

129
24j

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

13^{avo} programa especial de titulación.

Tema:

**Informe y Análisis de las intervenciones para la conservación y mantenimiento de
la Catedral y Sagrario Metropolitanos del siglo XVI a la fecha.**

M. en Arq. Gemma Verduzco Chirinos
Arq. Eduardo Navarro Guerrero
Arq. Miguel A. Pérez Y González

Adán Héctor Ramírez Guzmán

No Cta.7157186-1

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

INDICE

PRIMERA PARTE: INFORMES

INFORME I

ANTECEDENTES GENERALES DE LA CATEDRAL Y EL SAGRARIO METROPOLITANOS

I.1	INTRODUCCION.....	1
I.2	CONSTRUCCION DE LA NUEVA CATEDRAL.....	2
I.3	CONCEPCION ESTRUCTURAL DE LA CATEDRAL.....	7
I.4	CIMENTACIONES ORIGINALES.....	9
I.5	CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CIMENTACION ORIGINAL DE CATEDRAL.....	10
I.6	UBICACION DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS SOBRE BASAMENTOS DE ESTRUCTURAS PREHISPANICAS.....	11

INFORME II

II	PRIMERA REPARACION DE LA SUPERESTRUCTURA CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1920.....	13
----	---	----

INFORME III

III	PRIMERA RECIMENTACION CORRESPONDIENTE AL AÑO 1934-1942.....	14
-----	---	----

INFORME IV

IV	RECIMENTACION DEL SAGRARIO METROPOLITANO CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1940.....	17
----	---	----

INFORME V

V	RECIMENTACION DE 1960 A 1964 DEL SAGRARIO METROPOLITANO.....	19
---	--	----

INFORME VI

VI	RECIMENTACION DE 1972-1976 DE CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS..	20
VI.1	Análisis complementario.....	22
VI.2	Trabajos efectuados en la recimentación en Catedral y Sagrario...23	
VI.3	Reclasificación de los pilotes de control según sus condiciones de trabajo actuales.....	24

INFORME VII

VII	CORRECCION GEOMETRICA DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS MEDIANTE EL METODO DE SUBEXCAVACION CONTROLADA.....	26
VII.1	Concepto.....	26
VII.2	Objetivos.....	26
VII.3	Procedimiento de subexcavación.....	27
VII.4	Equipo de subexcavación.....	27
VII.5	Etapas concernientes a un ciclo de subexcavación.....	28

SEGUNDA PARTE:

ANALISIS Y CONCLUSION

- 1.- ANALISIS Y CONCLUSION DEL RESULTADO DE LA PRIMERA REPARACION DE LA SUPERESTRUCTURA POR MEDIO DE REFUERZOS DE ACERO A LOS ARCOS EN EL AÑO DE 1920.....29
- 2.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL EN LOS AÑOS DE 1934-1942.....33
- 3.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN EL AÑO DE 1940.....34
- 4.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN LOS AÑOS DE 1960-64.....36
- 5.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS PILOTES DE CONTROL QUE SE INSTALARON EN LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL Y EL SAGRARIO METROPOLITANOS EN LOS AÑOS DE 1972-1976.....37
- 6.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SISTEMA DE SUBEXCAVACION CONTROLADA QUE SE APLICA AL SUBSUELO DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS A PARTIR DE 1992.....41
- 7.- COMENTARIOS.....47

BIBLIOGRAFIA

LAMINAS

FOTOGRAFIAS

INTRODUCCION

"Empezó pues, Don Fernando Cortés la fábrica de la iglesia antigua, disponiendo que se levantaran sus columnas sobre unos ídolos grandes de piedra...."

Así relata Isidro de Sariñana el cimiento del primer templo mayor de la Nueva España. Ref. 1

Cronistas e historiadores difieren sobre la fecha de inicio de la primitiva Catedral. En general se acepta que la conocida como Iglesia Mayor fue edificada entre 1524 y 1532. Según Diego Angulo Iníguez, a poco de conquistada la gran Tenochtitlan, se terraplenó el suelo frente al Templo Mayor de los Mexicas e inició la Iglesia Mayor.

En su edificación se utilizaron como base los pilares de las piedras esculpidas de los adoratorios indígenas. Se reconoce la participación de Martín de Sepúlveda, alarife que trabajaba en la ciudad hacia 1530.

La primitiva Catedral de México satisfizo las necesidades de los años iniciales de la capital de la Nueva España, pues - al decir de Jorge Alberto Manrique - el primer proyecto de vida novohispano fue rural y había imaginado para estas tierras un sistema teocrático y señorial, "dominada por frailes y encomendados".

Quizás por esto, cuando en 1554 Francisco Cervantes de Salazar describió a la Ciudad de México en sus diálogos en latín, dejó el testimonio del asombro ante "*se ha levantado un templo pequeño, bajo y pobremente adornado, una catedral tan pobre, tan baja, tan húmeda: las iglesias y conventos son más suntuosas.*" Ref. 2

Benavente añadía a Carlos V: "*La iglesia Mayor de México es la Metropolitana; está muy pobre, arcos estriados, capiteles dóricos, de ábaco cilíndrico y fuste liso, pero vieja y arremendada, que solamente se hizo de prestado 29 años ha.*"

La primitiva Catedral se ubicaba frente a las casas de Cortés, hoy Monte de Piedad, orientada de este a oeste, la puerta principal llamada "Del perdón" hacia el occidente; de espaldas al Templo Mayor.

García Izcazbalceta plantea que esta iglesia estaba en el ángulo suroeste del atrio de la nueva iglesia y García Cubas lo verifica al confirmar la existencia de los cimientos.

La planta según García Cubas, era rectangular, contaba con tres naves separadas por pilares ochavados con el techo central a dos aguas, y los laterales de vigas planas; la cubierta a escasa altura era de terrado. Tenía un frente de 18.30 m, constituido por una nave central de 7.30 m y dos naves laterales de 5.30 m; a su vez su eje longitudinal se constituía por 10 tramos techados de 7.30 m, es decir, con un fondo de 73 m.

La antigua Catedral fue objeto de diversas obras de mantenimiento entre 1539 y 1541, el hundimiento de los cimientos obligó a levantar un nuevo piso y subir el nivel de las tres puertas; en la década de 1580, se esfuerzan para consolidar la construcción que se deteriora rápidamente. Fueron importantes las reparaciones de 1585 para celebrar el Tercer Concilio, ordenado por el arzobispo y virrey Pedro Moya de Contreras. Ref. 3

CONSTRUCCION DE LA NUEVA CATEDRAL

La nueva Catedral Metropolitana se construyo en diferente lugar y posición a la Catedral antigua entre otras razones por que en ese lugar los suelos estaban tan blandos, que se decidió diseñarlo aprovechando el subsuelo preconsolidado de las construcciones aztecas. Ref.4

En la cédula emitida en el Pardo el 4 de mayo de 1569 por el rey Felipe II se ordenó que se hiciera la construcción de la nueva Iglesia Catedral de México en el sitio conveniente: "*Yo vos mando que proveáis y deis orden que en la obra y edificio de la Iglesia Catedral de esa Ciudad de México que nuevamente se hace, se gaste todo lo ques (tu) cobrado*". Ref. 5

Esta cédula fue complementada por la cédula del 20 de mayo de 1569 que se reproduce en dos de las cédulas originales firmadas por el rey Felipe II y otra por el rey Felipe III existentes en el archivo de la Catedral de México.

Originalmente la traza de la Catedral que se pretendió construir fue copia de la de Sevilla, el arzobispo Montúfar escribe a la corte: "*muy poderoso señor: Con el ayuda de Dios Nuestro Señor, el señor virrey y yo queremos comenzar la iglesia. La traza que hemos elegido de mejor parecer es la de Sevilla.....*"

Como quedará en una isleta cercada por cuatro calles, y no hay fortaleza, conviene que se haga con cuatro torres, una en cada esquina. Y remite la traza a España.

Antes de esperar aprobación alguna se procedió en 1556 a construir los cimientos como puede verse en el plano del centro de México que data de 1570. Ref.7

El proyecto era demasiado ambicioso y el mismo arzobispo lo comprendió; por eso el 18 de septiembre de 1558 vuelve a escribir: "*No bastaría todo el dinero para hacer una Catedral como la de Sevilla, debemos contentarnos con una semejante a la de Segovia o la de Salamanca*". Ref. 7

Se hicieron nuevos cimientos de norte a sur, dejando abandonados los otros que iban de oriente a poniente, en los años de 1563 a 1565. Ref.8

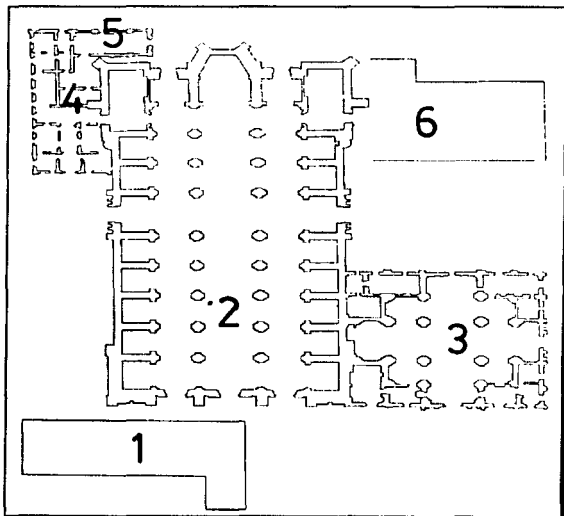
Estas cimentaciones pudieron comprobar su existencia al aparecer en las exploraciones hechas para definir los cimientos del Museo de Arte Colonial Religioso, diseñado por el arquitecto Manuel M. Ituarte en el año de 1934, para el antiguo Departamento de Bienes Nacionales de la Secretaría de Hacienda.

En la recimentación del Sagrario Metropolitano de 1972-1976, se encontró al reforzar los cimientos del Sagrario, que en una parte de su construcción se aprovecharon los primeros cimientos de siete naves de la Catedral de que habla el arzobispo Montúfar, que se encontraban cercanos a la torre del lado oriente de Catedral. Ref. 9

Dos documentos, uno fechado en 1569 en el Pardo y el otro en 1570 en México, señalan el definitivo cambio de rumbo en el proyecto catedralicio. En el último de éstos, "*se acordó que la Catedral se plante y edifique..... en dirección norte sur, poniendo la Puerta del Perdón hacia la Plaza Mayor y el campanario a la cabezada de la dicha iglesia que se hubiere de hacer, e que sea de tres naves claras y a los lados de ellas sus capillas colaterales y que todo se cubra de madera.*" Ref.10

En el año de 1573, tuvo lugar la solemne colocación de la primera piedra de dicha Catedral, en el sitio más eminente de la ciudad inmediato a la antigua iglesia Catedral, con asistencia del virrey Enríquez, y por sede vacante del arzobispo fray Alonso de Montúfar, iniciador de la obra, concurrió el inquisidor Pedro Moya Contreras, nombrado provisionalmente administrador de la obra, asistiendo las autoridades virreinales y religiosas, y necesariamente, el maestro mayor Claudio de Arziniega, y el obrero mayor Juan de Cuenca. Ref. 11

Lámina 1



Cronología de las etapas constructivas de la Catedral Metropolitana.

Nº	Descripción	Construcción	Demolición
1	Catedral antigua	1524-1532	1625
2	Catedral Metropolitana	1573-1813	
3	Sagrario	1749-1768	
4	Actual museo	1725	
5	Capilla de ánimas	1725	
6	Seminario	1795-1800	1933

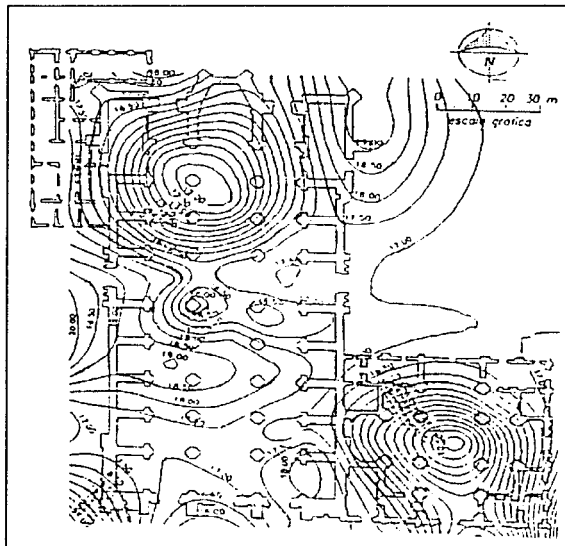
La Catedral Metropolitana, orientada de norte a sur y con la fachada principal hacia la plaza de armas, se construyó en diferente lugar y posición a la de la Catedral antigua entre otras razones por que en este lugar los suelos estaban tan blandos que se decidió diseñarlo aprovechando el subsuelo preconsolidado por las construcciones aztecas; sin embargo, la ubicación y dimensiones de los monumentos prehispánicos indujeron esfuerzos de preconsolidación variables en las arcillas blandas subyacentes, causando zonas de compresibilidad desigual.

Las diferencias en la compresibilidad contribuyeron substancialmente al desarrollo de asentamientos diferenciales casi desde el inicio de su construcción.

La diferencia de profundidad de las depresiones se debe a que las pirámides que se construyeron en esas zonas eran de diferente tamaño, y por consiguiente, las más grandes transmitían una mayor presión al suelo.

Estas estructuras generaron una mayor consolidación en el área que ocupaban y por lo tanto, con el paso del tiempo, las deformaciones que se presentan en estas zonas son menores que en las zonas donde no las hubo. Ref. 12

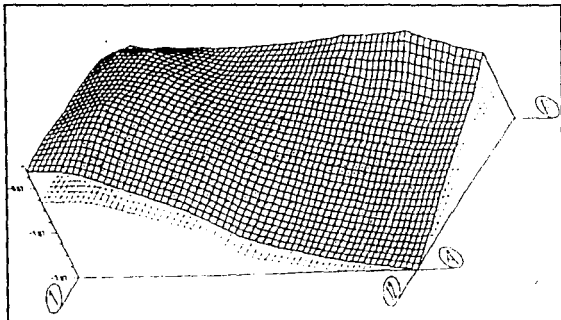
lamina 2



Configuración topográfica que muestra diferentes alturas, principalmente una zona más baja en el surponiente y otra más alta en la zona central norte de la Catedral; en el Sagrario se observa una zona elevada en el centro geométrico del edificio, que correspondería a la pirámide del sol que se encuentra bajo ese edificio. Ref. 13

Desarrollo en isometrico de los diferentes niveles existentes en Catedral Metropolitana

Lamina 3



En esta lámina puede observarse que los desplomos presentan una tendencia uniforme hacia el surponiente coincidente con la deformación del piso.

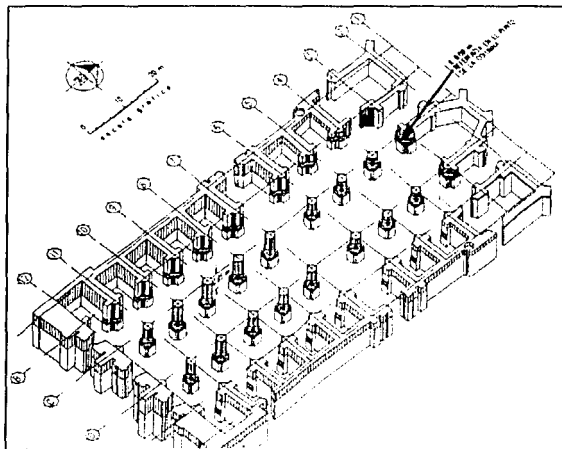
El área de mayor asentamiento se encuentra en la torre poniente, que ha acumulado desde su construcción a la fecha un desnivel de 2.4 m con respecto a la zona del ábside y de 1.4 m en relación con la torre oriente. Ref. 14

El proceso de carga que ha tenido lugar en la extensión que ocupan los templos está asociado a la existencia de varias pirámides de diferentes tamaños, y al complejo proceso de su sobreelevación obligado por los hundimientos que se desarrollaban en el suelo blando de la cimentación casi desde el inicio de la construcción.

La existencia de zonas preconsolidadas, indujo hundimientos diferenciales que se fueron corrigiendo a medida que la construcción avanzó y que continuaron manifestándose hasta finales del siglo XIX. A partir de esa fecha se inicia el hundimiento regional de la ciudad, provocado por la extracción de agua de los mantos profundos; que desde entonces ha incrementado los hundimientos diferenciales. Ref. 15

Lámina 4

Vista de los incrementos de fustes y muros durante el proceso de construcción de 1573-1667



Para poder corregir los cambios de altura producidos por los hundimientos diferenciales inducidos desde el inicio de su construcción, tuvieron que corregir la altura de las columnas y muros para nivelar el arranque de las bóvedas, además de otros artificios arquitectónicos para disimular el efecto de los asentamientos, como la altura de las cornisas, y la corrección de niveles mediante sillares que gradualmente disminuyen la altura.

