución de áreas en el nivel azotea de la (ENP) (1890).

**Tabla 3.3. Peso por elemento estructural de la Escuela Normal para Profesores en 1890.**

Sistema Estructural	Peso por sistema estructural
	t
Sistema de piso	4961.78
Muros	19094.76
Escaleras	117.77
Cimentación	5851.98
Cúpulas	80.39
Total del edificio	30106.68

Esta bajada de cargas calcula que el peso total del edificio fue de 30106.68 t, sobre un área de 3000.47 m<sup>2</sup>, obteniendo una carga media de 10.03 t/m<sup>2</sup>. En comparación del edificio anterior, este tiene un aumento de peso del casi 10%. Este aumento se debe principalmente al aumento de 372.76 m<sup>2</sup> de construcción, a la cantidad de los muros y al peso de las cúpulas. Con el aumento de área antes mencionado, disminuyó la carga media un 9.2% con respecto al anterior caso, por tanto se da por sentado que este peso también era soportado por el suelo.

La bajada de cargas hecha al Palacio de la Autonomía, requirió de las siguientes consideraciones y simplificaciones:

- 1.- Los sistemas de entrepiso se conforman principalmente por, lámina acanalada, losa de concreto, losacero y losacel. Los pesos de la losa de concreto y lámina acanalada se tomaron de la tabla 3.1. El sistema losacero es un sistema que se conforma de láminas corrugadas de acero, las cuales cumplen con la función estructural de acero de refuerzo, malla electrosoldada como acero de temperatura y un firme de concreto. Para este cálculo se consideró una lámina del tipo deck 25, calibre 24 con 12 cm de espesor de concreto, determinando así un peso de 0.356 t/m<sup>2</sup> [3.3]. La losacel es un sistema de piso a base de poliestireno, pequeñas armaduras de acero, una malla electrosoldada y un firme de concreto, sin embargo no se encontró información técnica de sus pesos, por lo cual se tomó el peso de un sistema similar a base de poliestireno, considerando una losa con 20cm de peralte, determinando así un peso de 0.178 t/m<sup>2</sup> [3.4].
- 2.- Las cargas vivas fueron tomadas de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones de Diseño Estructural de las Edificaciones (2004). Debido a que el edificio tiene múltiples usos, se tomó la carga viva máxima de los casos posibles, la cual resultó de 350 kg/cm<sup>2</sup> para el primer nivel y 100 kg/cm<sup>2</sup> para el nivel azotea, por considerar que tiene una pendiente menor a 5%.
- 3.- Para este cálculo solo utilizó el edificio principal, excluyendo la parte del edificio anexo, dado que su ubicación lo hace independiente.

4.- El peso de las cúpulas se determinó en base a los planos actuales del Palacio de la Autonomía, con los cuales se calcularon volúmenes, para multiplicarlos por el peso específico del material correspondiente y así obtener sus pesos.

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran la distribución de las áreas en el edificio. El resumen de pesos se muestra en la tabla 3.4.

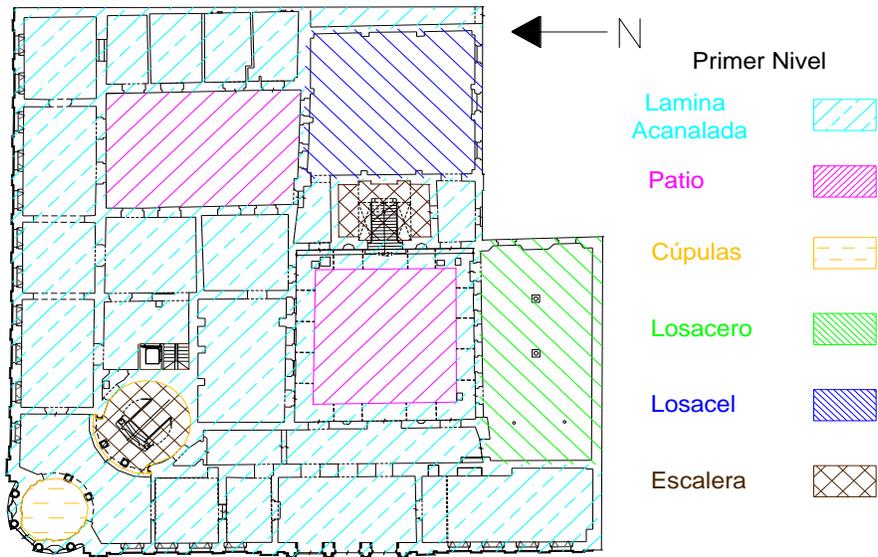


Figura 3.5. Distribución de áreas en el primer nivel del Palacio de la Autonomía.

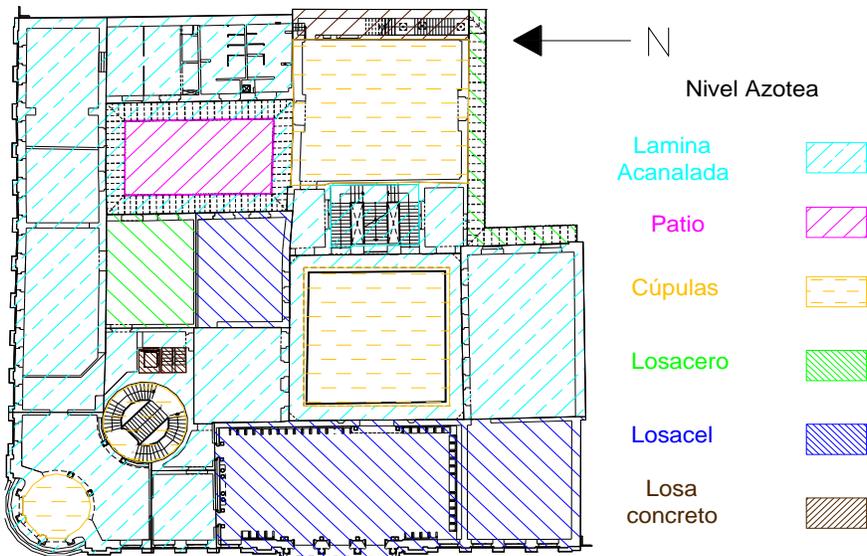


Figura 3.6. Distribución de áreas en el nivel azotea del Palacio de la Autonomía.

**Tabla 3.4. Resumen de pesos por cada elemento estructural del Palacio de la Autonomía.**

Sistema Estructural	Peso por sistema estructural
	t
Sistema de piso	2061.2
Muros	11096.34
Escaleras	139.8
Cimentación	3333.69
Cúpulas	354.9
Total del edificio	16985.93

La bajada de cargas simplificada calculó que el edificio transmitía una carga de 16985.93 t, sobre un área de 2018 m<sup>2</sup>, obteniendo una carga media de 8.42 t/m<sup>2</sup>. El peso que el edificio transmite al suelo ha disminuido un 43.6% con respecto al edificio de la Escuela Normal para Profesores en 1890, debido a la disminución del área de construcción y a la reducción de peso en los sistemas de piso. La tabla 3.5 muestra el resumen de cargas obtenidas.

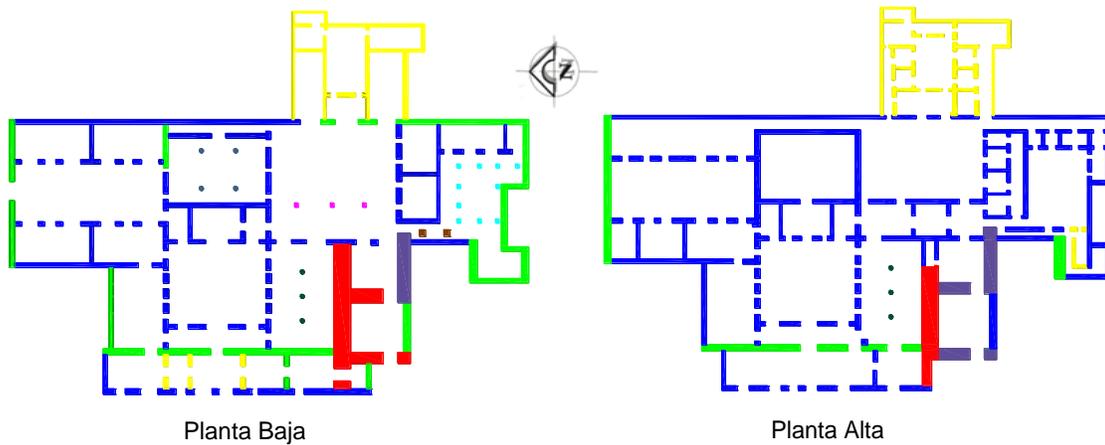
**Tabla 3.5. Resumen de pesos obtenidos con el método de la bajada de cargas simplificada.**

	Peso total del edificio	Área del edificio	Carga media
	t	m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>
ENP (1887)	28749.49	2601.83	11.05
ENP (1890)	30106.68	3000.47	10.03
Palacio de la Autonomía	16985.93	2018	8.42

### 3.2 Modelo numérico

Con la intención de interpretar las condiciones estructurales pasadas del Palacio de la Autonomía, se realizó el modelo numérico de la Escuela Normal para Profesores en 1887, para lo cual se empleó el programa SAP2000 versión 14 como herramienta de cálculo.