Los asentamientos acumulados a través de 419 años, desde el inicio de la construcción hasta la actualidad, ha generado un diferencial máximo de 2.40 m. entre el ábside y la torre poniente, y de 1.40 m entre ambas torres, manifestándose desplomos de muros y columnas, así como elongación de la cuerda de los arcos formeros de las bóvedas y distorsiones de toda la estructura, que acumuladas incrementan el riesgo sísmico.

Ref. 16

CONCEPCION ESTRUCTURAL DE LA CATEDRAL.

Para poder entender la problemática de la situación actual es necesario comprender su funcionamiento estructural.

La Catedral Metropolitana es un templo de cinco naves: las dos laterales extremas divididas en pequeñas capillas por gruesos muros de mampostería, dos naves procesionales y la central limitadas por las columnas de sillares. Esta ingeniosa concepción permite un trabajo de conjunto, que se podría describir como una estructura de gravedad en la que las fuerzas y empujes horizontales son resistidos por los muros laterales, dicha solución le hizo posible resistir una intensa historia sísmica, dos grandes inundaciones, y enormes deformaciones diferenciales; sin embargo a sobrevivido gracias a un continuo proceso de mantenimiento iniciado prácticamente desde que se concluyeron las bóvedas en 1667.

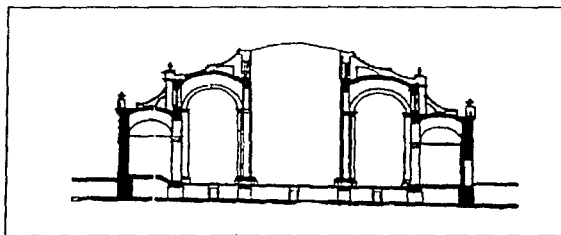
La comprensión de este sistema arquitectónico, exige conocer el comportamiento de los elementos que la constituyen; el cual queda condicionado por su capacidad para tomar los esfuerzos de trabajo.

Las mamposterías son capaces de tomar compresiones pero son débiles ante las solicitaciones de tracción; es por eso que desde un principio se deben establecer las restricciones geométricas que garanticen la estabilidad cinemática (estudio del movimiento) de los sistemas abovedados. En ellos, los arcos, muros y contrafuertes conducen las fuerzas hasta la cimentación, donde son equilibradas por la reacción del suelo.

El partido arquitectónico de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos responden a la necesidad de confinar al sistema abovedado que constituye los espacios de culto; también garantiza la permanencia de los arcos y columnas, cuya fragilidad establece mecanismos que sin confinar serían inestables.

Los conceptos anteriores fueron medulares en la concepción arquitectónica de la época y determinaron esquemas compositivos dentro de los que se resolvió la geometría particular de los edificios. La tradición arquitectónica de construcción de estereoestructuras se enriquece en estos monumentos por las exigencias del medio físico y las circunstancias históricas.

Lámina 5



Las naves procesionales techadas con bóvedas de platillo transmiten a los muros de contrarresto el empuje de la bóveda de la nave central y por ellas continúan eslabonándose los elementos en el espacio. Los muros de fachadas, división de capillas y los que dan a las naves procesionales de las dos crujías exteriores del templo, junto con el pedraplén de cimentación son el contrarresto tubular y continuo para las bóvedas del templo. Ref. 17

Como se explicó anteriormente los corrimientos de los apoyos por el hundimiento diferencial generan flexiones en la estructura de mampostería y la flexión exige capacidad de tracción en estos materiales, que como se ha dicho no la tienen. Esto implica que se desarrollen fracturas por flexión en las zonas sujetas a tracción y acercamiento o cierre en las zonas solicitadas a compresión.

Lámina 6

Al bajar un apoyo se produce una inclinación y este fenómeno incrementa la luz del claro.

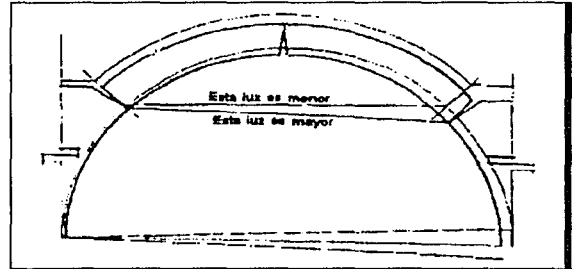


Lámina 7

Vista de la sollicitación de esfuerzos en el arco original y vista de la deformación por aumento de la luz que produce una grieta por intrados en la clave y grieta por extrados en arranques descenso en la clave por incremento en la flecha real.

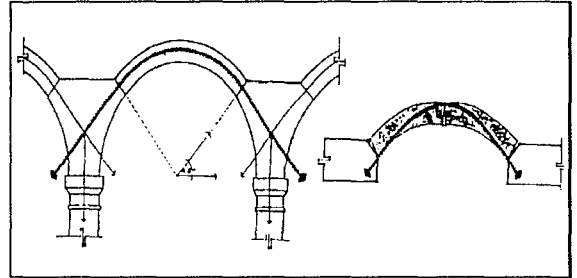
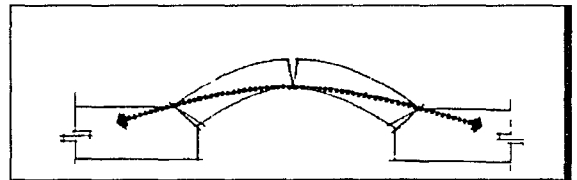


Lámina 8

Deformación por disminución de la luz que produce una grieta por extrados en la clave y grieta por intrados en arranques ascenso de la clave por reducción de la flecha real.



Por todo lo anterior se subraya la enorme importancia que tiene el conservar el anillo de contrarresto y sus relaciones espaciales con el conjunto de bóvedas; por que cuando se alejan los apoyos, se reducen las flechas de las bóvedas, y al reducirse el brazo de palanca del par de equilibrio crecen los empujes horizontales y se establece una cadena de deformaciones destructivas que de no corregirse pueden alcanzar esfuerzos de niveles peligrosos. Ref. 17

CIMENTACIONES ORIGINALES

Un documento del año de 1570, contiene el dictamen de un grupo de maestros arquitectos, quienes informan que "*nos parece que el pavimento de todo el edificio comprendiendo vacuas y macizo se saca de una masa y estructura de su mezcla y piedra crecida desde la superficie del agua hasta un estado sobre el suelo de la plaza, estacándolo por debajo con sus estacas gruesas y espesas hasta ponella en lo más fijo y sobre esta dicha cepa se ergirán sus cimientos crecidos de dos varas de medir de alto para los enterramientos y sepolturas que ha de haber en la dicha iglesia y de allí empezará a despedir el edificio fuera de la tierra porque de allí para abajo queda por cepa y carcañal el edificio*". Ref. 18



Fotografía 1

En esta Fotografía pueden observarse parte de las cimentaciones originales que se descubrieron durante excavaciones efectuadas en el patio oriente de la Catedral Metropolitana.

Características generales de la cimentación de la Catedral Metropolitana.

En 1573 el alarife mayor Claudio de Arciniegas inició la construcción, con un conocimiento empírico acerca de la deformabilidad de los suelos blandos lacustres del Valle de México; seguramente basado en la experiencia azteca en la construcción de sus grandes obras. El reto de cimentar esta notable estructura, lo llevó a concebir una compleja cimentación constituida por:

1.- Una retícula de pilotes o estacones de madera de 20 a 25 cm de diámetro, de 2.2 a 3.2 m de longitud, colocados aproximadamente a cada 60 cm, lo que implica aproximadamente 22,500 piezas.

2.- Un firme de mortero a base de cal y arena de 30 cm de espesor promedio colocado sobre una delgada capa de carbón vegetal. Este firme recibió a los pilotes y constituyó la transición al pedraplén que se utilizó para distribuir las cargas; la función del carbón vegetal no se ha aclarado.

3.- Un pedraplén de 0.90 a 2.0 m de espesor de mortero de cal-arena con roca basáltica y algo de tezontle; en él se apoyan las contratraves. Sus cuatro esquinas tienen áreas de mayor espesor, que hubieran soportado igual número de torres, aunque sólo se erigieron las del lado sur.

4.- Una retícula de contratraves de mampostería de 3.50 m de peralte y 2.50 m de espesor promedio que reciben los muros y en sus cruceros a las columnas. Los espacios limitados por las contratraves se rellenaron con tierra. Ref. 6



En esta fotografía se puede observar el pedraplén con un espesor promedio de 2.0 metros en la construcción de una lumbrera. Fotografía 2

UBICACION DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS SOBRE BASAMENTOS DE ESTRUCTURAS PREHISPANICAS

"...empezó, pues, Don Fernando Cortés la fábrica de la iglesia antigua, disponiendo que se levantarán sus columnas sobre unos ídolos grandes de piedra..."

Así relata Isidro Sariñana el cimiento del templo mayor de Nueva España - en las frases de Sariñana se vislumbra el conflicto de la sociedad que se había de integrar a partir de aquellos momentos; conflicto cuya consideración frecuentemente nubla la vista y oculta las grandes realizaciones de los incontables ingenios de uno y otro origen que han contribuido a configurar nuestra Nación. Ref. 1



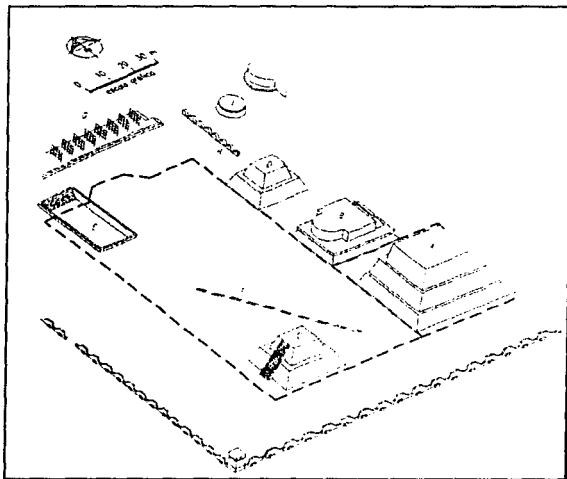
En esta fotografía se observan restos de estructuras aztecas que aparecieron en excavaciones en el patio oriente de la Catedral Metropolitana. Fotografía 3

En la siguiente gráfica se reproduce la ubicación de las estructuras aztecas según A. Villalobos.

Se desconoce con precisión su tamaño y localización aunque se sabe que se aprovecharon como banco de material. Ref. 19

Lámina 9

- A Templo de Tonatiuh
- B Templo de Ehécatl-Quetzalcóatl
- C Basamento piramidal vista Pte.
- D Basamento piramidal vista Ote.
- E Patio hundido
- F Acueducto
- G Tzompantli
- H Muro de serpientes
- I Pequeña estructura circular



Fotografía 4

En esta gráfica se observa un costado de la pirámide de Tonatiuh que se descubrió en la recimentación de 1972 en el sótano del Sagrario Metropolitano.

Se puede admirar un calendario azteca en el que se conserva el policromado.



PRIMERA REPARACION DE LA SUPERESTRUCTURA CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1920.

Desde principios de siglo se hizo necesario hacerle a la Catedral Y Sagrario Metropolitanos grandes reparaciones, destacando en 1920, cuando se reforzó el tambor de la cúpula y muchos de los arcos con estructuras de acero.



En esta fotografía se puede observar un arco zunchado con elementos de acero.
Fotografía 5



En esta fotografía pueden observarse en la parte superior la cabeza de un tornillo y en la parte inferior la tuerca de un tornillo que sostiene los zunchos de acero. Fotografía 6

PRIMERA RECIMENTACION CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1934-1942

En 1929, la Comisión Técnica de la Catedral y Sagrario encargó al Arq. Manuel Ortiz Monasterio estudiar la cimentación de los dos templos, por que los hundimientos les habían generado daños estructurales alarmantes.

A su vez el Ing. Roberto Gayol fue el encargado de la evaluación de dicho estudio.

De 1934 a 1942 los señores Arquitectos A. Muñoz, M. Cortina y M. Ortiz Monasterio, reforzaron con concreto la reticula de las traves de mampostería de la cimentación capacitándola para la flexión que reciben.

Esta reticula descansa sobre la plataforma corrida de mampostería que a su vez se conformó sobre un abigarrado estacado, hincado para salvar el fango superficial.

El trabajo de los señores arquitectos Muñoz, Cortina y Ortiz Monasterio consistió en el mejoramiento de las traves de la cimentación, mediante cuerdas longitudinales de acero y anillos que la rodean y atan entre sí; las cuatro cuerdas longitudinales de acero actúan como refuerzo de cortante, a manera de grandes estribos para estas vigas compuestas de mampostería con recubrimiento de concreto reforzado.

Este mejoramiento estructural incluyó la construcción de los muros cruzados de respaldo entre las gavetas para criptas, también de concreto reforzado, y que ahora forma parte del sistema de cimentación. Ref. 20

En la fotografía siguiente se nota una vigueta de acero y el concreto reforzado de las vigas compuestas que aparecieron al demoler para construir una lumbrera.



fotografía 7

Otras medidas que se tomaron fueron:

a) Demoler lo que había sido el edificio del seminario, con el propósito de descargar la zona oriente; por su parte los trabajos en las cimentaciones se demoraron hasta principio de los años cuarenta.

B) Vaciar las celdas de cimentación, pues de acuerdo con los análisis del Arq. Ortiz Monasterio al vaciar las celdas de cimentación de la Catedral la presión media de contacto disminuyó de 14.3 ton/m^2 a 10.8 ton/m^2 , lo que representó un decremento del 25%. Ref. 21

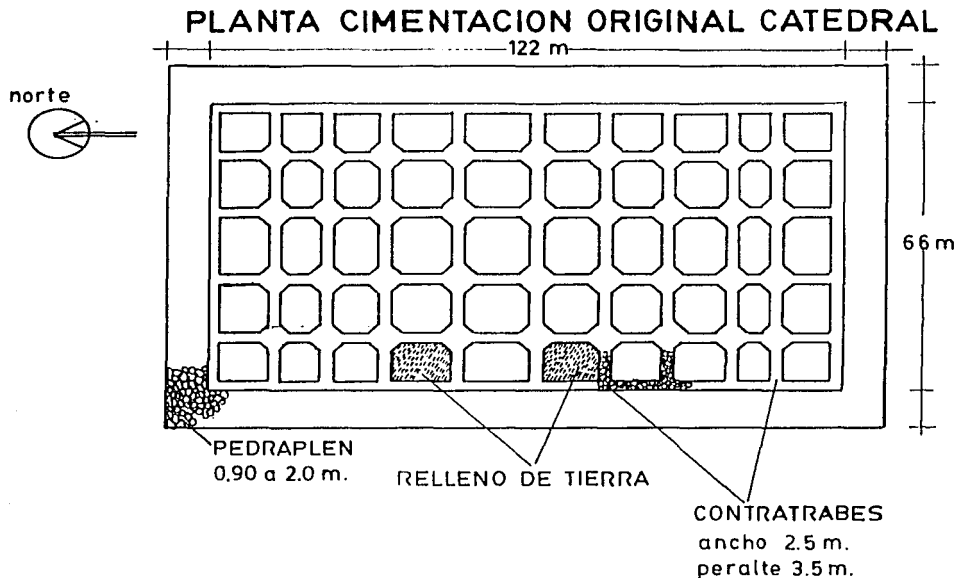
Las obras realizadas en la Catedral en 1937, aliviaron a la cimentación del relleno que colmaba la retícula de las contratrabes, para la utilización del espacio en la construcción de criptas, se construyeron losas de concreto de techo y piso en ese nivel y se forraron las contratrabes de mampostería con muros de concreto armado. Ref. 22

fotografía 8

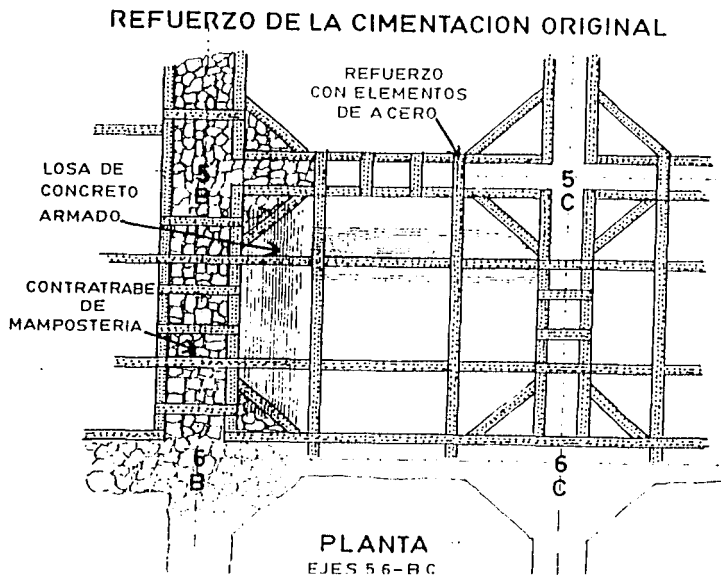


El mejoramiento estructural incluyó la construcción de los muros cruzados de respaldo entre las gavetas para criptas, también de concreto reforzado, y que ahora forma parte del sistema de cimentación.