Los elementos estructurales como cimentación, muros y losas, se modelaron con el comportamiento de cascara, y las columnas como elementos barra. El espesor de los muros se determinó gráficamente, y ya que algunos muros tenían espesores muy semejantes, se establecieron solo cinco espesores para facilitar el modelado. Los espesores utilizados para el modelo son. 0.4m, 0.7m, 1m, 1.7m y 2.4m. La figura 3.7 presenta la distribución de los espesores de muros y columnas.



Muros	
Color	Espesor (m)
Yellow	0.4
Blue	0.7
Green	1
Purple	1.7
Red	2.4

Columnas		
Color	Geometría	Espesor (m)
Dark Blue	Circular	0.3
Magenta	Cuadrangular	0.6
Teal	Circular	0.4
Brown	Cuadrangular	1.2
Cyan	Cuadrangular	0.4

Figura 3.7. Planos en planta con identificación de espesores de los muros y columnas.

Para modelar la cimentación, se utilizaron las dimensiones de la cimentación del Palacio de la Autonomía, información extraída del estudio histórico en el apartado de calas arqueológicas. En base a esta información se determina un criterio de asignación del tipo de cimentación, mismo que toma en cuenta factores como el espesor de muros, su ubicación y proximidad con los restos prehispánicos. La figura 3.8 presenta la distribución y el tipo de cimentación del modelo numérico.

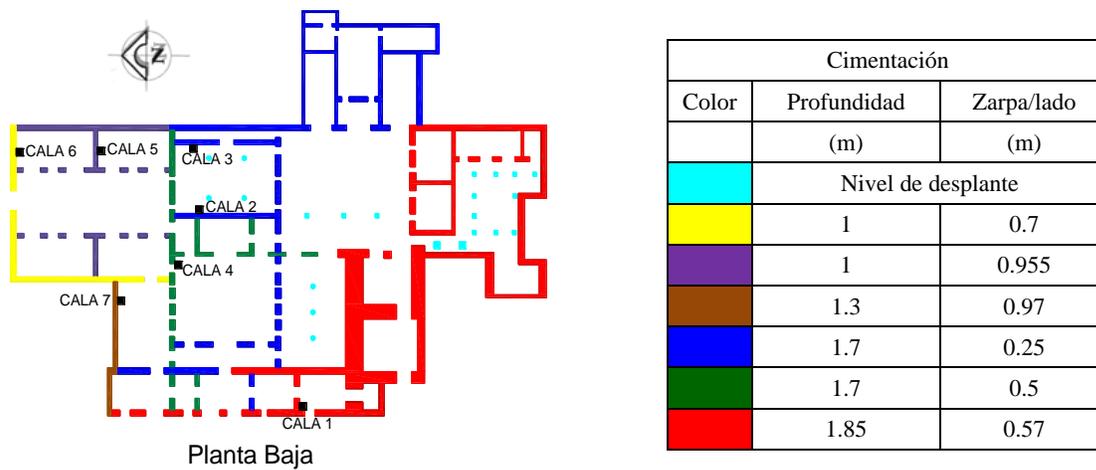


Figura 3.8. Tipo de cimentación utilizada para el modelo numérico.

Un aspecto importante fue la determinación de alturas de entrepisos y vanos, ya que al solo contar con planos en planta del edificio, fue necesario proponer este dato para el modelo. La altura de los entrepisos fue tomada de los planos del Palacio de la Autonomía, ya que a pesar del paso del tiempo, las alturas usualmente se conservan. Es entonces como se definió que el primer nivel tendría 5m, y el segundo nivel 6m. Para las alturas de vanos como ventanas y puertas, se eligieron las alturas tipo del Palacio de la Autonomía, es decir, las alturas más comunes entre niveles, muros internos y fachadas. El resumen de estas consideraciones se presenta en la tabla 3.6.

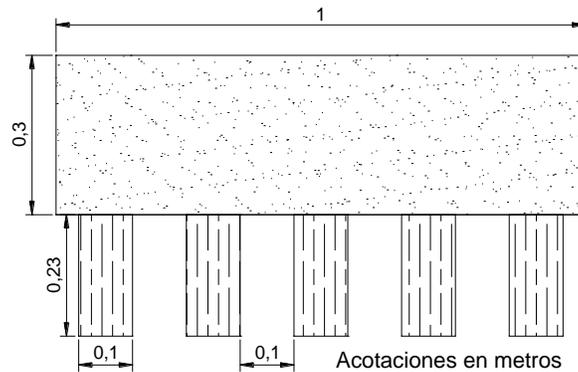
**Tabla 3.6. Alturas empleadas para el modelo numérico.**

	Fachada Oeste		Fachada Norte	Muros interiores	
	Altura (m)		Altura (m)	Primer Nivel	Segundo Nivel
	Primer Nivel	Segundo Nivel	Primer Nivel	Altura (m)	
Puertas	4.5	--	4	3.5	3.5
Ventanas	3	4.5	--	3	2.5

**3.2.1. Cálculo del sistema de piso**

A causa de que el sistema de piso del edificio se compone de materiales, espesores y propiedades diferentes, no fue posible modelarlo directamente en el programa SAP, por lo cual se calculó una sección equivalente.

Para hacer posible este cálculo se hizo una simplificación a los materiales, la cual consiste en tomar el espesor del entortado como espesor de arcilla para trabajar solo con dos materiales, madera (soporte) y arcilla (relleno) (figura 3.9).



**Figura 3.9. Sistema de terrado simplificado.**

El siguiente paso es calcular una relación modular [3.5], obtenida con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{E_{Arcilla}}{E_{Madera}}$$

Donde:

$\eta$  = Relación modular

$E_{Arcilla}$  = Módulo de elasticidad de la arcilla

$E_{Madera}$  = Módulo de elasticidad de la madera

El módulo de elasticidad de los materiales es:

$$\text{Módulo de elasticidad de la madera} = 1000000 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad de la arcilla consolidada} = 1800 \text{ ton/m}^2$$

Esta relación modular la multiplicamos por el área de arcilla, con lo que logramos tener una nueva sección que solo tiene el módulo de elasticidad de la madera, pero con una geometría diferente, a lo que denominamos como sección transformada.

Proseguimos a calcular el momento de inercia de la sección transformada [3.5], mediante la siguiente expresión:

$$I = I_d + Ad^2$$

Donde:

$I$  = Momento de inercia con respecto a un eje dado

$I_d$  = Momento de inercia con respecto a su eje centroidal

$A$  = Área de la sección

$d$  = Distancia entre el eje dado y el eje centroidal

Obtenido el momento de inercia de la sección transformada, proponemos un ancho unitario a la sección, y calculamos el peralte de la sección equivalente con la siguiente expresión [3.5]:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Donde:

$I$  = Momento de inercia de la sección transformada

$b$  = Ancho de la sección

$h$  = Altura de la sección

De los cálculos antes mencionados se obtuvo un peralte de 0.47m. El último dato faltante para modelar el sistema de piso, es el peso volumétrico del material, para lo que se tomó el peso por metro cuadrado del terrazo de la tabla 3.1 para dividirlo por el peralte, obteniendo así un peso volumétrico de 1.36 t/m<sup>3</sup>.

### 3.2.2. Propiedades mecánicas de la mampostería

Para la definición de las propiedades mecánicas de la mampostería, fue necesario revisar los datos proporcionados por la literatura, donde se encontraron varios tipos de mampostería con propiedades que difieren en parámetros como el módulo de elasticidad y el peso volumétrico. El hecho de no contar con la información específica justifica la elección, a criterio del revisor, del tipo de mampostería más adecuada para el modelo a revisar.

Es así como este trabajo se propone analizar qué tanta influencia tiene la elección de las propiedades de la mampostería para los resultados de una revisión, para este modelo numérico en particular. Por tal razón, se toman tres valores obtenidos de la literatura para comparar el resultado de cada modelo, definiendo así el Modelo A, Modelo B y Modelo C, cuyas propiedades se explican en las tablas 3.11, 3.12 y 3.13. El modelo numérico quedó conformado por un total de 52164 nodos, 52301 elementos cascara y 25 elementos barra.

**Tabla 3.11 Propiedades de los materiales utilizados para el Modelo A, las características de la mampostería fueron obtenidas de la referencia 3.6.**

	Peso Volumétrico	Relación de Poisson	Módulo de Elasticidad
	(t/m <sup>3</sup> )		(t/m <sup>2</sup> )
	Y	μ	E
Mamp. Muros	1.6	0.2	200,000
Mamp. Columnas	1.6	0.2	200,000
Losa	1.36	0.2	1,000,000
Madera	0.7	0.2	1,000,000

**Tabla 3.12 Propiedades de los materiales utilizados para el Modelo B, las características de la mampostería fueron obtenidas de la referencia 3.7 (mampostería de bloques de tepetate).**

	Peso Volumétrico	Relación de Poisson	Módulo de Elasticidad
	(t/m <sup>3</sup> )		(t/m <sup>2</sup> )
	Y	μ	E
Mamp. Muros	1.8	0.2	50,000
Mamp. Columnas	1.8	0.2	50,000
Losa	1.36	0.2	1,000,000
Madera	0.7	0.2	1,000,000

**Tabla 3.13 Propiedades de los materiales utilizados para el Modelo C, las características de la mampostería fueron obtenidas de la referencia 3.7 (mampostería de piedra).**

	Peso Volumétrico	Relación de Poisson	Módulo de Elasticidad
	(t/m <sup>3</sup> )		(t/m <sup>2</sup> )
	Y	μ	E
Mamp. Muros	2.0	0.2	50,000
Mamp. Columnas	2.0	0.2	200,000
Losa	1.36	0.2	1,000,000
Madera	0.7	0.2	1,000,000

Con el modelo definido se muestra la tabla 3.7 donde se observa la sumatoria de cargas gravitacionales que soporta el sistema de piso de cada nivel, para todos los modelos. Las tablas 3.8, 3.9 y 3.10 muestran el desglose de peso de los elementos estructurales en cada nivel para los diferentes modelos. Los datos presentados por las tablas son únicamente por cargas gravitacionales.