PLANTA DE LA CIMENTACION ORIGINAL DE CATEDRAL
Lámina 10

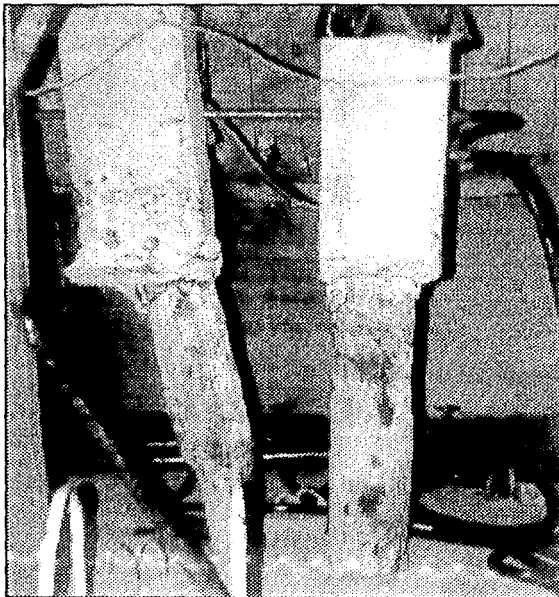


REFUERZO DE LA CIMENTACION ORIGINAL
Tomado del plano "Obras a Cargo de la Comisión Diocesana de Orden y Decoro"
Refuerzo de la cimentación Arq. A. Muñoz G. Lámina 11



RECIMENTACION DEL SAGRARIO METROPOLITANO CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1940.

En la década de 1940 se recimentó el Sagrario Metropolitano mediante pilotes de madera de 25 cm de diámetro promedio; para protegerlos de la alteración y efectos del cambio de posición del nivel freático, los 2 a 3 metros superiores se fabricaron de concreto en sección cuadrada. No existen datos del número de pilotes hincados. Ref. 23

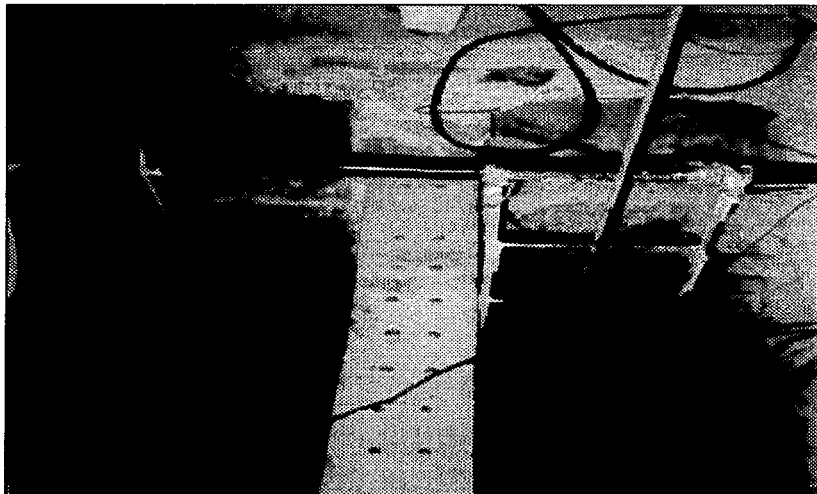


Fotografía 9

En esta fotografía se observan algunos de estos pilotes que aparecieron en el sótano del Sagrario metropolitano de la recimentación de 1940.

En el Sagrario Metropolitano también se puede observar el refuerzo del piso de feligresía con una losa de concreto y una retícula de traveses de acero como en la cimentación de la Catedral Metropolitana..

Fotografía 10



En esta fotografía se observa una trabe de acero que se encuentra al centro de la lumbrera 29 de Sagrario.

RECIMENTACION DE 1960 A 1964 DEL SAGRARIO METROPOLITANA

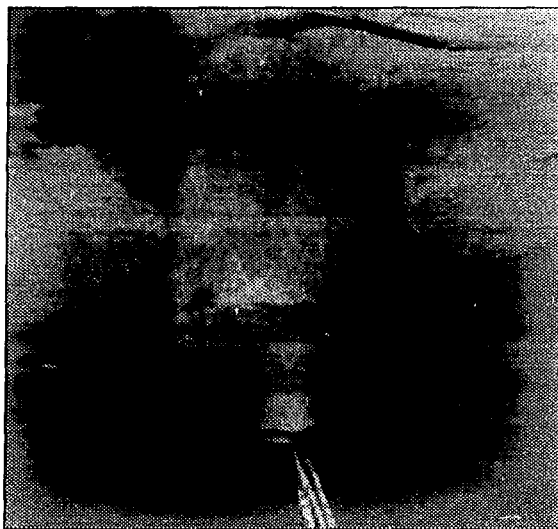
De 1960 a 1964 se instalaron pilotes circulares de concreto tipo MEGA, anclados a la retícula y losa de concreto. No se conoce el número de pilotes que fueron hincados y su distribución. Ref. 24

El pilote "MEGA" en toda su longitud está compuesto de tramos de concreto de sección circular o cuadrada, según se requiera en el proyecto correspondiente de cimentación. Los tramos están provistos en su centro de una perforación circular de 9 cm de diámetro, la que sirve para verificar la verticalidad y continuidad del pilote, durante su clavado y al terminarlo.

La perforación central sirve también para colocar cierta cantidad de acero de refuerzo, según se especifique en el proyecto de cimentación, para que el pilote en toda su longitud pueda trabajar a esfuerzos de tensión. Ref. 25

Estos pilotes están anclados a la retícula y losa de concreto del Sagrario.

En las celdas bajo el Sagrario se advierten numerosas puntas de esos pilotes, demostrando que muchos de ellos no pudieron ser hincados; el resto se desconoce la profundidad a la que penetraron por no existir registros.



Fotografía 11

En esta gráfica se observan los restos de un pilote colgando de la losa techo del sótano (piso de feligresía) del Sagrario Metropolitano

RECIMENTACION DE 1972-1976 DE CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANO

A partir del año de 1972 la entonces Secretaría del Patrimonio Nacional, dio principio a los estudios preliminares que sirvieron de base para ejecutar el proyecto de recimentación de la Catedral de México y Sagrario Metropolitano. Las acciones preliminares se iniciaron con base en un estudio de mecánica de suelos, realizando cuatro sondeos hasta profundidades de 40 a 41 m.

En cada uno de los sondeos se determinó el nivel freático, el espesor del relleno superficial y la profundidad del manto resistente.

Sobre muestras inalteradas obtenidas a diferentes profundidades, se efectuaron los ensayos de consolidación, elaborándose los registros en los que se muestran las relaciones entre los vacíos y presiones aplicadas.

Con el fin de evaluar los asentamientos diferenciales que habían sufrido las estructuras de la Catedral y el Sagrario, se efectuaron nivelaciones de cada monumento para determinar los niveles existentes.

En ese tiempo se compararon los asentamientos diferenciales con registros obtenidos en el año de 1934, con objeto de conocer los movimientos de las estructuras, llegando a las siguientes conclusiones:

1.- El desnivel máximo de la Catedral era de 2.25 m entre la zona más baja localizada en la parte suroeste del edificio y la más alta en el altar de los reyes.

2.- En el Sagrario los desniveles alcanzaron un máximo de 90 cm, localizándose la zona más baja en la esquina sureste del edificio.

3.- Como consecuencia de los asentamientos diferenciales, las columnas y muros presentaban fuertes desplomes, alcanzando valores hasta de 30 cm.

Como consecuencia de los asentamientos diferenciales, la superestructura de la Catedral y el Sagrario presentaban desperfectos que afectaban tanto elementos estructurales - bóvedas y muros- como ornamentales -pretilos, pináculos y balaustradas.

La importancia de los daños comprometía a tal grado la integridad del monumento que se determinó, antes de emprender la recimentación, restaurar los muros y bóvedas localizando las fisuras aparentes tanto en el intrados como en el extrados, siguiendo su trayectoria y asentando su ubicación, dirección y magnitud en planos y tablas.

Se procedió a obturar las fisuras a base de inyecciones de mortero a presión compuestas de una lechada de cemento, cal, arena y aditivo estabilizador de volumen. Ref. 26

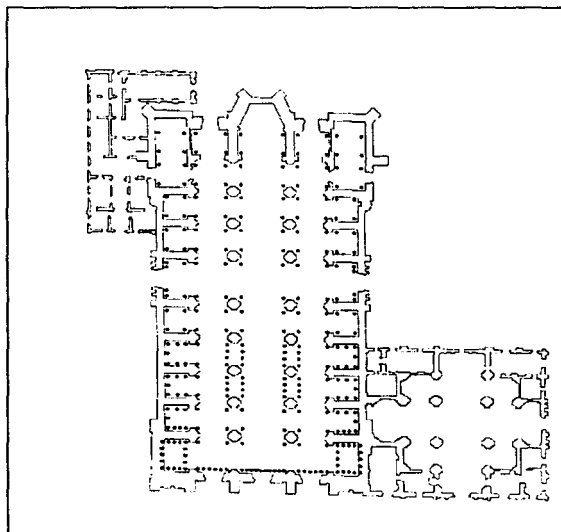
El diseño de la recimentación se encomendó al Ing. Manuel González Flores, quien concluyó que con los pilotes de control se resolvería el problema.

Las soluciones se orientaron hacia procedimientos constructivos que no afectaran los espacios ocupados por los nichos.

La solución definitiva, consistió en la utilización de los espacios huecos que la construcción de las criptas había dejado alrededor de las columnas.

En el estudio de la Secretaría del Patrimonio Nacional, se concluyó que la superestructura de Catedral pesa 75,160 ton, la cimentación 36,130 ton, y el área del templo corresponde a 7,140 m², se recomienda la instalación de 280 pilotes apoyados en la capa dura, localizados todos en el interior del templo y distribuidos con mayor densidad en la parte sur. Ref. 27

Lámina 12



En el estudio se anota que los pilotes de 40 y 45 cm de diámetro tendrán una capacidad de 72 y 90 ton, respectivamente. Ref. 26

Se afirmaba:

a).-Los pilotes de control reducirían el trabajo de la cimentación original un 25 %, apoyando esta carga en el manto resistente localizado a 38 y 40 m de profundidad.

b).-Con sus sistemas de control permitirían ajustar el descenso del edificio respecto al terreno circundante según se modificaran los asentamientos.

c).-Uniformizarían los hundimientos diferenciales dentro de las mismas estructuras.

Análisis complementario.

El Ing. Vicente Guerrero y Gama hizo un análisis complementario de evaluación de los trabajos de recimentación al que llamó "Algunos cálculos relativos a la recimentación de la Catedral y Sagrario Metropolitanos", con énfasis en la Catedral.

Este estudio contiene un análisis detallado del peso de la Catedral para interpretar las condiciones de esfuerzo de las traveses de mampostería reforzadas con viguetas de acero y concreto. Sobre los pilotes evaluó su capacidad de trabajo, concluyendo que esta debía ser del orden de 65 ton. El peso de la Catedral lo estimó en 127,000 ton y en 2,700 ton la máxima carga individual en las columnas. Ref. 28

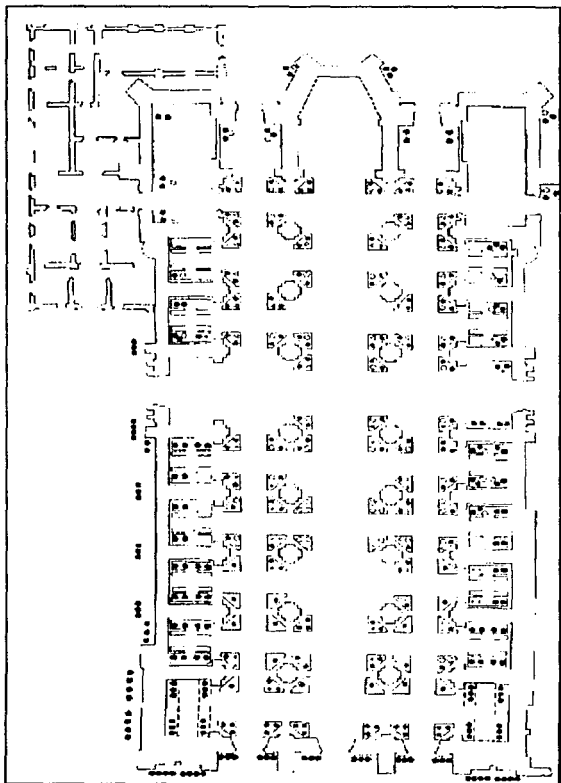
Las dificultades que se presentaron para instalar los pilotes obligaron a modificar el proyecto, colocándolos donde las condiciones lo permitían, esto no fue documentado, a pesar de haber realizado con anterioridad numerosas calas de exploración el diseño fue contantemente ajustado a las condiciones específicas de cada zona. Ref. 26

Lámina 13

En esta gráfica podemos observar la diferencia de ubicación de los pilotes por las dificultades que se presentaron en su colocación.

Se colocaron en total 516 pilotes de control: 383 y 133 en Catedral y Sagrario Metropolitanos respectivamente.

Aquí se observa que existen pilotes colocados en el exterior del templo, a diferencia del plano original en que el sombreado solo se contempló en el interior del templo. Ref. 29



Trabajos efectuados en la recimentación en Catedral y Sagrario Metropolitanos en los años de 1972-1976

Tipo de pilote:

Se utilizaron pilotes de concreto reforzado de 250 kg/cm^2 de resistencia a la compresión en tramos precolados de 90 cm y en diámetros de 40 y 45 cm. el acero de refuerzo se colocó en un paquete central con muy pobre continuidad.

Se instalaron con diferente número de celdas de madera de $5 \times 5 \text{ cm}$ que variaron de 2 a 42 piezas lo que aunado a la consideración del Ing González Flores de que cada celda de madera soportaba 3 ton. los pilotes quedarían soportando en su cabeza de 12 a 126 ton (ver croquis anexos).

Para la construcción de los dados de la Catedral y recimentación del Sagrario se utilizaron $6,500 \text{ m}^3$ de concreto, 900 toneladas de acero y fue necesario remover $30,000 \text{ m}^3$ de tierra. Ref. 26

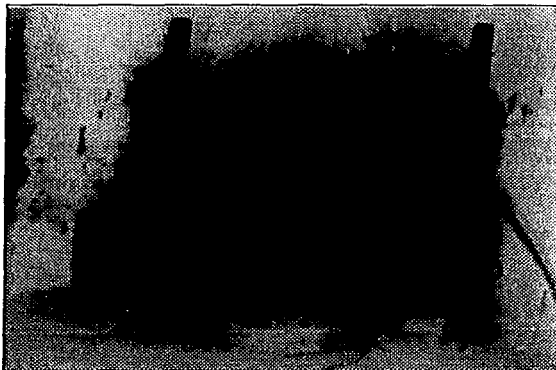
Paralelamente a la recimentación de la Catedral y Sagrario se llevó a cabo una nueva instalación eléctrica y de iluminación, la restauración de la Sacristía de la Catedral donde se ubica la extraordinaria obra pictórica de Cristóbal de Villalpando y de Juan Correa; se llevó a cabo la restauración de los Organos Tubulares, instrumentos musicales únicos en América Latina.

Como complemento se llevó a cabo la restauración de los siales del coro construidos por Juan de Rojas en 1695 ; del fascistol, hecho en Filipinas en 1762 y el Retablo de los Reyes, obra insigne de Jerónimo de Balbás.

Fotografía 12

Este pilote de control es uno de los que se instalaron en el Sagrario y pueden notarse sus diferentes partes:

- a) Pilote
- b) Estabilizadores
- c) Celdas de madera (3 camas)
- d) Puente de control
- e) Espárragos
- f) Tuercas de ajuste



Reclasificación de los pilotes de control según sus condiciones de trabajo actuales.

A continuación se presenta la nueva clasificación de los pilotes de control de la Catedral y Sagrario hincados en la recimentación de 1972-1976, de acuerdo con el revisiones efectuadas y los criterios establecidos, distinguiendo entre pilotes de fricción, de punta e inclinados o rotos.

a) Pilotes de fricción.

Son aquellos que al ser hincados no alcanzaron la capa dura.

b) Pilotes de punta.

Los de punta están apoyados en la capa dura

c) Pilotes inclinados o rotos.

Tienen la punta apoyada en una cota inferior.

De los 387 pilotes de Catedral de la recimentación de 1972-1976 se clasifican:

174 pilotes como de fricción (45%)

121 pilotes como de punta (31%)

79 pilotes como inclinados o rotos (20%)

* de los pilotes restantes no se conoce la cota de punta.

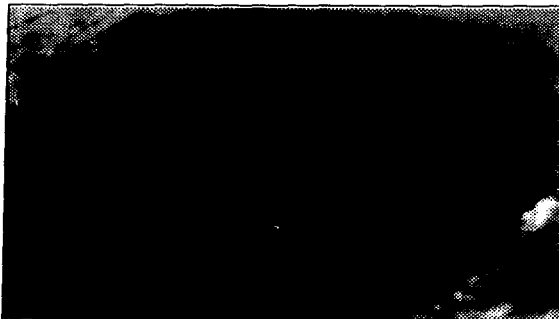
De los 129 pilotes de Sagrario

83 pilotes como de fricción (64%)

15 pilotes como de punta (12%)

31 pilotes como inclinados o rotos (24 %) Ref. 30

Fotografía 13

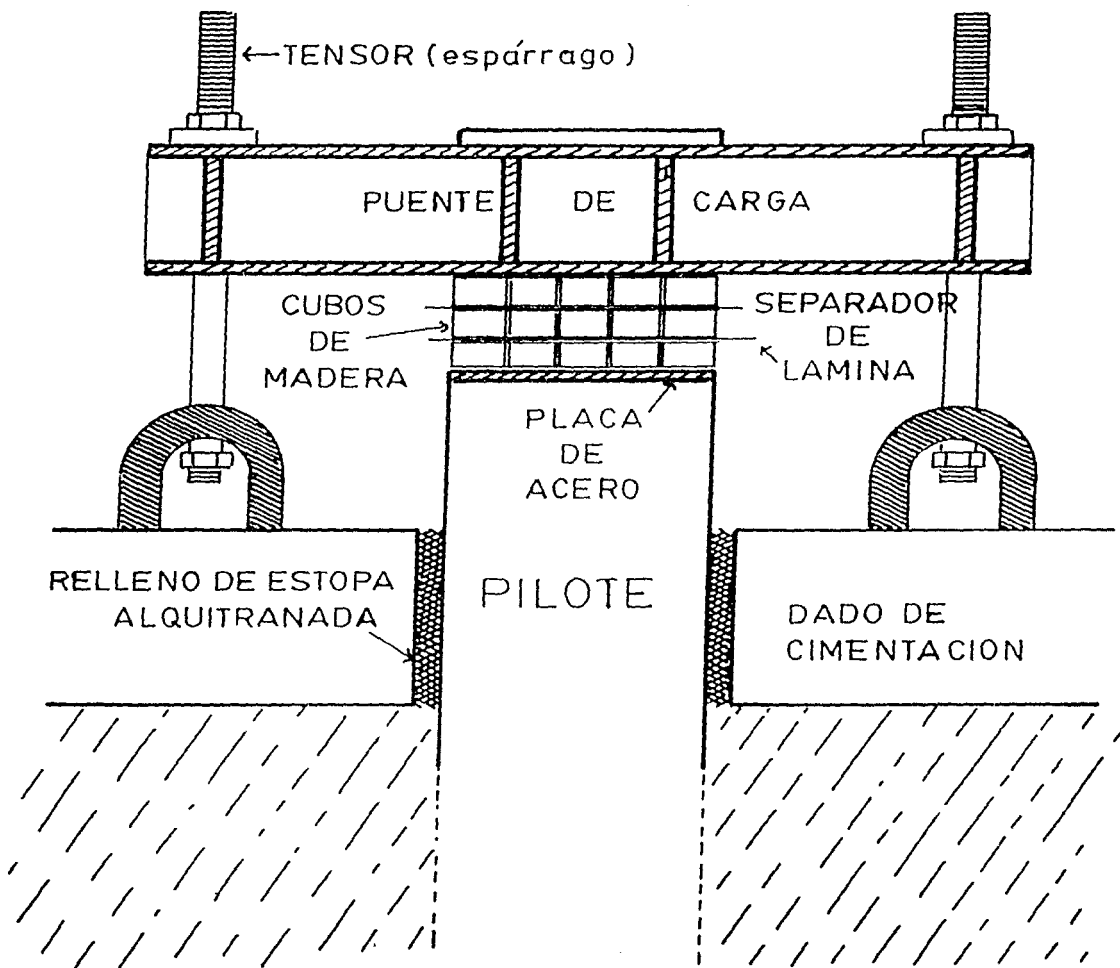


En esta fotografía tomada en el sótano del Sagrario Metropolitano se observa una de las perforaciones que se efectuaron en la que no se colocó el pilote de control.

PILOTES DE CONTROL COLOCADOS EN CATEDRAL Y SAGRARIO
METROPOLITANOS EN 1972-1976.

Lámina 14

PILOTE DE CONTROL



CORRECCION GEOMETRICA DE CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS MEDIANTE EL METODO DE SUBEXCAVACION CONTROLADA..

Concepto:

Para modificar el comportamiento actual de la estructura de la Catedral, evitando que el hundimiento regional diferencial incremente las distorsiones y desplomos de los elementos portantes, se utilizará la técnica de subexcavación.

Este procedimiento consiste en extraer material del subsuelo desde lumbreras construidas exprofeso (a 25 m de profundidad promedio), a un nivel donde se localice algún estrato formado por arcillas suaves, para provocar asentamientos locales controlados.

Los conceptos básicos del sistema de subexcavación controlada fueron definidos por el *Arq. Fernando López Carmona, y los Ingenieros de T G C: Enrique Tamez Gómez, Enrique Santoyo Villa, Bernardo Sánchez Mendieta y Alberto Cuevas R.*

Objetivos a corto plazo:

Corregir el comportamiento actual para evitar que los hundimientos diferenciales sigan dañando la estructura.

Objetivos a largo plazo:

Llevar a la Catedral a una condición geométrica que incremente la seguridad de la estructura, haciendo que los desplomos de los elementos portantes sean admisibles.

Mediante la aplicación de este procedimiento en la Catedral, se pretende en una primera etapa modificar las tendencias de los asentamientos diferenciales del norte del crucero, frenando inicialmente el fenómeno actual de giro de las naves procesionales y muros de contrarresto hacia el exterior.

Posteriormente se buscará invertir este efecto haciéndolos girar hacia el centro de la nave principal.

En la segunda etapa de subexcavación, se tendrán como objetivos, lograr corregir los desplomos de muros y columnas a una condición geométrica que incremente la seguridad de la estructura, haciendo que los desplomos de los elementos portantes sean admisibles sin pretender modificar su geometría actual; esto significa que tanto en el sentido transversal como longitudinalmente, los movimientos serán planeados para que la estructura responda como cuerpo rígido.

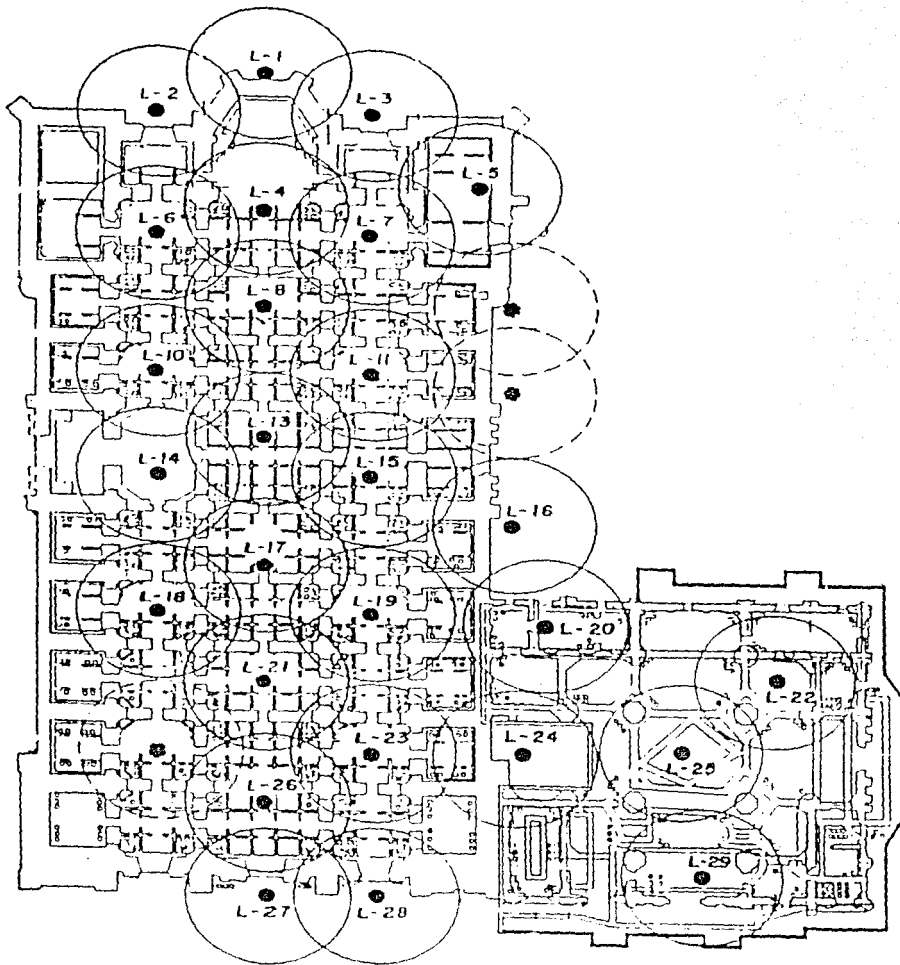
Finalmente con la experiencia adquirida en las etapas de los trabajos anteriores, se planteará la conveniencia y posibilidad de corregir las separaciones entre columnas y muros, modificando su geometría actual. Ref. 31

LUMBRERAS DE LA CATEDRAL METROPOLITANA

Tomado de:

"Conceptos básicos para el proyecto de renovación"

T G C Geotecnia S.A.



Introducción.

La descripción de las secuencias relativas a la subexcavación, como procedimiento de corrección geométrica de la Catedral y Sagrario Metropolitanos, consiste en el descenso controlado de las zonas que se hundan a menor velocidad, se citan enseguida.

Procedimiento de subexcavación.

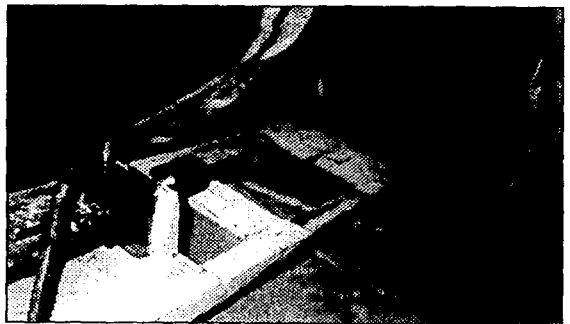
A través de cada una de las boquillas dejadas en las paredes de las lumbreras, se hinca a presión un tubo perforador de 10 cm de diámetro, con el que podrá realizarse una penetración de 6.0 m de longitud; si fuese necesario se puede limitar la longitud a solo una fracción de los 6.0 m; la tubería de 10 cm funciona como ademe, también con la posibilidad de que el tubo excavador pueda ser de 7.62 ó 8.9 cm de diámetro.

Equipo de subexcavación.

El equipo consta de las siguientes partes principales:

- A) Malacate eléctrico de 2 ton y canastilla elevadora de tubos para el descenso a la lumbrera del equipo de subexcavación y para la extracción de los tubos llenos de arcilla.
 - B) Mesa de subexcavación construida con placas y perfiles de acero A-36, implementada con ruedas para su fácil centrado en las boquillas, con tornillos niveladores para el ajuste de la posición de 20° con relación a la horizontal y con una pieza frontal ajustable que permite ajustarla al diámetro de la lumbrera, y reaccionar contra las paredes
 - C) Pistón de gato hidráulico instalado sobre la mesa, que se fija por medio de 8 tornillos.
 - D) Bomba eléctrica hidráulica con capacidad de 12 ton que acciona el pistón
 - E) Zapata de acero afilada en su extremo que se hinca en el suelo, y que se acopla mediante un conector al resto de la tubería; cuenta con una rima en el exterior para reducir la fricción lateral.
 - F) Tubería de perforación que tiene integrados los coples, macho en un extremo y hembra en el otro, conservando los diámetros interior y exterior, en tramos de 1.0 m.
- Ref. 32

Fotografía 14



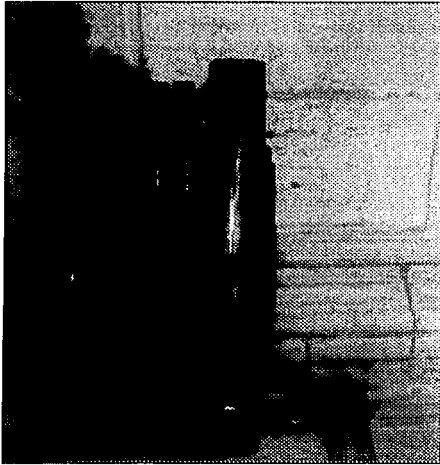
Etapas concernientes a un ciclo de excavación.

- A) Colocación, nivelación y centrado de la mesa de subexcavación con relación a la primer boquilla.
- B) Acoplamiento de la zapata, cople y tubería de subexcavación al cabezal del gato, para enseguida iniciar el hincado del primer tramo de tubería.
- C) Alcanzada la longitud de penetración se comienza la extracción del tubo lleno de arcilla; enseguida se desacopla el conector de la tubería y el gato, para posteriormente llevar el tubo al nivel de criptas y proceder al pesaje y toma de muestras representativas, estableciendo el peso y volumen del material subexcavado.
- D) Se acoplan nuevamente dos tramos de tubos de 1.0 m y se hincan en la arcilla para subexcavar el 2^{do} metro; al final se retrae el tubo para pesarlo.
- E) Así se continua hasta llegar a la longitud de 6.0 m , en caso de que se requiera subexcavar sólo un tramo de los 6.0 m se colocará el ademe en posición y se procederá en la misma forma.
- F) Una vez que se haya generado el cierre plástico de la penetración se repite el ciclo.
- G) El control del peso y volumen subexcavado asociado a cada penetración de cada lumbrera, se lleva en un registro de campo.

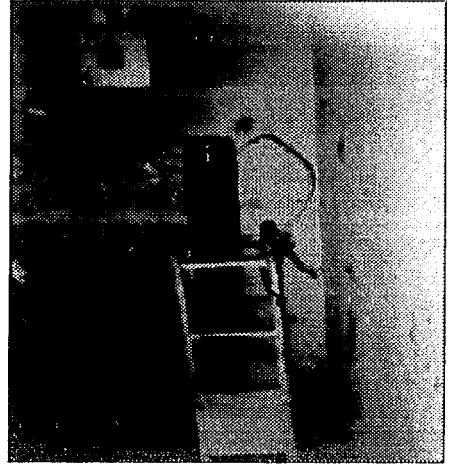
El registro de control del peso y volumen subexcavado asociado a cada penetración de cada lumbrera, se lleva a cabo en un registro de campo. Ref. 32

A las muestras extraídas de las lumbreras se les realizan pruebas para determinar las resistencias y algunas propiedades índice del material arcilloso mediante:

- 1.- Ensayes con penetrómetro de bolsillo
- 2.- Determinación del contenido natural de agua
- 3.- Obtención de pesos volumétricos
- 4.- Determinación de límites de consistencia. Ref. 33



*Fotografía
15*



*Fotografía
16*

SEGUNDA PARTE

ANALISIS Y CONCLUSION

- 1.- ANALISIS Y CONCLUSION DEL RESULTADO DE LA PRIMERA REPARACION DE LA SUPERESTRUCTURA POR MEDIO DE REFUERZOS DE ACERO A LOS ARCOS EN EL AÑO DE 1920.....29
- 2.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL EN LOS AÑOS DE 1934-1942.....33
- 3.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN EL AÑO DE 1940.....34
- 4.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN LOS AÑOS DE 1960-64.....36
- 5.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS PILOTES DE CONTROL QUE SE INSTALARON EN LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL Y EL SAGRARIO METROPOLITANOS EN LOS AÑOS DE 1972-1976.....37
- 6.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SISTEMA DE SUBEXCAVACION CONTROLADA QUE SE APLICA AL SUBSUELO DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS A PARTIR DE 1992.....41
- 7.- COMENTARIOS.....47

1.- ANALISIS Y CONCLUSION DEL RESULTADO DE LA PRIMERA REPARACION DE LA SUPERESTRUCTURA CORRESPONDIENTE AL AÑO DE 1920 POR MEDIO DE REFUERZOS DE ACERO EN LOS ARCOS. (Informe en la pag.13)

El arco, la bóveda y la cúpula son unas estructuras que cierran superiormente una abertura o vano de manera que todos los elementos que la componen son comprimidos y en ninguno se producen esfuerzos por tracción.