**Tabla 3.7 Detalle de cargas gravitacionales en el sistema de piso.**

Nivel	Altura de entrepiso (m)	Altura total (m)	Área del sistema de piso(m <sup>2</sup> )	CV <sub>máxima</sub> (t/m <sup>2</sup> )	CM Sistema de piso (t/m <sup>2</sup> )	CM + CV <sub>Máx</sub> Sistema de piso (t/m <sup>2</sup> )
N2	6	11	2049.71	0.1	0.6031	0.7031
N1	5	5	2049.71	0.25	0.6	0.85

**Tabla 3.8 Detalle de los pesos por elemento estructural del Modelo A.**

Nivel	Pesos (t)				Peso total/Área (t/m <sup>2</sup> )
	Sistema de pisos	Muros	Columnas	Total	
N1	1223.23	4112.72	48.49	5384.44	2.07
N2	1236.26	5281.39	3.6191	6521.27	2.51

**Tabla 3.9 Detalle de los pesos por elemento estructural del Modelo B.**

Nivel	Pesos (t)				Peso total/Área (t/m <sup>2</sup> )
	Sistema de pisos	Muros	Columnas	Total	
N1	4626.8104	4112.72	54.4225	8793.95	3.38
N2	5941.56	5281.39	4.0715	11227.02	4.32

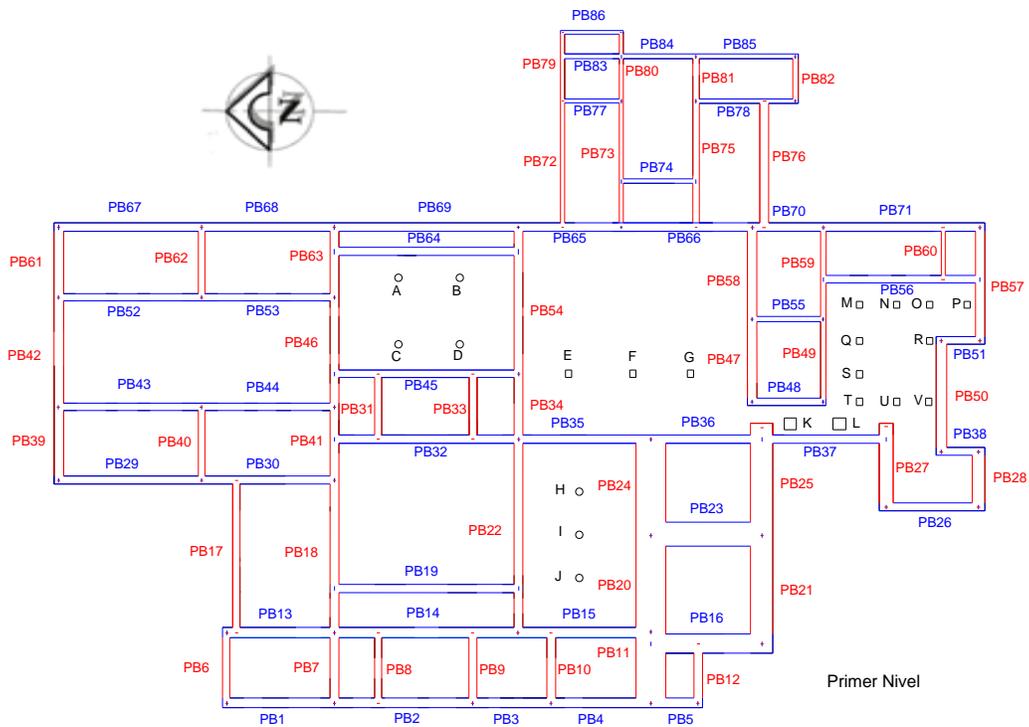
**Tabla 3.10 Detalle de los pesos por elemento estructural del Modelo C.**

Nivel	Pesos (t)				Peso total/Área (t/m <sup>2</sup> )
	Sistema de pisos	Muros	Columnas	Total	
N1	4626.8104	5140.90	60.3595	9828.07	3.78
N2	5941.56	6601.74	4.5239	12547.82	4.82

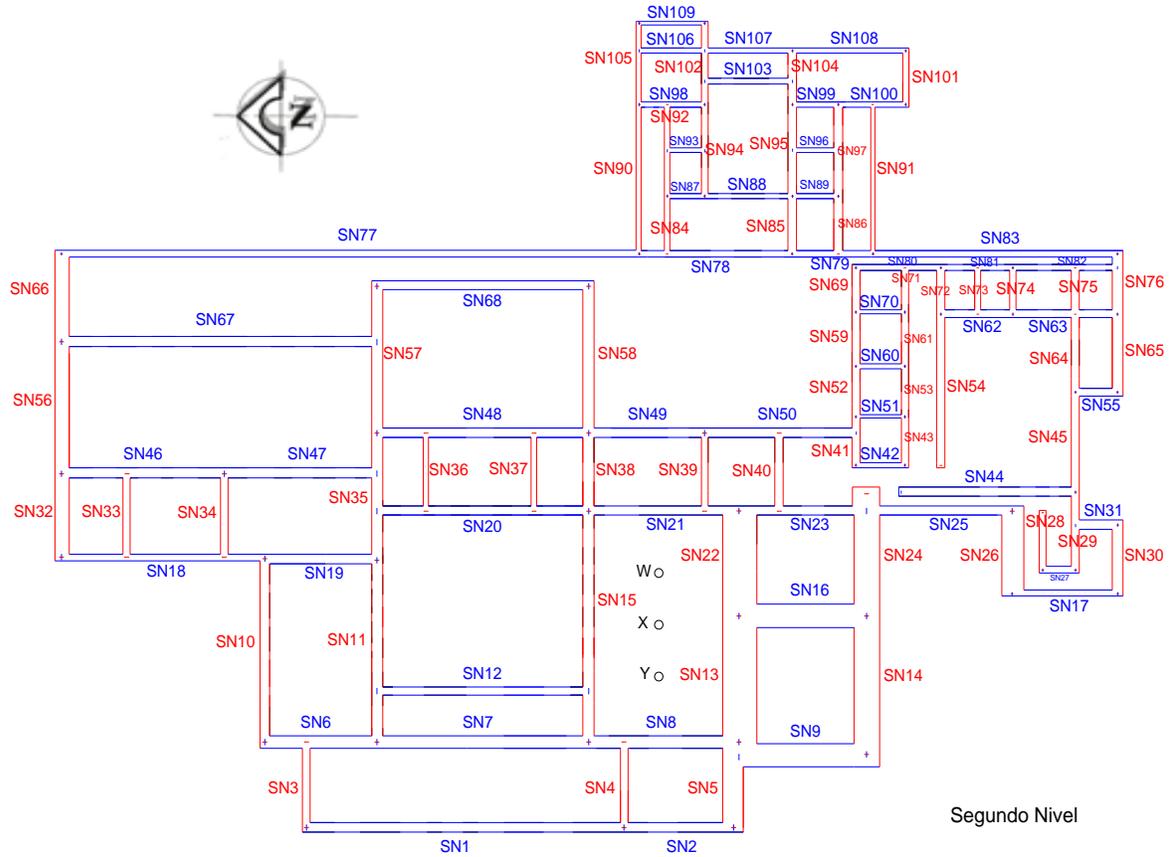
En estas tablas podemos observar el desglose de pesos por elemento estructural para los respectivos modelos, es evidente que el peso por nivel se muestra muy elevado para el Modelo A, principalmente debido a los espesores de los muros y la cantidad de estos, sin embargo el peso por nivel para los Modelos B y C se muestran con pesos muy elevados con el cambio en la consideración de los pesos volumétricos.

### 3.3. Interpretación de los resultados

La interpretación de los resultados, se presenta mediante un análisis comparativo de los resultados entre los modelos, tomando como punto de partida el Modelo A. Para comprobar si el edificio cumplía con el nivel de seguridad requerido por el actual reglamento, se llevará a cabo una revisión de la fuerza axial, cortante y de los desplazamientos en las losas, con base en lo que propone la reglamentación. Con la finalidad de facilitar la interpretación de resultados del modelo, se colocó una nomenclatura a los muros de los dos niveles, las cuales se presentan en las figuras 3.10 y 3.11.