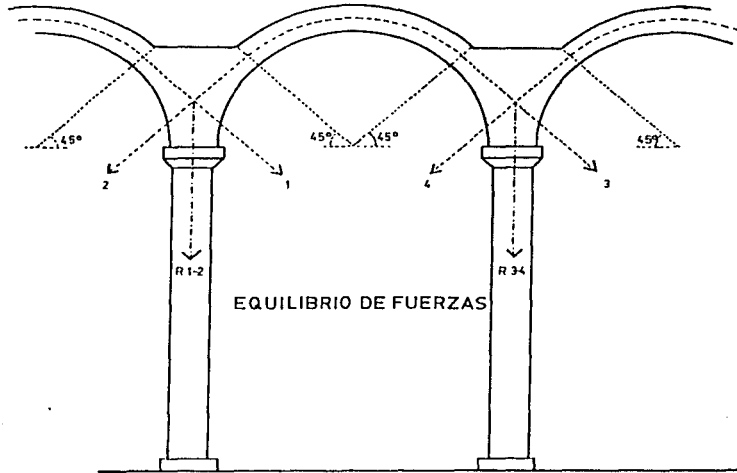
En el caso particular de los arcos soportan presiones producidas por el propio peso de los elementos y de las cargas que gravitan sobre ellos, y estos elementos las transmiten a los apoyos que sostienen al arco en sus extremos.

El arco es un elemento arquitectónico nacido de la necesidad de salvar luces de mayor dimensión a base de elementos constitutivos de la construcción en piedra o ladrillo, materiales que no resisten esfuerzos apreciables de extensión, y que, por lo mismo no pueden hacerse trabajar a flexión.

El carácter distintivo de los arcos de sillería es que estos deben tener las dovelas que lo componen talladas de manera que, por la combinación de sus cortes y prescindiendo de la adherencia de los morteros tengan suficiente estabilidad por sí mismas, sirviendo los materiales aglutinantes tan sólo como medios auxiliares para mantener las dovelas en su debida posición.

En la siguiente figura se puede observar como actúan las fuerzas en el arco y sus apoyos existiendo un equilibrio de fuerzas que son transmitidas a los apoyos.

Lámina 15

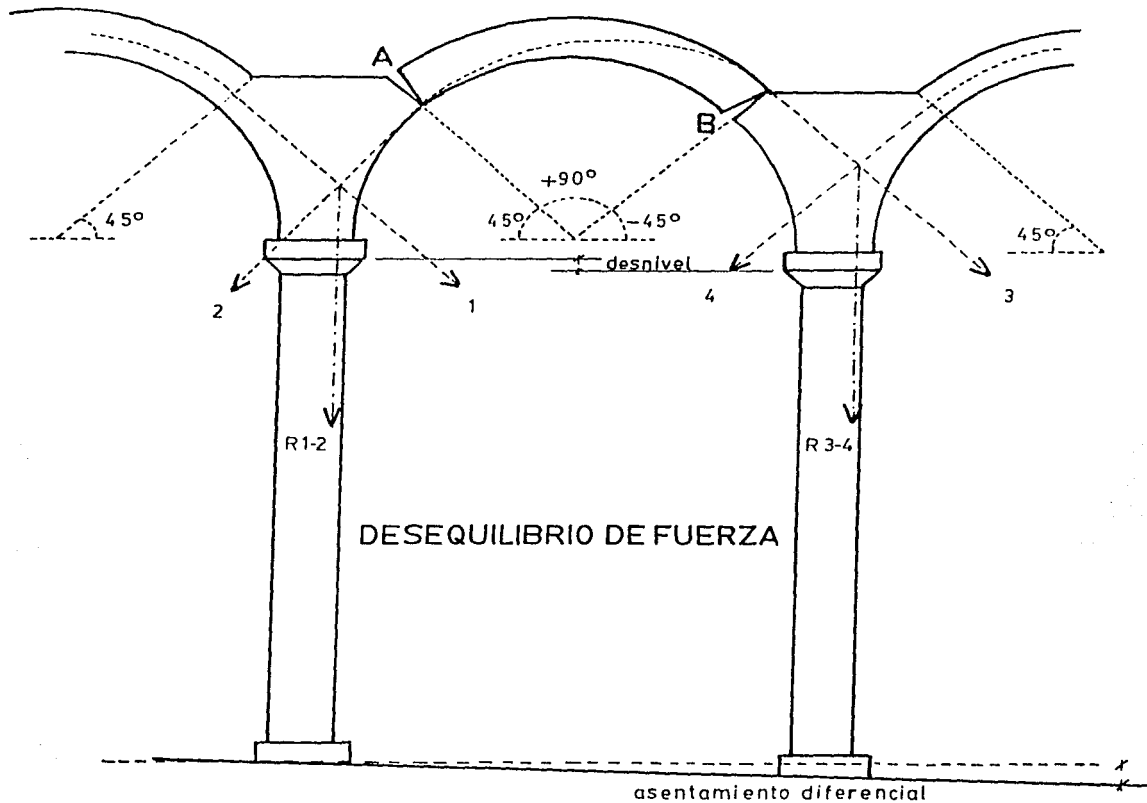


Como se explicó anteriormente los corrimientos de los apoyos por el hundimiento diferencial generan tensiones en la estructura de sillería y estos materiales no tienen capacidad de absorber flexiones.

Esto implica que se desarrollen fracturas y dislocamientos y en algunos casos, se genere un corrimiento o volteo de algunas dovelas.

En la siguiente figura se puede observar como actúan las fuerzas en el arco y sus apoyos al existir un hundimiento diferencial dando paso a un desequilibrio de fuerzas que no son transmitidas correctamente a los apoyos.

Lámina 16



Los ejemplos siguientes explican mejor estos comportamientos:

Caso A).- Deformación por aumento de la luz

Consecuencias:

Grieta por intrados por la clave

Grietas por extrados en los arranques descenso

Incremento de la flecha real.

Caso B).- Deformación por disminución de la luz

Consecuencias:

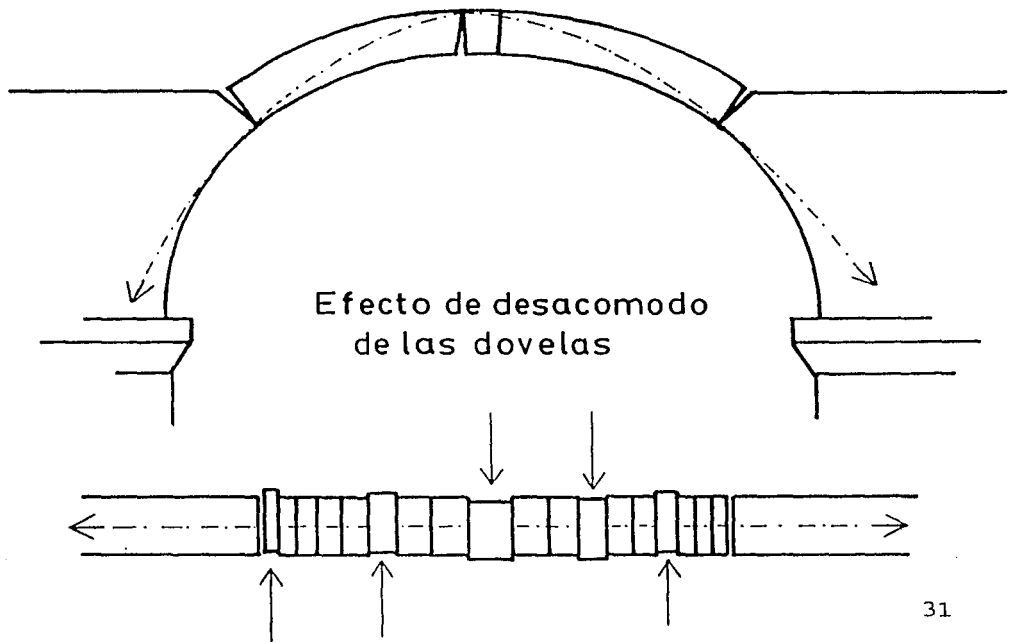
Grieta por extrados en la clave

Grietas por intrados en arranques ascenso

Reducción de la flecha real

En los siguientes croquis se observa como afectan esas deformaciones al arco.

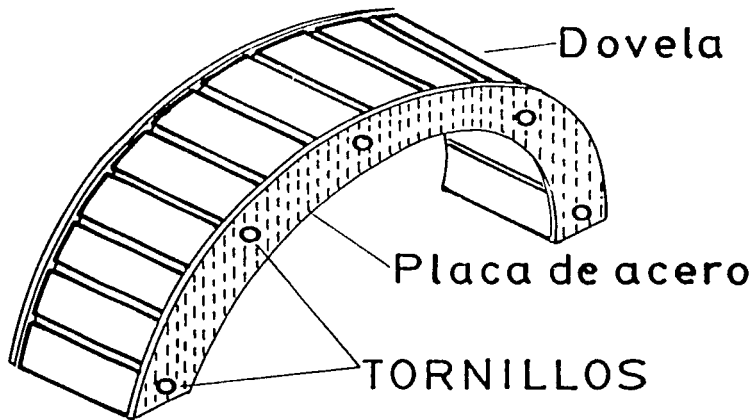
Lámina 17



Esta medida de reforzar los arcos con cachetes de acero y tornillos evitaron la dislocación de los componentes (dovelas), no permitiendo que se salieran de su eje original a pesar de los movimientos generados por los hundimientos diferenciales. De esta manera ayudaron a la estabilización de esos elementos, salvando a la catedral de daños mayores; aunque actualmente no se consideraría muy acertada la inclusión de esos elementos de acero y los tornillos por cuestiones estéticas, en la época que se efectuó fue una solución conveniente.

Solución adoptada en 1920. Lámina 18

Zunchado de dovelas con placas de acero



2.-ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL EN LOS AÑOS 1934-1942. (Informe pag.14)

En el transcurso de la década de los años 1920 a 1930 es cuando se desarrolla en México el fenómeno de migración hacia los centros urbanos, principalmente a la Ciudad de México por ser el centro político y comercial del país; esto trae como consecuencia un aumento de la necesidad de servicios públicos como el abasto de agua para una población creciente.

La forma menos complicada y más rápida de obtener ese líquido es la extracción de agua del subsuelo, lo que se empezó a hacer sin control y de manera intensiva dando lugar a el inicio de un alto grado de abatimiento de los mantos freáticos y hundimiento regional.

El Arq. Ortiz Monasterio interviene en la cimentación de la Catedral cuando el hundimiento urbano daña más al monumento, con el refuerzo de las contratraves de mampostería con viguetas de acero y concreto armado le imparte ductilidad a la cimentación original, (capacidad de soportar hasta cierto grado las flexiones causadas por hundimientos diferenciales); evitando con esta solución, que la cimentación se fracturara desintegrándose y con ella la Catedral y Sagrario Metropolitanos.

También vació las celdas de cimentación del relleno de tierra que originalmente tenían, ocupando dichos espacios principalmente para criptas, al quitar peso descargó en parte la presión sobre el terreno, dándole mayor capacidad de carga a la cimentación suponiendo que así no se seguiría hundiendo o por lo menos disminuiría la velocidad de hundimiento; pero el esta suposición pronto quedó contrarrestada y superada por el hundimiento regional provocada por la extracción de agua pues todavía tendrían que pasar años para que se controlara y reglamentara la cantidad de pozos y volumen de extracción de agua del subsuelo en al Ciudad de México.

3.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN EL AÑO DE 1940 CON EL EMPLEO DE PILOTES DE MADERA. (Informe en la pag. 17)

En los numerosos pilotes de este tipo que pude observar en el sótano del sagrario Metropolitano, me llamó la atención que la mayoría de los pilotes de madera tienen una desviación lateral con respecto al eje vertical y a la protección de concreto colada para protegerlos.

Esta anomalía pudo ser debido a dos causas:

1.- Al gran esfuerzo debido a los asentamientos (causa improbable pues estarían rotos en la unión con el concreto).

2.- A que se hincaron sin perforación previa y esto provoca en algunos casos que se desvíen de la verticalidad, pues al no existir perforación previa no tienen una guía que nos asegure que quedan dentro de la verticalidad.

Esta recimentación no dejó ningún beneficio por las siguientes razones:

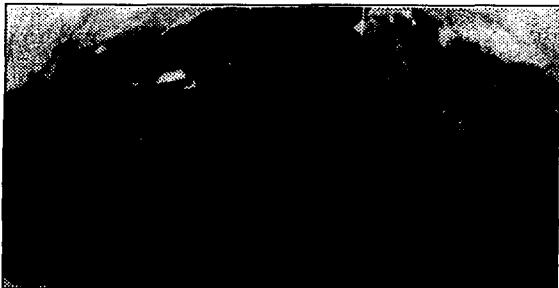
A.- Los tramos de pilote son cortos, y no asentaban por su longitud en ninguna capa resistente, quedando en la capa de relleno y costra superficial.

B.- Se hincaron aparentemente sin perforación previa y eso pudo haber hecho que se desviarán lateralmente al ser hincados. (El pilote se desvía hacia donde el terreno ofrece menor resistencia a la penetración).

C.- Pude comprobar que algunos de ellos fueron hincados sobre restos de estructuras aztecas, estas estructuras generaron una mayor consolidación del área de contacto que ocupaban y por lo tanto, con el paso del tiempo, las deformaciones del subsuelo bajo de ellas fueron menores que donde no las hubo, por lo que los pilotes de madera sobre estructuras aztecas tuvieron diferente velocidad de hundimiento que los que no quedaron sobre ellas, aumentando las deformaciones sobre la estructura del Sagrario.

Por lo tanto esos pilotes no solo no ayudaron, sino que por lo contrario, en algunas zonas aumentaron las deformaciones al asentar sobre restos de estructuras aztecas.

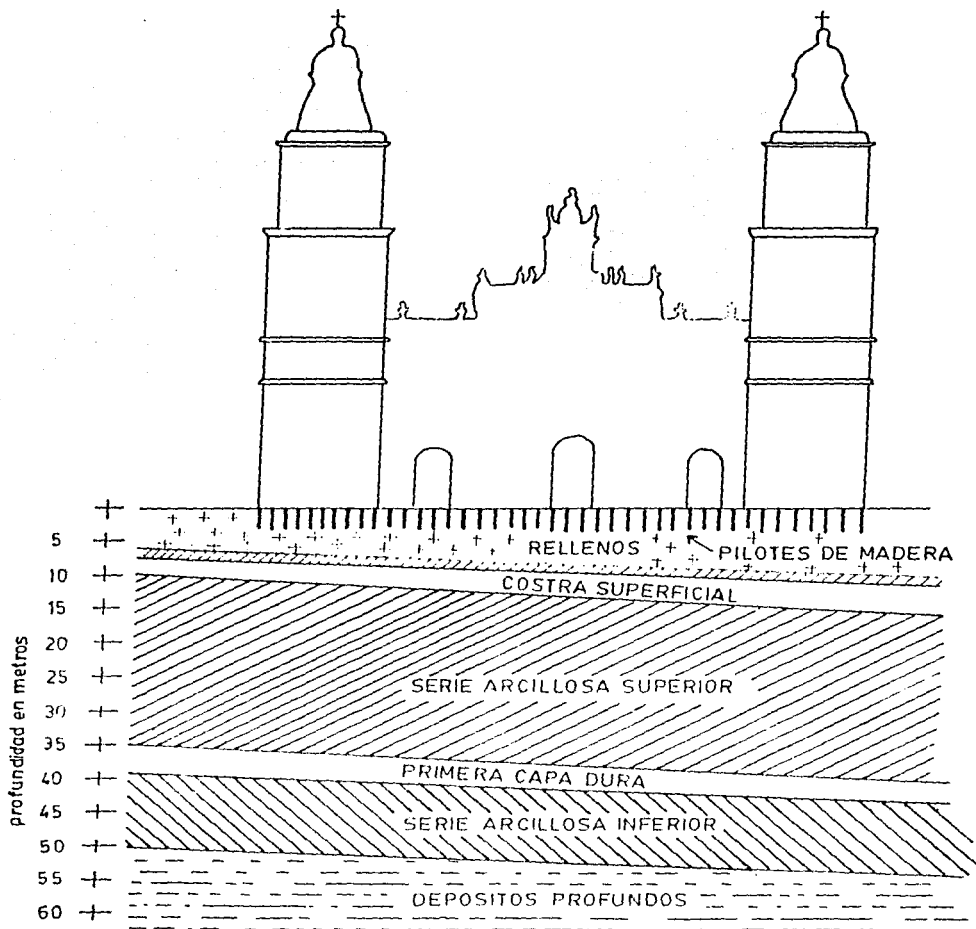
Fotografía de la construcción de una lumbrera en donde se observa (encerrados en círculos) restos de 2 pilotes de madera que asentaron en estructuras aztecas.