**Figura 3.10. Nomenclatura de muros del primer entrespiso.**



**Figura 3.11. Nomenclatura de muros del segundo entrepiso.**

### 3.3.1 Bajada de Cargas

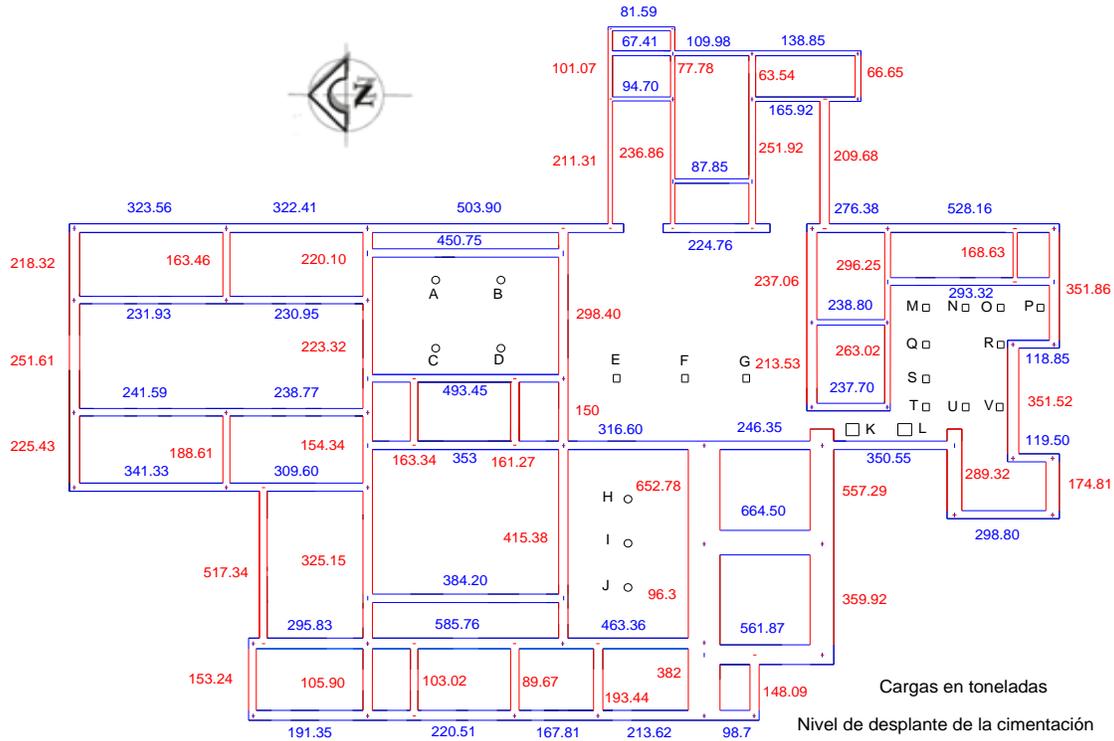
La interpretación de los resultados se comenzará con una comparación entre el peso total del edificio obtenido con la bajada de cargas y la obtenido con los modelos numéricos. La tabla 3.14 muestra el resumen de los pesos obtenidos con cada parámetro de cálculo.

**Tabla 3.14. Resumen de pesos obtenidos con el modelo numérico y porcentajes de aproximación de la bajada de cargas simplificada.**

	Modelo Matemático	Bajada de Cargas Simplificada	Porcentaje de aproximación
	t	t	%
Modelo A	23157.11	28749.49	80.55
Modelo B	25464.77		88.57
Modelo C	27772.43		96.6

La comparación hecha con la tabla, muestra que en el caso de los Modelos B y C la aproximación de la bajada de cargas simplificada es muy aproximada.

Resultado de la bajada de cargas con el modelo numérico, se presenta la figura 3.12, donde se encuentra las cargas que bajan por cada muro del Modelo A. La tabla 3.15 incluye las cargas que bajan por cada columna.



**Figura 3.12. Descarga de peso por muros del modelo A.**

**Tabla 3.15. Descarga de peso de las columnas del modelo A.**

Columna	Carga (t)	Columna	Carga (t)
A	23.11	L	58.37
B	24.22	M	9.8
C	21.63	N	9.76
D	22.47	O	9.38
E	38.56	P	6.61
F	45.16	Q	9.36
G	43.34	R	6.89
H	18.15	S	9.28
I	20.8	T	9.39
J	17	U	8.75
K	57.42	V	6.87

La bajada de cargas por muros, muestra que la zona donde se descarga más peso es la parte Suroeste, donde el aporte del peso es principalmente por los espesores del muro. En cuanto a las columnas, se puede notar que las columnas E, F y G son las columnas más expuestas a cargas, ya que estas columnas eran parte de un pórtico de daba hacia el patio central de la escuela. Cabe resaltar que la columna I carga alrededor de 15% más que las columnas H y J, por ser la columna central.

### 3.3.2 Análisis Modal

Con la finalidad de corroborar que el comportamiento de los modelos numéricos es congruente, se analizó la información modal. Dentro del comportamiento modal se analizaron los periodos y formas modales, para comparar los resultados entre modelos y determinar la influencia de las propiedades de la mampostería para cada modelo. Es importante mencionar que solo se tomaron los primeros 10 modos, ya que por su cantidad de masa modal son los más influyentes del edificio. Los primeros 10 periodos de cada modelo se presentan en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16. Periodos de los primeros diez modos del modelo A, B y C.**

Modo	Periodo Modelo (seg.)		
	A	B	C
1	0.1531	0.302124	0.31359
2	0.1429	0.285585	0.296565
3	0.1340	0.264576	0.275136
4	0.1167	0.207355	0.216842
5	0.1120	0.191445	0.201309
6	0.1068	0.184874	0.193356
7	0.1005	0.179908	0.187723
8	0.0994	0.154948	0.162024
9	0.0960	0.153741	0.160889
10	0.0909	0.144008	0.151662

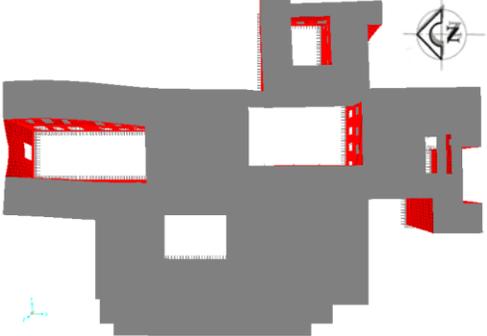
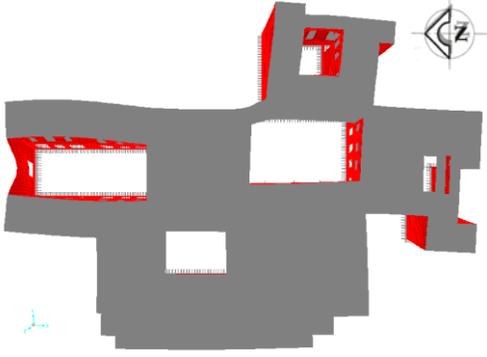
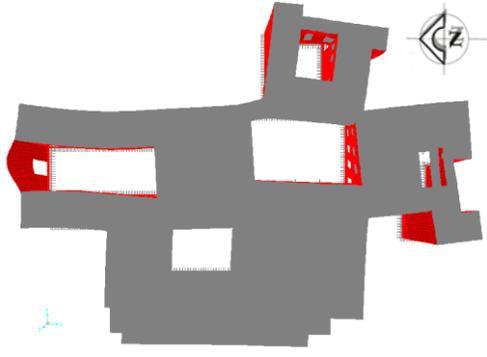
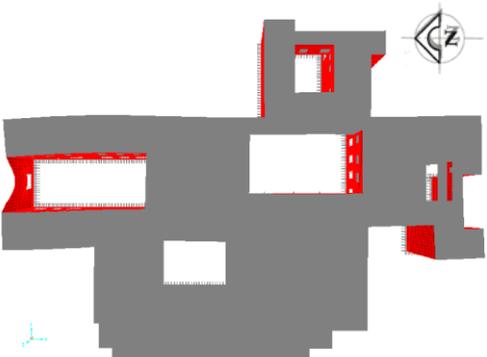
De la tabla anterior concluimos que los periodos en el Modelo A, son muy diferentes de los Modelos B y C, con una diferencia de casi el 100%. Esto se debe a la diferencia entre los pesos volumétricos y fundamentalmente al módulo de elasticidad en los muros.

Otro punto a estudiar son las formas modales de la estructura, para este trabajo solo se describirán los primeros 10 modos de vibrar del Modelo A. La descripción de los modos se presenta en la tabla 3.17.