Fotografía 17

CROQUIS REPRESENTATIVO DE LAS DIFERENTES CAPAS EXISTENTES BAJO CATEDRAL Y SAGRARIO Y SU RELACION CON LOS PILOTES DE MADERA.

Lámina 19



4.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL REFUERZO DE LA CIMENTACION DEL SAGRARIO EN LOS AÑOS 1960-1964. (Informe en la pag.19)

En los pilotes de este tipo que se localizaron en el sótano del Sagrario Metropolitano se observa:

1.- Son pilotes de concreto de sección cilíndrica son un tubo de 9 cm de diámetro en su centro que tiene como fin introducir el armado y dar continuidad (como se explicó anteriormente).

2.- Estos pilotes fueron colocados antes de que existieran los pilotes de control por lo que se anclan a la losa.

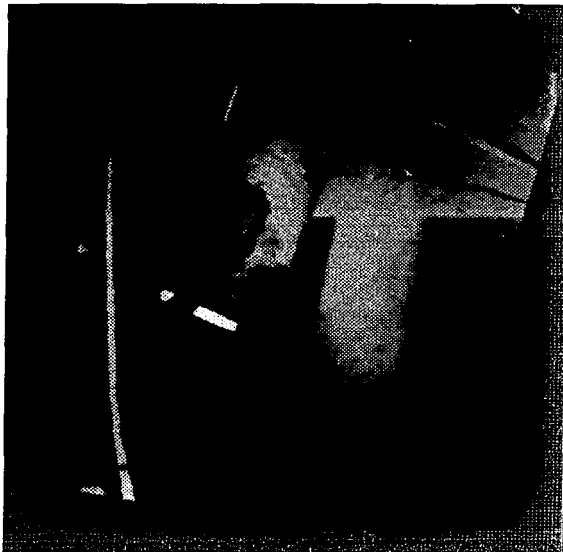
Como se ha dicho anteriormente, abajo de la estructura del Sagrario se encuentra en su centro geométrico la pirámide de Tonatiuh; que ocasiona hundimientos diferenciales y con diferentes velocidades con el resto del edificio por lo que al estar anclados estos pilotes al edificio no pudieron ser controlados y siguieron permitiendo que continuaran los hundimientos diferenciales.

3.- No existen registros de la profundidad a la que penetraron.

4.- Al observar en el sótano los restos de la pirámide noté que sobre ella no existen restos de pilotes colgando de la losa como en el resto del sótano por lo que se deduce que en la parte que corresponde a la pirámide no fueron colocados al no poder traspasarla. Por todo lo anterior estos pilotes ayudaron muy poco a evitar el deterioro del templo por causa de los hundimientos diferenciales, pues la técnica aún no tenía la capacidad de resolver el problema del control de las diferentes velocidades de hundimiento diferencial.

Fotografía 18

Trabajador demoliendo en el sótano los restos de uno de estos pilotes anclado a la losa piso de feligresía del Sagrario Metropolitano.



5.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS PILOTES DE CONTROL QUE SE INSTALARON EN LA CIMENTACION DE LA CATEDRAL Y EL SAGRARIO METROPOLITANOS EN LOS AÑOS 1972-1976.
(Informe en la pag. 20)

El Sagrario tiene una planta casi cuadrada de 42.2 x 47.7 m, con un peso total de aprox. 22500 ton; la presión que trasmite su cimentación al suelo es del orden de 10.0 ton/m².
Ref. 34

El 8 de abril de 1992 se realizó un recorrido en los lugares donde se colocaron los pilotes de control pertenecientes a la recimentación de 1972 con el propósito de inspeccionar los sitios de construcción de las lumbreras en el Sagrario Metropolitano.

En el recorrido se observó que en varios elementos de concreto se aprecian problemas de intemperismo, manifestándose por fisuramientos del recubrimiento y exposición del acero de refuerzo, que presenta diversos grados de avance al intemperismo. Esto se ha generado por la filtración de agua en los elementos, provocando un proceso de oxidación y aumento de volumen en el acero, originando grietas en el recubrimiento.

El documento continua: De continuar las entradas de agua al sótano del Sagrario, y si no se establecen medidas correctivas y preventivas, el proceso de degradación de los elementos continuará y su capacidad se irá reduciendo; pudiéndose desarrollar condiciones de inestabilidad severas. Ref. 35

En la inspección para determinar el estado físico de los cabezales de los 387 pilotes de control que se encuentran en el área de la Catedral Metropolitana; los resultados se enuncian a continuación.

Al 23 de abril de 1993 de los 387 pilotes, faltando por inspeccionar 38, se encontró:

23 pilotes con diversos daños en el sistema de reacción, que a manera general se citan a continuación:

- a) Puente flechado.
- b) Desgarre del alma y atiesadores del puente.
- c) Falla del sistema de reacción.
- d) penetración de la tuerca de los espárragos en el puente.

El daño que tienen estos pilotes en su sistema de reacción, es una consecuencia lógica de la oposición que han desarrollado a los hundimientos que se han generado. Esta condición a provocado daño a los puentes, por concentraciones de esfuerzos en la cimentación. Ref. 36

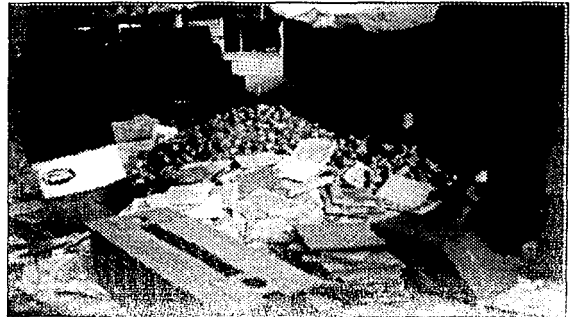
En la tabla se indica el daño y la cantidad de elementos que deben ser restituidos o reparados, con el objeto de tener en buen estado los mecanismos y poder hacer uso de ellos cuando se requiera. Ref. 37

CONCEPTO

CANTIDAD

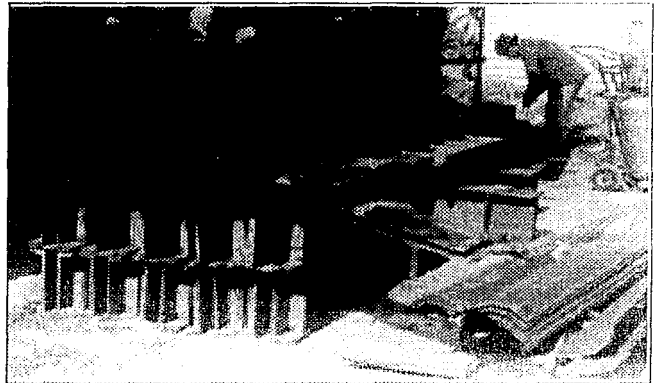
Puentes dañados	70
Espárragos doblados	321
Espárragos oxidados	488
Espárragos faltantes	26
Espárragos con cuerda barrida	88
TOTAL PIEZAS DAÑADAS	993

Fotografía 19



Puentes de reacción a los que se les ha dado mantenimiento con los cubos de madera (celdas) que se cambian.

Fotografía 20



La conclusión de estas observaciones es que en especial a esta recimentación que requiere mucho mantenimiento no se le prestó atención ni dio ningún mantenimiento durante un tiempo prolongado (aparentemente más de una década), por discontinuidad de programas oficiales.

Lo que trajo como consecuencia una gran concentración de esfuerzos en algunos puntos de la cimentación y la estructura, no cumpliendo los objetivos principales de esta recimentación que se proponía:

- a) Permitir ajustar el descenso del edificio respecto al terreno circundante según se modificaran los asentamientos.
- b) Uniformar los hundimientos diferenciales dentro de las mismas estructuras.

Por lo que no cumplió los objetivos previstos y sí fue objeto de un gran gasto de recursos.

Por otra parte, cuando se dispone en un plano la colocación de pilotes y se calcula el peso que en teoría debe de cargar cada uno, para poder repartir uniformemente el peso; y por el contrario:

- a) Algunos de los pilotes presentados en planos no se hincan en la realidad (ver fotografía 13 pag. 24).
- b) Otros no se hincan a la profundidad necesaria quedando a profundidades no previstas.
- c) Como se puede entender algunos se rompen o se inclinan al ser hincados.

Resulta que lo que se calculó originalmente es muy diferente a las diferentes fuerzas de reacción que están actuando sobre la cimentación y por consiguiente en la estructura.

Esto trae como consecuencia:

A) Zonas de pilotes perfectamente apoyados.

B) Zonas faltos de apoyo por no hincarse los pilotes

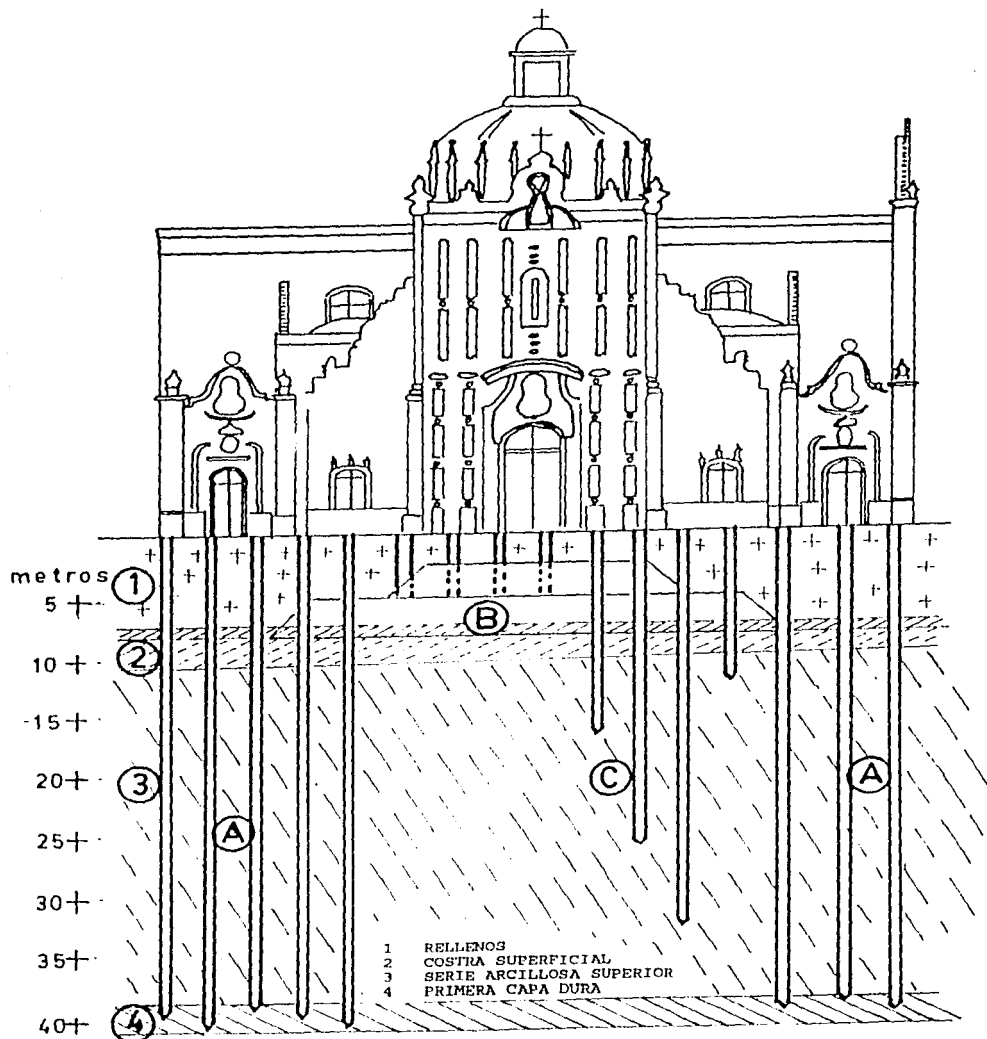
c) Zonas de dudoso comportamiento por tener pilotes mal apoyados, cortos e inclinados.

Esto trae como conclusión que existieron desde un principio sobreesfuerzos en algunos puntos de la cimentación (donde existen pilotes correctamente apoyados y pilotes que no se hincaron, inclinados, rotos o mal apoyados; y como consecuencia se provocan en la misma cimentación diferentes esfuerzos y hundimientos diferenciales.

Por todas estas razones considero que esta cimentación ayudó en forma mínima a la conservación de los templos permitiendo y en algunos casos aumentando los problemas estructurales a los templos ocasionados por los hundimientos diferenciales.

**ESTA TESTIS NO DEBE 39
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

FORMA EN QUE REACCIONA LA CIMENTACION ANTE LAS DIFERENTES SITUACIONES PROVOCADAS POR LOS PILOTES



- A PILOTES PERFECTAMENTE APOYADOS
B PILOTES NO HINCADOS
C PILOTES MAL APOYADOS, INCLINADOS O ROTOS

6.- ANALISIS Y CONCLUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SISTEMA DE SUBEXCAVACION CONTROLADA QUE SE APLICA AL SUBSUELO DE LA CATEDRAL Y SAGRARIO METROPOLITANOS A PARTIR DE 1992.

Considero conveniente hacer las siguientes aclaraciones:

En lo que a la fecha se ha podido comprobar el sistema de subexcavación esta logrando que se estén corrigiendo los desniveles existentes entre las diferentes zonas de los templos, evitando así que continúen deteriorándose.

Este trabajo es efectuado por profesionistas y técnicos del más alto nivel existente en México y me atrevo a opinar que algunos de ellos son reconocidos mundialmente.

Prueba de eso es la visita a México efectuada en 1993 para conocer los trabajos de la Catedral del Dr. Giorgio Macchi de la Universidad de Pavia; que junto con el Prof. M. Jamiolkowsky que representa al Instituto Tecnológico de Milán, el Prof. J. Burland de el Imperial College, el Prof. C. Viggiani de la Universidad de Nápoles, los cuales conjuntamente con otros miembros Constituyen El Comité de la Torre de Pisa, que esta a cargo de los estudios y pruebas experimentales que se están realizando para definir la técnica que se empleará para reducir la inclinación de la famosa Torre de Pisa.

Posteriormente El Comité Técnico de la Torre de Pisa invitó al Arq. Sergio Saldivar Guerra y al Ing de T.G.C. Enrique Santoyo Villa del 26 de marzo al 7 de abril de 1993, a asistir a la reunión general del Comité sobre los estudios y técnicas experimentales que se están realizando para los problemas de inclinación de dicha torre. Ref. 38

En los trabajos de subexcavación controlada se combinan las más sofisticadas técnicas con los métodos tradicionales de comprobada efectividad para el control absoluto de las mediciones necesarias en el desarrollo de los trabajos como por ejemplo algunos de ellos son:

- a)Inclinómetros electrónicos.
- b)Mediciones de convergencia.
- c)Medición de desviación de plomadas en columnas.
- d)Colocación de puntos topográficos.
- e)Nivelaciones topográficas referenciadas a niveles profundos.
- f)Sondeos de cono eléctrico y de muestreo selectivo.

a) Los inclinómetros electrónicos tienen estaciones de medición que se ubican en el nivel de cristas de acuerdo con los ejes de la estructura.

La parte medular de este sistema es la computadora para el registro y almacenamiento de datos. Este sistema toma automáticamente lecturas a cada 5 minutos, el registro de datos a intervalos de tiempo pequeños permite obtener gráficas.

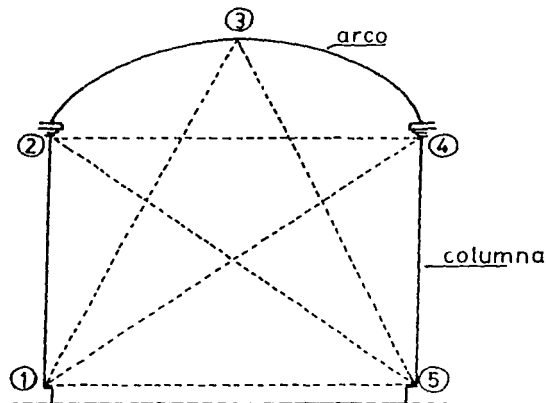
Debido a la gran sensibilidad de los inclinómetros en un registro típico se observan variaciones locales en la inclinación producida por interferencias ambientales o muy localizadas (prendido de alumbrado público, paso de maquinaria, ocurrencia de temblores etc.).

La asesoría de este sistema de la más alta tecnología, fue proporcionada por el Instituto del Globo de París y el diseño del cableado e interconexión de los inclinómetros lo llevó a cabo el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Ref. 39

b) Mediciones de Convergencia.