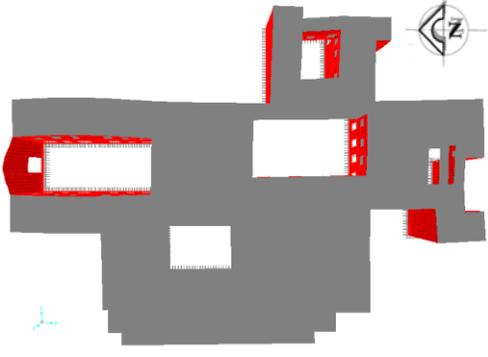
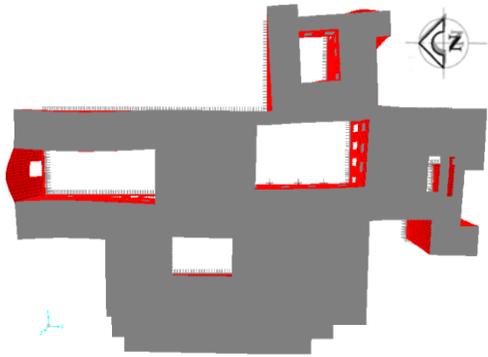
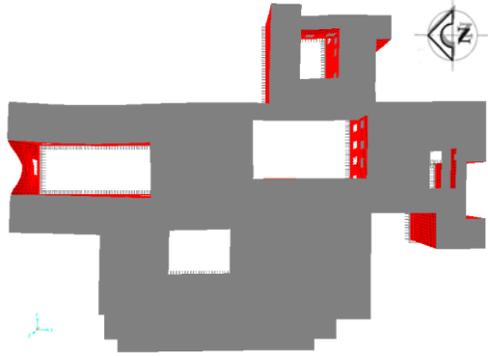
**Tabla 3.17. Descripción de los primeros 10 modos de vibrar del modelo A (parte 1).**

	<p>Modo 1</p> <p>Periodo: 0.1531 seg.</p> <p>Es el primer modo lateral en la dirección transversal. Tiene un 56.21% de porcentaje de masa modal en el eje transversal. El sistema de piso no es un diafragma rígido.</p>
	<p>Modo 2</p> <p>Periodo: 0.1429 seg.</p> <p>Es el primer modo lateral en sentido longitudinal. Tiene un 66.02% de porcentaje de masa modal. Se observa flexible el muro de fachada Norte, debido a que es un muro de doble altura que no está ligado al sistema de pisos y techos.</p>
	<p>Modo 3</p> <p>Periodo: 0.1340 seg.</p> <p>Este es el primer modo de torsión. Tiene un 9.33% de porcentaje de masa modal</p>

**Tabla 3.17. Descripción de los primeros 10 modos de vibrar del modelo A (parte 2).**

	<p>Modo 4</p> <p>Periodo:0.1167</p> <p>Este es un modo particular de la zona Norte.</p>
	<p>Modo 5</p> <p>Periodo: 0.1120 seg.</p> <p>Se observan flexibles la zona Norte y Sureste del edificio, así como el muro de la fachada Norte.</p>
	<p>Modo 6</p> <p>Periodo: 0.1068 seg.</p> <p>Es el segundo modo de rotación. Se observa la flexibilidad de la zona Norte y Sureste.</p>
	<p>Modo 7</p> <p>Periodo: 0.1005 seg.</p> <p>Es un modo particular de la zona Norte. Se observa que flexible el muro de la fachada Norte.</p>

**Tabla 3.17. Descripción de los primeros 10 modos de vibrar del modelo A (parte 3).**

	<p>Modo 8</p> <p>Periodo: 0.0994 seg.</p> <p>Es un modo particular de la zona Norte.</p>
	<p>Modo 9</p> <p>Periodo: 0.0960 seg.</p> <p>Se observa una rotación y flexibilidad de los muros de la zona Este y fachada Norte.</p>
	<p>Modo 10</p> <p>Periodo: 0.0909 seg.</p> <p>Es un modo particular de la zona Norte. Se observa flexible el muro de la fachada Norte.</p>

Del análisis de las formas modales se puede concluir, primeramente, que el sistema de pisos y techo no se puede considerar un diafragma rígido, por lo que en un análisis por sismo se deberá tomar en cuenta esta situación. El muro de la fachada Norte, y la zona Sureste son las partes más flexibles del edificio para todos los modelos. El primero debido a que es un muro de doble altura que no está conectado al sistema de pisos y techos, mientras que el segundo es un añadido que trabaja como una saliente.

En lo que respecta al comportamiento de los Modelos B y C, se puede decir que tienen un comportamiento muy similar, puesto que sus formas modales coincidieron en más de un 95%. Además fue posible apreciar que los primeros 6 modos de vibrar son iguales para todos los modelos, sin embargo los modos 7, 8, 9 y 10 de los Modelos B y C difieren del Modelo A. Se hace notar que se requieren por lo menos 5463 modos para tener al menos el 90% de la masa modal en las tres direcciones principales. Esto significa que para realizar un análisis modal espectral se deberán tomar al menos esta cantidad de modos.

### 3.3.3. Revisión por Fuerza Axial

La revisión por fuerza axial se realizó bajo el criterio de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería [3.9], con la finalidad de detectar que muros no cumplen con el nivel de seguridad requerido en la actualidad, y esto a su vez sirva como un parámetro de comparación entre los modelos. La revisión se realizó con la siguiente fórmula:

$$P_R = F_R f_m^* A_T \left(1 - \frac{2e}{t}\right)$$

Donde:

$P_R$  = Resistencia de diseño del muro a carga vertical (kg)

$F_R$  = Factor de resistencia (0.3)

$f_m^*$  = Resistencia a compresión de la mampostería, referida al área bruta ( $15 \text{ kg/cm}^2$ )

$A_T$  = Área bruta de la sección transversal del muro

$e$  = Excentricidad (cm)

$t$  = Espesor de muro (cm)

La resistencia a compresión de la mampostería  $f_m^*$  empleado para la revisión, fue elegida considerando un mortero con resistencia a la compresión no mayor a  $50 \text{ kg/cm}^2$ , puesto que en el año de construcción del edificio el mortero tenía una gran cantidad de cal sin porciones de cemento.

Esta fórmula revisa la capacidad de carga axial de los muros incluyendo los momentos que pueden presentarse entre la unión muro – losa – muro producidos por la deformación de la losa. Además esta revisión se incluye factores de reducción debidos a la relación altura espesor medio del muro. En el caso de los muros de 40cm del edificio, fue necesario afectarlos por un factor de reducción por efectos de esbeltez, revisando primero las siguientes condiciones:

- ✓ Restricción de deformaciones en los extremos superior e inferior
- ✓ La excentricidad actuante es menor o igual a  $\frac{1}{6}$  de la base del muro
- ✓ La relación altura libre y espesor del muro no excede de 20

Cuando estas condiciones eran cumplidas se tomó un factor de 0.6, ya que este se emplea para muros extremos o con claros que difieren en más de 50%, como es el caso del edificio (tabla 3.18).

Las cargas tomadas para esta revisión se afectaron por un factor de cargas (1.5) propuesto por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

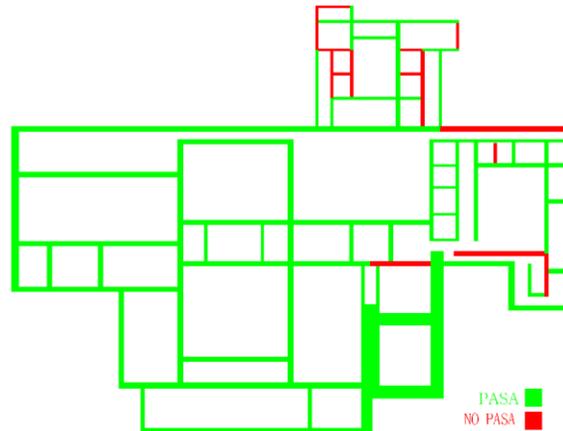
**Tabla 3.18. Distribución del factor de reducción para cada muro.**

Primer Nivel										
Muro	Altura	Espesor								
	5	0.4	5	0.7	5	1	5	1.7	5	2.4
H / t	12.5		7.1		5		2.94		2.08	
F <sub>R</sub>	0.6		0.8		1		1		1	
Segundo Nivel										
Muro	Altura	Espesor								
	6	0.4	6	0.7	6	1	6	1.7	6	2.4
H / t	15		8.6		6		3.53		2.50	
F <sub>R</sub>	0.6		0.8		0.8		1		1	

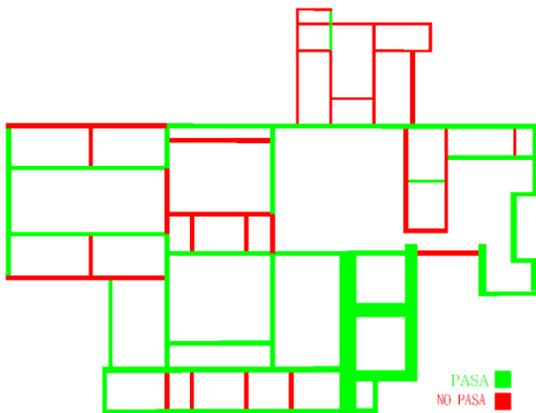
Los resultados de la revisión se muestran gráficamente de las figuras 3.12 a 3.17.



**Figura 3.12. Revisión de fuerza axial en el primer entrepiso del Modelo A.**



**Figura 3.13. Revisión de fuerza axial en el segundo entrepiso del Modelo A.**



**Figura 3.14. Revisión de fuerza axial en el primer entrepiso del Modelo B.**



**Figura 3.15. Revisión de fuerza axial en segundo entrepiso del Modelo B.**



**Figura 3.16. Revisión de fuerza axial en el primer entrespacio del Modelo C.**



**Figura 3.17. Revisión de fuerza axial en el segundo entrespacio del Modelo C.**

La revisión de la fuerza axial permisible muestra que en el caso del Modelo A, pasan la revisión un 77.44% de los muros, para el caso del Modelo B un 75.38% y para el Modelo C un 76.41%. En los muros de la planta baja, se observa que conforme se va aumentando el peso volumétrico menos muros pasan la revisión. En la planta alta sucede algo similar, no obstante también se observa que a ciertos muros el aumento de peso les favorece a la revisión, ya que se reduce su excentricidad y por tanto pasan la revisión. Estos resultados demuestran que varios muros no cumplían con el nivel de seguridad que actualmente se requiere, sin embargo no significa necesariamente una falla que comprometa la estabilidad estructural del edificio.

Con esta revisión hecha a los muros, muestra que los muros de la zona Norte y Este eran los más críticos del edificio, puesto que no contaban con el nivel de seguridad que requiere el reglamento actual. Del estudio histórico se puede corroborar que el edificio anexo (zona Este) fue reconstruido en su totalidad, por problemas estructurales.

Para la revisión de las columnas por fuerza axial, se calculó la carga crítica ( $P_{Cr}$ ) para compararla con la carga que baja por cada columna, importante es mencionar que las cargas fueron afectadas por un factor de cargas (1.5) tomado de las NTC – Mampostería. La carga crítica se calculó con la siguiente expresión [3.5]:

$$P_{Cr} = \pi^2 \cdot \frac{EI}{L^2}$$

Donde:

$\pi$  = Relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro

$E$  = Módulo de elasticidad ( $kg/cm^2$ )

$I$  = Segundo momento de Inercia ( $cm^4$ )

$L$  = Longitud (cm)

Los resultados de la revisión se muestran en la tabla 3.19.

**Tabla 3.19. Revisión de la fuerza axial sobre las columnas.**

Columna	Modelo A			Modelo C		Modelo B		
	P <sub>Cr</sub>	P <sub>actuante</sub>	Revisión	P <sub>actuante</sub>	Revisión	P <sub>Cr</sub>	P <sub>actuante</sub>	Revisión
	kg	kg	P <sub>Cr</sub> > P <sub>A</sub>	kg	P <sub>Cr</sub> > P <sub>A</sub>	kg	kg	P <sub>Cr</sub> > P <sub>A</sub>
A	156969.00	23106.16	Pasa	44591.3	Pasa	156969.00	42782.24	Pasa
B	156969.00	24219.82	Pasa	47518.2	Pasa	156969.00	45790.36	Pasa
C	156969.00	21631.79	Pasa	42034.6	Pasa	156969.00	40424.57	Pasa
D	156969.00	22466.85	Pasa	44282.1	Pasa	156969.00	43244.58	Pasa
E	852732.38	38555.81	Pasa	91381.9	Pasa	213183.09	38896.45	Pasa
F	852732.38	45158.58	Pasa	103278.7	Pasa	213183.09	45077.17	Pasa
G	852732.38	43338.32	Pasa	104706.2	Pasa	213183.09	42801.72	Pasa
H	99219.92	18154	Pasa	37070.7	Pasa	24804.98	12650.99	Pasa
I	99219.92	20799.16	Pasa	36321.7	Pasa	24804.98	13184.34	Pasa
J	99219.92	16999.95	Pasa	31884.6	Pasa	24804.98	10960.46	Pasa
K	13643718.08	57415.55	Pasa	150782.8	Pasa	3410929.52	67659.66	Pasa
L	13643718.08	58372.98	Pasa	143671.7	Pasa	3410929.52	68110.48	Pasa
M	168440.96	9799.94	Pasa	26325.6	Pasa	42110.24	10166.13	Pasa
N	168440.96	9762	Pasa	23946.7	Pasa	42110.24	10423.24	Pasa
O	168440.96	9384.87	Pasa	27115.2	Pasa	42110.24	9690.36	Pasa
P	168440.96	6608.92	Pasa	24012.3	Pasa	42110.24	7218.42	Pasa
Q	168440.96	9355.32	Pasa	15175.5	Pasa	42110.24	9342.55	Pasa
R	168440.96	6890.85	Pasa	19545.1	Pasa	42110.24	7663.27	Pasa
S	168440.96	9277.53	Pasa	14941.5	Pasa	42110.24	9261.63	Pasa
T	168440.96	9391.51	Pasa	19067.4	Pasa	42110.24	9189.46	Pasa
U	168440.96	8749.1	Pasa	18331.6	Pasa	42110.24	8722.41	Pasa
V	168440.96	6872.82	Pasa	21068.9	Pasa	42110.24	7339.79	Pasa
W	68902.72	5736.27	Pasa	21016.5	Pasa	17225.68	4637.27	Pasa
X	68902.72	7894.11	Pasa	22234.67	Pasa	17225.68	4783.61	Pasa
Y	68902.72	6943.53	Pasa	21237.92	Pasa	17225.68	4701.28	Pasa

La revisión hecha a las columnas por carga crítica se muestra favorable para los tres modelos, descartando así la posible presencia de problemas por pandeo lateral debido a cargas axiales.

### 3.3.4. Revisión por Fuerza Cortante

$$V_{per} = (V_m^*) \cdot A_T$$

El esfuerzo cortante permisible ( $V_m^*$ ) de los muros fue tomada de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería [3.9], considerando un mortero con resistencia no mayor a  $50\text{kg/cm}^2$ , siendo este valor de  $0.4\text{ kg/cm}^2$ .

Este esfuerzo se multiplicó por el área transversal de la sección para obtener la fuerza permisible. Con respecto a los cortantes actuantes, se revisó el cortante longitudinal y transversal de cada muro. La revisión por cortantes transversales resultó favorable para los muros de todos los modelos, no así para la revisión por cortantes longitudinales, los resultados de esta revisión se muestran de la figura 3.18 a 3.23.

Para la revisión de las columnas por cortante, se utilizó el cortante permisible con la expresión anterior. La tabla 3.20 muestra los resultados de la revisión de las columnas por cortante.

Las cargas tomadas para esta revisión se afectaron por un factor de cargas (1.5) propuesto por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

**Tabla 3.20. Revisión de la fuerza cortante sobre las columnas.**

Columna	V <sub>Permisible</sub> kg	Modelo A		Modelo B		Modelo C	
		V <sub>Actuante</sub> kg	Revisión V <sub>Permisible</sub> > V <sub>actuante</sub>	V <sub>Actuante</sub> kg	Revisión V <sub>Permisible</sub> > V <sub>actuante</sub>	V <sub>Actuante</sub> kg	Revisión V <sub>Permisible</sub> > V <sub>actuante</sub>
A	10602.9	39.87	Pasa	10.06	Pasa	17.24	Pasa
B	10602.9	39.96	Pasa	18.36	Pasa	20.51	Pasa
C	10602.9	39.17	Pasa	20.26	Pasa	24.94	Pasa
D	10602.9	38.55	Pasa	34.03	Pasa	33.69	Pasa
E	1440	113.71	Pasa	88.58	Pasa	203.4	Pasa
F	1440	66.61	Pasa	88.1	Pasa	158.89	Pasa
G	1440	84.05	Pasa	79.76	Pasa	156.32	Pasa
H	502.656	18.96	Pasa	5.93	Pasa	9.29	Pasa
I	502.656	1.26	Pasa	4.98	Pasa	17.37	Pasa
J	502.656	26.61	Pasa	12.66	Pasa	25.56	Pasa
K	5760	912.35	Pasa	766.69	Pasa	1921.84	Pasa
L	5760	1227.43	Pasa	886.07	Pasa	965.99	Pasa
M	640	3.82	Pasa	5.57	Pasa	98.55	Pasa
N	640	7.35	Pasa	5.46	Pasa	123.06	Pasa
O	640	4.23	Pasa	7.93	Pasa	57.1	Pasa
P	640	24.56	Pasa	17.36	Pasa	49.69	Pasa
Q	640	1.41	Pasa	1.15	Pasa	99.5	Pasa
R	640	14.58	Pasa	11.56	Pasa	46.81	Pasa
S	640	0.67	Pasa	0.87	Pasa	90.37	Pasa
T	640	2.39	Pasa	2.21	Pasa	36.45	Pasa
U	640	7.79	Pasa	6.73	Pasa	75.67	Pasa
V	640	18.36	Pasa	12.72	Pasa	34.03	Pasa
W	502.656	33.31	Pasa	9.43	Pasa	22.01	Pasa
X	502.656	2.06	Pasa	8.42	Pasa	29.77	Pasa
Y	502.656	39.27	Pasa	16.55	Pasa	36.47	Pasa

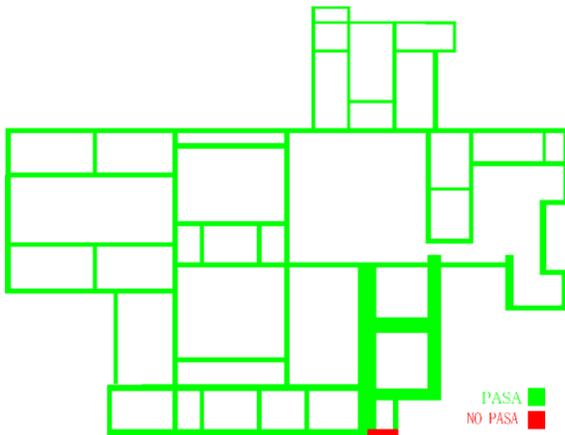


Figura 3.18. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el primer entrepiso del Modelo A.



Figura 3.19. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el segundo entrepiso del Modelo A.