Esta técnica de medición permite detectar los movimientos estructurales correctivos que se inducen en la Catedral y Sagrario Metropolitano, como consecuencia de la influencia del proceso de subexcavación que se realiza en sus cimentaciones.

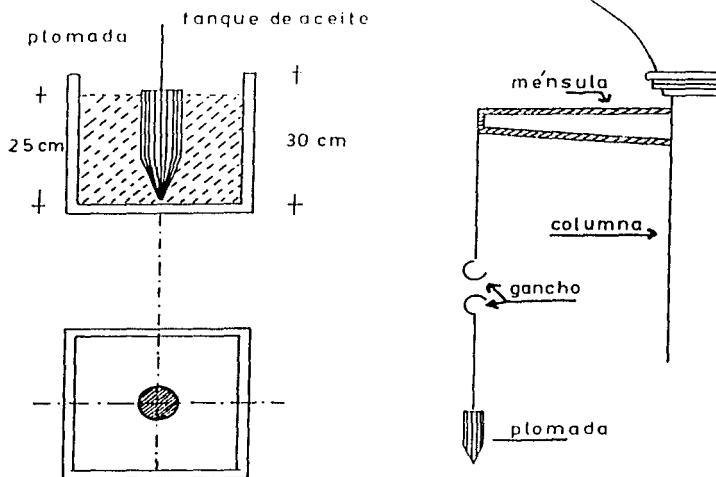
La manera de hacer estas mediciones esencialmente consiste en definir la distancia entre puntos fijos previamente referenciados; para el caso de los arcos de las estructuras de Catedral y Sagrario, es necesario implementar un mínimo de 5 puntos de referencia. En cuanto a los dispositivos que se emplean para realizar estas mediciones de las estructuras, se analizan las mediciones con flexómetro de precisión y las mediciones indirectas con fotogrametría y con distanciómetro. Ref. 40



MEDICION TIPICA DE CONVERGENCIA
CON 5 PUNTOS

c) Medición de la desviación de plomadas en columnas

El proceso de subexcavación de las cimentaciones de la Catedral y Sagrario induce cambios en los plomos de las columnas, que pueden detectarse con la ayuda de plomadas suspendidas en ménsulas instaladas en las cornisas. Ref.41



d) Nivelaciones topográficas referenciadas a niveles profundos.

e) Colocación de puntos topográficos en la zona norte y sur de Catedral y Sagrario:

Al norte de la Catedral se instaló una retícula de 16 x 3 puntos de nivelación. Estos puntos indicarán el comportamiento de la zona al efecto de la subexcavación y a la respuesta de las perforaciones que se realizarán en la zona norte como procedimiento para generar una liberación de esfuerzos en el pedraplén.

Al sur de los templos esta retícula topográfica indicará el comportamiento del piso al efecto de giro de la fachada sur al norte. Ref. 42

f) Sondeos de cono eléctrico y de muestreo selectivo:

Este sondeo tiene como objeto identificar previa y confiablemente la posición de los estratos blandos que se podrán excavar para mayor efectividad de la técnica. Estos sondeos deben repetirse para detectar los cambios temporales de resistencia y compresibilidad que experimenten los estratos de suelo blando; asimismo realizarse algunos sondeos para la recuperación de muestras inalteradas, que permitan determinar su comportamiento y evolución. Ref. 43

Conclusiones:

A) El sistema de subexcavación esta funcionando correctamente logrando que se estén corrigiendo los desniveles existentes entre las diferentes zonas de los templos, evitando así que continúen deteriorándose.

B) Al estar subexcavando existe un flujo de agua freática que sale de las boquillas de subexcavación. En 1994 el gasto promedio correspondió a 0.029 lt/seg que en 24 hrs de bombeo significa 2,505 lts. Ref. 44

Esto nos lleva a la conclusión de que si el sistema de subexcavación ayuda a corregir los templos, el sistema de bombeo inherente a la subexcavación esta colaborando al abatimiento del nivel freático regional, actuando como otro pozo de bombeo, colaborando a agravar con ello los problemas regionales del subsuelo de la Ciudad de México.

C) Los asentamientos que se inducen en la Catedral y Sagrario Metropolitanos, debido a los trabajos de subexcavación crean tensiones a algunos elementos y estructuras vecinas entre las que se encuentran: las banquetas, el pavimento de la calle de Guatemala, y la línea 2 del Metro.

En el pavimento y banquetas del lado de catedral en la calle de Guatemala se observan grietas y desacomodos, y tensiones con las paredes del túnel de la línea 2 del Metro que corre a unos metros de las lumbreras nº1, nº2 y nº3.

En el estudio denominado "Presentación De Análisis De Procedimientos Para Aislar El Cajón Del Metro Durante La Subexcavación En La Catedral" se estudian las opciones de para crear una separación entre la catedral y la línea 2 del Metro a base de:

a) Una trinchera rellena de fluido de baja o nula resistencia.

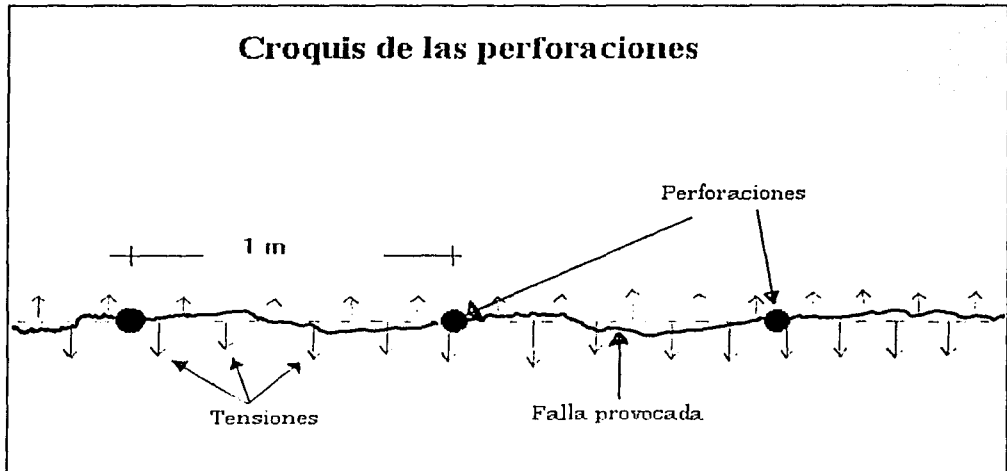
b) Una tablestaca sin fricción.

En lo que se refiere a ambos sistemas se comprobó en cálculos que funcionan satisfactoriamente. Ref. 45

A mi criterio la opción a seguir es que se construya una frontera que separe la Catedral de las construcciones vecinas de la siguiente manera:

Utilizando una perforadora de pozos con broca de diámetro reducido (2"), y a cada metro de separación entre sí se efectúan perforaciones de 25 a 30 m de profundidad (1 metro más abajo que las lumbreras); hechas estas perforaciones se rellenan con un fluido de nula resistencia (lodo bentonítico), el lodo no ofrece resistencia al corte pues su única función es sostener las paredes de la perforación.

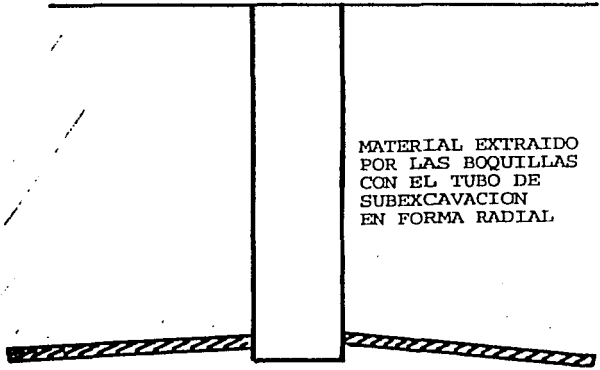
Lo que se propone es similar a cuando se hacen perforaciones a un papel a lo largo, para que se pueda cortar con el simple hecho de aplicar una tensión a ambos lados de las perforaciones, y como en esa zona se debilitó su estructura ahí tiende a hacer el corte.



Como se puede ver el Sistema de Subexcavación Controlada es una innovación aún a nivel mundial y a pesar de que como sistema experimental llega a tener problemas no previstos y provocar efectos secundarios es a mi opinión en nuestra época y con la tecnología a nuestra disposición un gran avance y la mejor opción disponible para la solución de este problema en este caso específico.

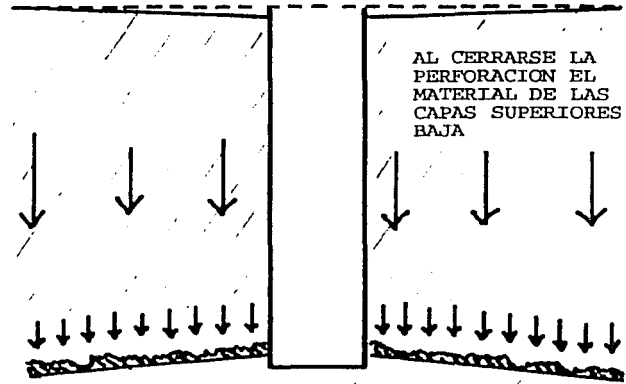
CROQUIS EXPLICATIVO DEL PROCESO DE SUBEXCAVACION

①



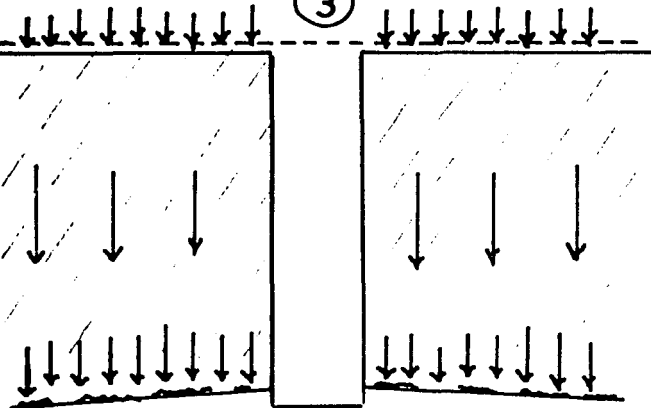
MATERIAL EXTRAIDO
POR LAS BOQUILLAS
CON EL TUBO DE
SUBEXCAVACION
EN FORMA RADIAL

②



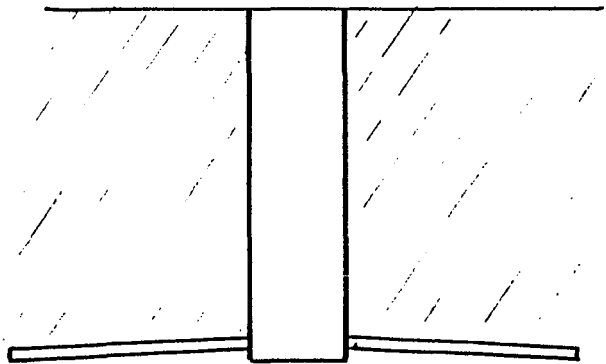
AL CERRARSE LA
PERFORACION EL
MATERIAL DE LAS
CAPAS SUPERIORES
BAJA

③



AL BAJAR EL NIVEL SE
CORRIGE LA DERFORMACION
DE LA ESTRUCTURA

④



SE REPITE EL CICLO
CUANTAS VECES SEA
NECESARIO

COMENTARIOS:

Las reparaciones y mantenimientos que se han tratado en este documento con respecto a la Catedral Metropolitana, son problemas causados al estar asentada en un tipo de suelo en donde antes había sido lago y ahora subyacía un subsuelo formado por arcillas altamente compresibles, formando una capa que se consolida con la extracción de agua y el peso de los edificios, estos problemas afectan a las construcciones de cualquier época, por lo que considero necesario comentar sobre conceptos que a mi juicio es importante conocer ayudándonos con otros ejemplos, pues son problemas que tenemos que enfrentar en el transcurso del ejercicio profesional.

El Centro Histórico con un suelo "blando", compresible, compuesto por arcillas en capas sedimentarias en una profundidad de aproximadamente 25 a 30 m. con un terreno saturado de agua y además con ruinas prehispánicas enterradas en lugares no definidos y que, en consecuencia, presentan un equilibrio inestable con las construcciones que se apoyan en su superficie y además susceptible de expandirse (bujamiento) ante la suspensión de presiones que la deforman.

Y se agrega una intervención humana más, en perjuicio de la calidad del suelo. El incremento demográfico de la Ciudad de México y ahora de la Zona Metropolitana ha acrecentado de forma alarmante la demanda de agua.

El abasto de agua que llega a la ciudad en orden de importancia, son el sistema Cutzamala, del acuífero del Valle de Lerma y del Río Magdalena; y son totalmente insuficientes a tal grado que de el total de la demanda solo cubren el 34%, y se extrae el 66 % del acuífero del Valle de México.

Ese volumen que se está sacando de pozos a diferentes profundidades, ocupa un espacio. Ese vacío en las diferentes capas del subsuelo no es reemplazado por que el área de recarga no es suficiente para ello y en consecuencia se aumenta la compresibilidad de las arcillas, produciendo una reducción del volumen al compactarse el material. Si a esto se agrega el peso de las construcciones en la superficie y la carga de los estratos superiores, se tendrá como resultado el hundimiento del terreno. ref. IV 66

El Centro Histórico tiene además otros dos factores que le afectan:

Por una parte rellenos de tierra, parte de la época prehispánica para incrementar el área ocupable, y parte de la época colonial para cubrir las acequias, para aumentar los espacios construibles y para nivelar las superficies; estos rellenos algunos con escasa compactación o bien con falta de homogeneidad. La mayoría de estos rellenos se hicieron con material de desperdicio o cascajo y lo que es peor que quedaron en el interior del subsuelo.

El siguiente factor de importancia son los restos de edificios prehispánicos, el resultado de todo esto es de superficies aun en el mismo predio, de muy diversa resistencia como respuesta del suelo, además esto causa que en diversos puntos la compactación del suelo sea diferente ya sea por los rellenos no homogéneos o bien por la profundidad a la que están los restos prehispánicos.

Todo esto produce el máximo problema en el Centro Histórico que son LOS HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES. ref. IV 68

Este tipo de hundimientos produce en la arquitectura, que se apoya en el terreno, desde cuarteaduras de menor o mayor importancia generalmente a 45°, algunas veces verticales o bien rotura de elementos estructurales con daños estructurales severos según sea la magnitud de la causa.

Como dos ejemplos de grandes construcciones con graves problemas por esta causa: el primero es el edificio de Vizcainas y el otro es El Palacio de Minería.

El edificio de Vizcainas fue sentado sobre subsuelo de muy mala calidad, saturación de agua de origen y proximidad a las acequias, además con falta total de conocimientos de los constructores, por falta de experiencia ante este tipo de problemas en la arquitectura en este tipo de terreno.

En toda su historia se han efectuado reparaciones, pero el hundimiento máximo se observa actualmente en casi todo el frente de la calle de San Ignacio que ve hacia el poniente, la excepción es al llegar a la esquina de la plaza de Vizcainas en donde emerge, la causa es que en esta zona, la de la esquina, solamente hay pisos de dos niveles y en todo lo demás del frente son tres niveles. La diferencia de peso es el porqué de esta diferencia. ref. IV 139

El Palacio de Minería fue proyectado por Don Manuel Tolsá se construyó del año 1797 a 1813. Se encuentra asentado en un subsuelo de muy mala calidad y con proximidad a las acequias.

En 1830 ante un sinnúmero de cuarteaduras y desplomes, se propuso demoler el edificio.

El Arq. Villard hizo los estudios para repararlo.

El peso del edificio, el subsuelo de muy mala calidad y la influencia de los sismos de alta intensidad, fueron produciendo fuertes hundimientos y en parte diferenciales.

En el costado que da al callejón de la Condesa, los daños sufridos eran ciertamente graves.

Los hundimientos, evidenciados por la impresionante catenaria que todavía presenta el edificio llegó a ocultar algunos elementos importantes de la composición. ref. IV 146

En ambos casos la catenaria que forman los edificios en su hundimiento es consecuencia de la superposición de los bulbos de presión en la parte central, en donde producen mayor compactación en el subsuelo, en ocasiones ya compactado el centro se produce el fenómeno contrario, formando un arco al hundirse los extremos.

Se ha podido observar que en edificios muy largos como los mencionados anteriormente tienen la capacidad de absorber deformaciones y acusar un mínimo de cuarteaduras.

En este tipo de suelos una cimentación proporcionada correctamente, con falta de respuesta del suelo traería el caso del asentamiento uniforme, como es el Palacio de las Bellas Artes.

En otras palabras: el edificio se hunde por exceso de carga con relación a la resistencia del terreno.