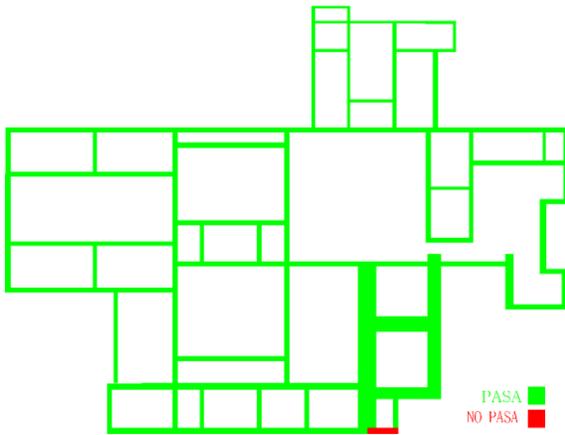


Figura 3.20. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el primer entrepiso del Modelo B.



Figura 3.21. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el segundo entrepiso del Modelo B.

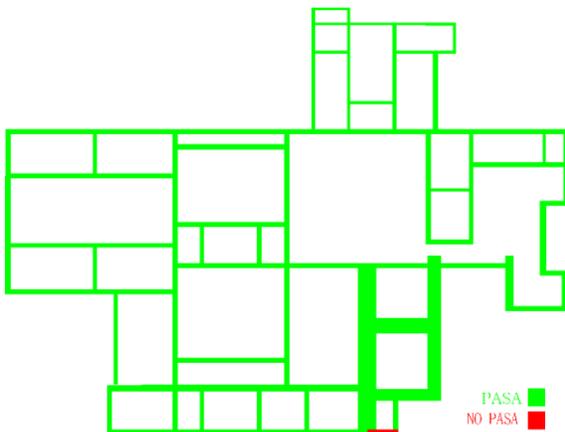


Figura 3.22. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el primer entrepiso del Modelo C.

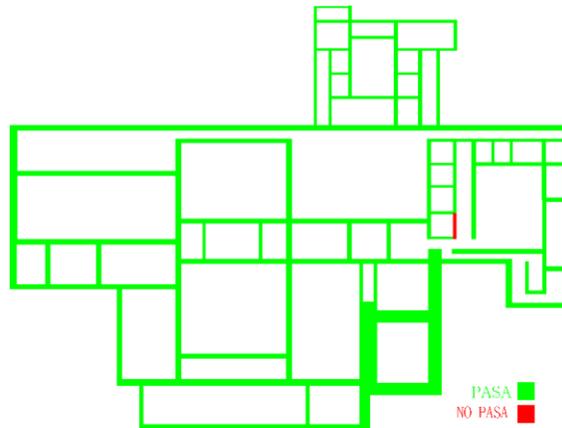


Figura 3.23. Revisión de fuerza cortante longitudinal en el segundo entrepiso del Modelo C.

La revisión de las fuerzas cortantes, concluye que en la planta baja solo un muro no pasa la revisión en los tres modelos. En lo que respecta a las columnas, ninguna se encuentra fuera del rango permisible de diseño, por lo que se concluye las columnas no tienen problema alguno por cortante.

### 3.3.5. Revisión de los desplazamientos del sistema de piso

La revisión de los desplazamientos se realizó solo para los sistemas de piso, dado que no se consideraron fuerzas laterales para el modelo numérico.

La revisión de los desplazamientos se realizó comparando el desplazamiento máximo de la losa, con un factor de cargas unitario, contra el desplazamiento máximo permisible. Para el cálculo del desplazamiento máximo permisible se consideró que las losas se apoyan sobre elementos estructurales no susceptibles a sufrir daños por deflexiones excesivas [3.10], por lo cual la fórmula empleada fue la siguiente:

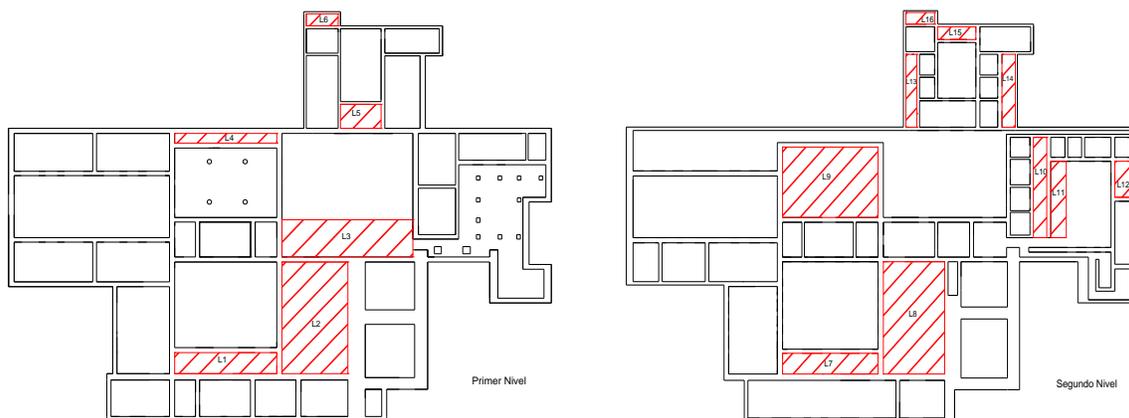
$$\Delta_{Per} = \frac{L}{240}$$

Donde:

$\Delta_{Per}$  = Flecha máxima permisible en la losa

$L$  = Distancia centro a centro de los apoyos

Esta revisión no se realizó a la totalidad de las losas del edificio, solo se analizaron las losas con claros largos y/o con notables desplazamientos evaluados a partir de la tabla 3.17. En la figura 3.24 se muestran las losas que fueron analizadas.

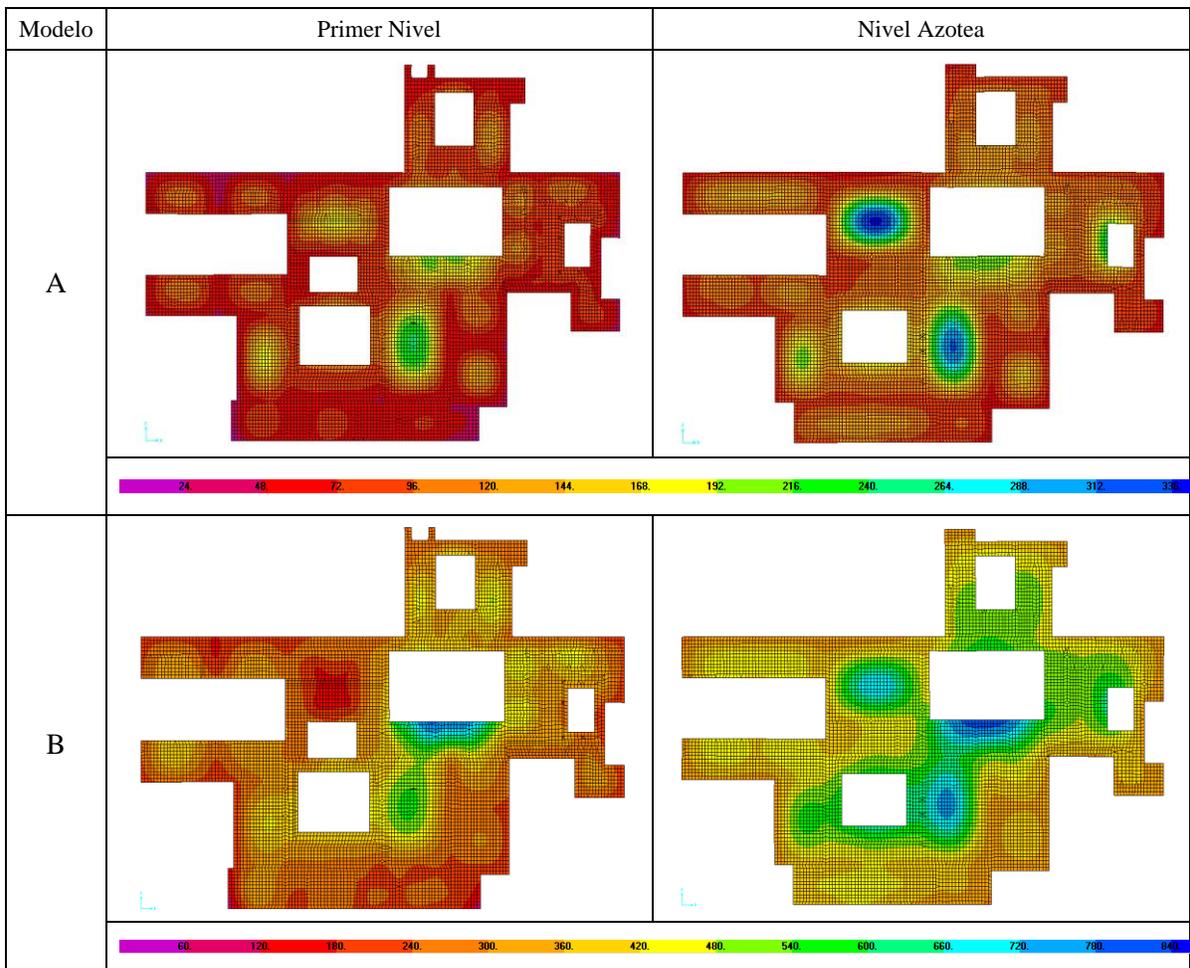


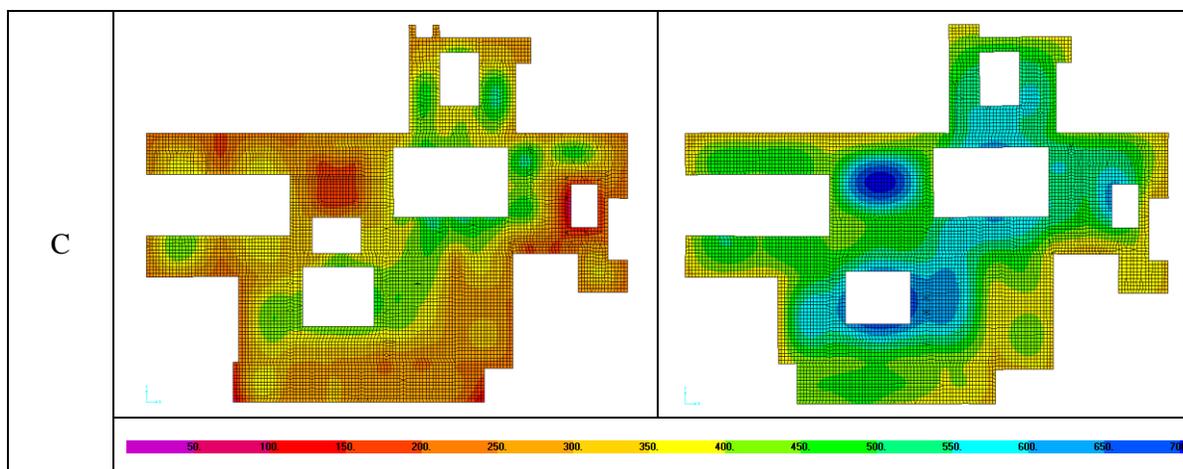
**Figura 3.24. Ubicación de las losas revisadas por desplazamientos permisibles.**

En la tabla 3.21 se muestran los desplazamientos de los Modelos A y B, mientras que la tabla 3.22 muestra los desplazamientos del Modelo C. Dichas tablas sirvieron como parámetro para elegir las losas con mayores desplazamientos para revisarlas, sin embargo también se escogieron las losas con claros largos.

Las cargas tomadas para esta revisión se afectaron por un factor de cargas (1) propuesto por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

**Tabla 3.21. Desplazamientos en las losas de los Modelos A y B.**



**Tabla 3.22. Desplazamientos en las losas del Modelo C.**

Los resultados de la revisión de desplazamientos en las losas se muestran en la tabla 3.23.

**Tabla 3.23. Resultados de la revisión por desplazamientos permisibles del Modelo A.**

	Modelo A		Revisión
	$\Delta_{losa}$	$\Delta_{m\acute{a}x}$	$\Delta_{m\acute{a}x} > \Delta_{losa}$
	cm	cm	
L1	0.11	1.44	Pasa
L2	0.22	4.08	Pasa
L3	0.21	2.19	Pasa
L4	0.07	0.85	Pasa
L5	0.1	1.63	Pasa
L6	0.06	0.77	Pasa
L7	0.13	1.44	Pasa
L8	0.3	4.08	Pasa
L9	0.34	4.2	Pasa
L10	0.13	0.94	Pasa
L11	0.23	1.46	Pasa
L12	0.1	1.25	Pasa
L13	0.12	0.73	Pasa
L14	0.12	1.02	Pasa
L15	0.12	0.86	Pasa
L16	0.08	0.77	Pasa

Con esto concluimos que la revisión de los desplazamientos permisibles en el Modelo A se encuentran dentro de lo permisible, mismo caso para los Modelos B y C. Con la tabla anterior confirmamos que la losa L9 es la losa con la mayor flecha del Modelo A.

### 3.4. Referencias del capítulo

- 3.1.- RANGEL G. M. 2004. Elementos estructurales de edificios coloniales de la Ciudad de México. Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Pág. 67.
- 3.2.- Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para Diseño Estructural de las Edificaciones. 2004. Pág. 9.
- 3.3.- Galvacer S.A. de C.V. Ficha técnica Deck 25.
- 3.4.- Novidesa. Sistema Makros. Ficha técnica.
- 3.5.- POPOV, P. E. “Mecánica de Sólidos”. Ed. Pearson Education. 2a Edición. México 2000.
- 3.6.- CASTELLANOS R. H. “Efectos del agrietamiento en la respuesta sísmica de un templo colonial típico” Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado de Ingeniería. Pág. 20.
- 3.7.- MELI, P. R. “Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos”. Fundación ICA. Primera Edición, México. Pág. 31 y 40.
- 3.8.- Normas Técnicas Complementarias de Madera. 2004.
- 3.9.- Normas Técnicas Complementarias de Mampostería. 2004.
- 3.10.- BOZZO, L. Modelación y dimensionamiento de losas mediante elementos finitos. Disponible en: <http://www.luisbozzo.com/files/Castellano/fil39649.pdf>. Consultado el 1/09/12.

## CONCLUSIONES

Con el fin de conservar los valores intangibles de una estructura histórica durante una intervención estructural, es necesario que dicho proyecto esté basado en el entendimiento total del comportamiento estructural del inmueble. De este modo, el diagnóstico y evaluación de la seguridad estructural deben estar basados en un análisis integral de la estructura. Este análisis involucra diversos aspectos, además de un análisis numérico propiamente dicho, como: análisis de las condiciones pasadas (análisis histórico, análisis de daños e intervenciones), análisis de las condiciones presentes (geometría, materiales, seguridad estructural), y análisis de las condiciones futuras (posibles cambios y deterioros, riesgo sísmico, hundimientos diferenciales).

En este contexto, se requiere que el ingeniero tenga un conocimiento global de la estructura y no enfocarse únicamente en los aspectos puramente “técnicos o numéricos”. Así, el ingeniero debe incluir dentro del proyecto estructural, un estudio histórico de la estructura, con base en el cual dará una valoración del estado actual del inmueble y ayudará a tomar las decisiones para su conservación en el futuro. Por lo tanto, el ingeniero se debe apoyar en otras disciplinas aparentemente desligadas con la suya, como la historia y la arquitectura. De aquí surge el proyecto multidisciplinario.

Es importante recalcar que la evaluación de la seguridad estructural de un edificio histórico no debe estar basada únicamente en cálculos numéricos; sino también en las evidencias sobre el comportamiento del edificio ante eventos pasados, es decir, con base en su propia historia.

Finalmente, de forma particular sobre el edificio utilizado como estudio de caso, se puede concluir que:

- 1.- El estudio histórico fue desarrollado satisfactoriamente, y la información recabada por éste concluye que el Palacio de la Autonomía es un inmueble con un alto valor cultural, arqueológico, histórico, arquitectónico y religioso. En el ámbito de la ingeniería evidenció un historial de cargas constante desde la Escuela Normal para Profesores en 1887 hasta 1978 cuando se desaloja el edificio, además de indicar la reutilización de muros del último convento en la construcción de la ENP. Sin embargo con el estudio histórico fue posible concluir que los problemas estructurales del edificio son consecuencia de los hundimientos diferenciales.
- 2.- Con el estudio histórico se logró determinar que los hundimientos diferenciales son provocados por los restos prehispánicos, específicamente a los restos del coatepantli situados principalmente en la zona Noroeste del edificio. Sin embargo se encontró que la constitución de los rellenos en el edificio es diferente, dado que las inmediaciones de la esquina Sureste históricamente ha empleado como patios, por lo que el historial de cargas entre la esquina Noroeste y la esquina Sureste es diferente, y por consecuencia se consolidan de forma diferente. Otro dato que influye de forma importante en este aspecto son los hundimientos regionales, debidos a la constitución del suelo debajo del edificio y que son acentuados por la extracción de agua del subsuelo, factores que no depende de la estructura, pero que sin embargo le influyen de manera importante.

- 3.- La revisión estructural histórica indica que algunos elementos no tenían el grado adecuado de seguridad que pide la reglamentación actual. Sin embargo, esto no significa que dicho edificio tuviese una seguridad estructural insuficiente. Esto indica que algunos elementos eran más críticos que otros, por la forma en cómo se fueron añadiendo y conservando a lo largo del tiempo. Precisamente, el estudio histórico es una herramienta útil para poder definir las partes críticas de la estructura.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto de Ingeniería – UNAM, por el apoyo económico y por facilitarme el uso de sus instalaciones para realizar la presente tesis.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Fernando Peña Mondragón por asesorarme en la presente tesis, en especial por toda la comprensión, el apoyo y los consejos tanto profesionales como personales.

Un especial agradecimiento al M. en I. Juan Miguel Meza Méndez por brindarme su apoyo incondicional y por los consejos para la presente tesis.

Agradezco mi profesora la M. en I. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez por las enseñanzas, el apoyo y los consejos recibidos.

Agradezco al M. en I. Julio César Manzano Ortiz por las correcciones y observaciones brindadas al presente trabajo.

Un agradecimiento a la Arq. María Inés González, al Arq. Ildefonso Galicia Morales y al Ing. Roberto Sánchez por las facilidades brindadas para la obtención de información.

Un sincero agradecimiento a mi familia y amigos por darme siempre una palabra de aliento, por su atención y por su cariño.