El caso que han presentado otros tres edificios es especialmente interesante, dos de ellos de la época colonial, y el otro de este siglo construido en los años 40, separados entre sí únicamente por el ancho de la calle:

La Casa de los Azulejos

La Iglesia de San Francisco

El Edificio Guardiola.

LA CASA DE LOS AZULEJOS, originalmente conocida como Palacio de los Condes del Valle de Orizaba, es una de las construcciones más antiguas de la Ciudad de México. Forma una cabecera de manzana con las calles de Madero, callejón de la Condesa y 5 de Mayo.

Originalmente fue construido en el siglo XVI a una distancia aproximada de 50 m. de la acequia del poniente. En el siglo XVII fue reconstruida y revestida con azulejos probablemente de Puebla. Posteriormente ha sido rehabilitada para restorán y comercio por diferentes motivos. El problema principal de esta construcción es su proximidad al Edificio Guardiola con relación al que tiene un hundimiento diferencial de 2 m.

La Casa de los Azulejos por su antigüedad está cimentada directamente en terreno de limo arcilloso y en esa época saturado de agua por su proximidad a la acequia. Aun cuando por su altura no es un edificio pesado, el terreno compresible ha bajado de nivel tanto por el peso como por la extracción de agua del subsuelo, conservando su relación con la calle.

EL EDIFICIO GUARDIOLA, (Banco de México) construido a principios de los años cuarenta de este siglo y por su altura y peso con cimentación de pilotes de madera apoyados de punta en la capa dura, aproximadamente a 30 m. de profundidad.

El edificio a emergido en relación a la superficie de la calle por el apoyo de los pilotes que no permiten baje como los edificios apoyados en la superficie, como es el caso de La Casa del los Azulejos.

Por lo tanto entre ambos edificios hay un franco desnivel actualmente de aproximadamente 2 m., diferencial que con el tiempo se va incrementando, representando lógicamente, mayor peligro para La Casa de los Azulejos.

LA IGLESIA DE SAN FRANCISCO queda frente a La casa de los Azulejos, solamente que remetida del alineamiento unos 25 m.

Aun cuando los franciscanos llegaron a México desde 1524, tuvieron el primer monasterio "próximo al templo de Huitzilopochtli", un segundo monasterio también cercano, y finalmente ocuparon un gran espacio en el límite poniente de la traza de la ciudad.

En este espacio hicieron diversas construcciones a partir del siglo XVII, algunas las demolieron para modificarlas, hicieron capillas. La actual data del siglo XVIII.

Por su antigüedad y el subsuelo tan compresible, la edificación se ha ido sumiendo en forma más o menos pareja; para poder conservar el nivel de la calle el piso se fue rellenando según se sumía, por lo tanto eso incrementó el peso, y por tanto el hundimiento, finalmente a mediados del presente siglo se restituyó el piso original y como consecuencia quedó a mayor profundidad en relación al nivel de banqueteta, aproximadamente a 2.50 m abajo del nivel de la calle.

Es notable la diferencia de niveles entre estos tres edificios separados únicamente por el ancho de la calle:

El Edificio Guardiola está 2 m. más alto que La Casa de los Azulejos, y aproximadamente 4 m. de desnivel con La Iglesia de San Francisco, y los tres edificios de acuerdo con su desplante original deberían conservar el mismo nivel con respecto a la banqueteta. ref. IV 143

Estos problemas de hundimiento se observan en todo tipo de edificaciones modernas en la Ciudad de México en donde existen edificios que sobresalen cada vez más del nivel de banqueta, o que están sumiéndose con respecto a el nivel de calle, y hay ejemplos de esto también en lo que fue el lecho del lago de Texcoco, en la Avenida Central por la zona de Aragón con construcciones de 3 ó 4 niveles inclinadas de lado o con hundimientos con respecto a su desplante original.

Otro gran problema que tiene este tipo de subsuelo es el que se produce con suelos trabajando con carga vertical, liberados de su peso, reaccionan hacia arriba, emergiendo del terreno. A este problema se le conoce como bufamiento del terreno que sucede cuando se ha eliminado la carga del terreno y en consecuencia aumenta el volumen, elevándose en la superficie. El ejemplo más claro lo tenemos en las ruinas del Templo Mayor en el Zócalo capitalino, donde al quitar el peso de los edificios que estaban sobre estas ruinas el terreno emergió, formando una catenaria invertida que incluso está dañando a el museo, y los espacios y edificios vecinos. ref. IV 97

Los comprensión de los sismos en el subsuelo de la Ciudad de México y sus consecuencias en las edificaciones son de especial interés para nosotros como arquitectos.

La transmisión del sismo es por medio de ondas en las que al recibir el movimiento cada partícula del cuerpo se deforma y regresa a su mismo lugar por sus propiedades elásticas, pero al moverse cada partícula mueve a la de junto y así se transmite la energía.

A partir de la liberación de la energía en el foco o hipocentro se producen ondas de propagación como cuando cae una piedra en la superficie del agua, solamente que en este caso en forma volumétrica o sea que sale en todas direcciones, en sentido esférico y no circular. Aquí interesa especialmente la dirección vertical, al salir a la superficie terrestre o sea a formar el epifoco o epicentro a partir del cual se forma en la capa terrestre las llamadas ondas superficiales en círculos concéntricos al epifoco. ref. III 53

En la propagación de la energía sísmica hay diferentes tipos de ondas:

La *onda primaria u onda P* es la más rápida, se desplaza a aproximadamente 8 km/seg. (28,800 Km/h). Esta onda comprime el terreno en el mismo sentido de su propagación, cada partícula presiona a la siguiente y regresa a su lugar, es semejante a la transmisión del sonido.

Se conoce como *onda S u onda secundaria* aquella en que la partícula se mueve vertical y perpendicular al sentido de su propagación, transmitiendo a la siguiente y regresando a su lugar.

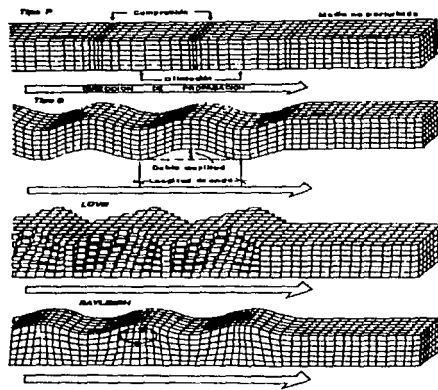
La *onda Love* es una onda superficial en la que la partícula se mueve horizontal y perpendicular al sentido de la propagación, transmitiendo su movimiento a la siguiente y regresando a su lugar, produciendo así sacudidas horizontales, perpendiculares al avance.

El cuarto tipo onda superficial llamada *onda Rayleigh*, en las que las partículas se mueven tanto vertical como horizontalmente en un plano vertical, en el sentido de la dirección de la transmisión en un trayecto elíptico de avance y retroceso para regresar a su lugar.

TIPOS DE ONDAS

ref. III 55

- 1.- Onda P
- 2.- Onda S
- 3.- Onda Love
- 4.- Onda Rayleigh



La transmisión a partir del foco y el efecto en los lugares en donde pasa y a donde llega, depende además de la magnitud y distancia, y de las condiciones geológicas del subsuelo.

Así las ondas al chocar en su trayectoria contra capas de diferente densidad y según la inclinación en que llegan se reflejarán o refractarán cambiando su tipo de vibración por ondas de los tipos ya descritos: Love o Rayleigh que salen a la superficie o se apagan en el interior por chocar contra capas de granitos o basaltos.

Las que salen a la superficie producen interferencia con las superficiales, como las olas del mar que regresan formando gran diversidad de irregularidades de ondas.

Así el efecto producido en el suelo es de una gran variedad. Popularmente a los sismos se les clasifica como oscilatorios o trepidatorios según el movimiento dominante que producen sea horizontal o vertical, la realidad es que un mismo sismo generalmente produce los dos tipos que pueden alternarse por momentos o por lugares, dependiendo precisamente de cual de los tipos de onda, que ya fueron descritos, es el que afecta en el tiempo y espacio en el que se aprecia. ref III 57

Quedó definido que la magnitud del sismo es una medida de la energía liberada y por tanto es característica del lugar que se origina. El poder destructivo, el potencial, de un temblor en un sitio es lo que se mide con el concepto de intensidad. Para un mismo sismo, se tendrán diferentes intensidades según la geología de los suelos por donde pasa o en donde produce su efecto. La Ciudad de México ha tenido, en general, mayores intensidades que sus alrededores, debido a la amplificación del movimiento en las zonas de terreno blando.

Por lo tanto la intensidad y demás características de un sismo que afecta a una construcción dependen de la magnitud en el lugar de origen, de la configuración del terreno a lo largo de la transmisión desde el foco y el epifoco hasta el edificio y de las particularidades geológicas del propio terreno de la zona en que se desplanta, siendo particularmente peligroso en el subsuelo de la Ciudad de México.

El suelo "blando" de la Ciudad de México ante las ondas que llegan de un sismo, se comporta como si fuera líquido y modifica las características de las ondas, amplificándolas y dando como resultado periodo y aceleración diferente a los que pudiera haber producido en terreno de otra naturaleza, por ejemplo terreno firme. ref IV 87

El suelo, según la energía que trae el sismo, la concentra en un periodo determinado y ante el terreno "blando" la aceleración se eleva varias veces más que en terreno firme, como se registró en el sismo de 1985, con valores cinco veces mayores que en terreno firme.

Ante la acción dinámica del temblor las cargas sísmicas incrementan las cargas de gravedad de las columnas ya sea como consecuencia del empuje horizontal o por la acción directa del movimiento trepidatorio. ref III 65

La acción horizontal del sismo en edificios de alta esbeltez puede producir volteo total, inclusive en algunos casos hasta ha caído el edificio con extracción de parte de los pilotes de la cimentación como se pudo observar en algunos edificios en el sismo de 1985.

También la componente horizontal al flexionar el edificio produce excentricidad en las columnas, con peligro de ruptura del elemento. Por esta razón al flexionar el edificio como si fuera una onda, con diferentes puntos de inflexión, es lo que ha producido en algunos sismos el colapso de varios pisos de la parte superior, o bien de la parte inferior, cayendo uno sobre otro.

En ocasiones la sobrecarga producida por el sismo ha hecho penetrar el edificio dentro del suelo quedando a nivel de calle uno de los pisos superiores o parte del este.

Si en vez de producirse un hundimiento uniforme el asentamiento es diferencial, en una estructura, en los elementos verticales se producen momentos flexionantes en los empotres para los que no están diseñados, por tanto con posibilidad de fractura. ref III 67

Es de importancia el problema de la torsión en los edificios a partir de cierta altura, que puede aparecer por dos razones diferentes: cambio instantáneo de dirección en el empuje del sismo, produciendo daños en las columnas y muros principalmente y la otra forma es cuando los muros presentan fuerte asimetría física en el diseño, sin ser compensada con las rigidizaciones necesarias.

Es muy importante la separación de colindancia según la altura pues dos edificios contiguos, sin espacio divisorio entre ambos y con alturas diferentes, en un temblor por la diferencia de rigidez entre ambos produce golpeteo que daña los muros de las colindancias, y los elementos estructurales de esos muros. El perjuicio puede ser mucho mayor cuando la mayor rigidez del de menor altura, por el choque, produce un quiebre horizontal que puede causar hasta colapso del de mayor altura. ref. III 68

El fenómeno de la resonancia en un temblor, es de los factores que más afectan a las construcciones en temblores de fuerte intensidad.

La resonancia es la sincronización entre el periodo de la onda que, según la respuesta del terreno, produce en este un periodo de vibración y la coincidencia con el modo, de vibrar del edificio.

Una idea clara sobre lo que es la resonancia lo da una barda pesada que va a ser derribada con una cuerda por un demoledor. Es de suponer que éste no tenga inicialmente la fuerza necesaria para hacerla caer al primer tirón, pero si logra moverla y sincroniza sus esfuerzos con los movimientos de la barda, a cada tirón se sumará el esfuerzo elástico de la misma y acabará por derribarla

El movimiento del suelo en el sismo impartirá vibraciones al edificio. Los periodos fundamentales de las estructuras pueden fluctuar de aproximadamente: 0.1 seg. para un marco sencillo de un piso, 0.5 seg. para una estructura baja de hasta 4 pisos, y de 1 y 2 segundos para un edificio alto de 10 a 20 pisos. En el sismo de 1985 el mayor daño a edificios fue en el área de periodos dominantes de aproximadamente 2 segundos. ref. III 59

La mayor parte de los edificios colapsados o con daños de gran importancia, fueron los de alturas de 7 a 15 pisos, cuyo periodo de vibración fue aproximadamente de 2 seg., por haber coincidido este periodo con el causado por el sismo en gran parte de los suelos de la Ciudad de México y por tanto se produjo el efecto de resonancia.

Teóricamente si el sismo durara mucho tiempo y sus movimientos, se verificaran en un solo sentido y se efectuara una completa resonancia con la estructura de algún edificio, por muy resistente que éste fuera siempre acabaría por fallar. ref. III 69

Los edificios de la época colonial, de muy baja altura, muros muy gruesos y por tanto alta rigidez y muy bajo periodo de vibración casi no sufren daño, pero los edificios actuales con mayor altura y menor rigidez pueden tener severos problemas, y deben ser estudiados más cuidadosamente en espacial en este tipo de suelo "blando" del centro histórico.

De acuerdo con lo anterior, ¿qué elementos se deben tomar en cuenta en el diseño arquitectónico en donde simultáneamente se tiene mala calidad del subsuelo y terrenos expuestos a fuerte acción sísmica?

Es necesario respetar los Reglamentos de Construcción y las Normas Complementarias, ya que son consecuencia del análisis de las experiencias y del avance de los conocimientos de todo lo relativo a la edificación.

Esto implica que tanto en el diseño arquitectónico como en el diseño estructural se cumpla debidamente lo que está establecido y posteriormente en la ejecución la calidad de los materiales y los procedimientos constructivos sean consecuencia de un estricto apego a normas y supervisión.

Es indispensable tener el criterio necesario para juzgar cuando, la importancia del edificio en cuanto a la magnitud y destino, hacen indispensable un estudio de mecánica de suelos con objeto de conocer todas las características y a la vez las particularidades de los sismos que pueden afectaren la definición de la arquitectura en todos sus aspectos integrales.

Uno de los aspectos más importantes en esto es en el cálculo estructural, la perfecta coordinación entre la cimentación y la superestructura ya que por responder a especializaciones diferentes: mecánica de suelos y cálculo estructural, podría haber el peligro de no responder a un mismo criterio.

El diseño estructural y sísmico constituye una responsabilidad *arquitectónica y de ingeniería compartida*. El sismo ataca al edificio en su conjunto y no distingue entre aquellos elementos concebidos por el arquitecto y aquellos especificados por el ingeniero. El arquitecto tiene una gran responsabilidad en el diseño sísmico, ya que la ingeniería ha reconocido desde hace mucho tiempo la importancia en el diseño y la configuración del edificio: pues han estudiado el comportamiento de los edificios durante los sismos.

Como se comentó anteriormente, es importante tener el criterio necesario para que durante el proceso del diseño arquitectónico se tomen en cuenta todo este tipo de factores, y el criterio se obtiene en base al conocimiento y estudio, solamente de esta manera nuestros diseños tendrán la calidad necesaria.

Referencias:

Arquitectura y Subsuelo " El Centro Histórico de la Ciudad de México "
Jesús Aguirre Cárdenas
Tesis Doctoral
UNAM

BIBLIOGRAFIA

Ref. 1

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 7
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986

Ref. 2

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 143
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986

Ref. 3

Urbanismo Español en América. pag. 75
Editorial Nacional. Madrid

Ref. 4

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 107.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
/ Relieves de Superficies Significativas Bajo Catedral y Sagrario
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/25/1993
/ Arquitectura y subsuelo "El Centro Histórico de la Ciudad de México" Parte III y IV
Jesús Aguirre Cárdenas Tesis Doctoral UNAM.

Ref. 5

La traza original con que fue construida la Catedral de México por mandato de su majestad Felipe II. pag. 10
Serrano Luis G. UNAM.
/ Duplicados Reales Cédulas, vol. 47. ff:108 y 409
Archivo General de la Nación.

Ref. 6

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 11.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Pedraplén de la Catedral Metropolitana
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia ene/12/1993
/ Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986

Ref. 7

Claudio de Arciniega, arquitecto de la Nueva España pag. 38
UNAM Instituto de Investigaciones Estéticas.
/ Planos de la Ciudad de México siglos XVI y XVII
Justino Fernández, Federico Gómez Orozco y Manuel Toussaint
Estudio Histórico, urbanístico y bibliográfico. México, UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas, 1938.

Ref. 8

Claudio de Arciniega, arquitecto de la Nueva España pag. 38
UNAM Instituto de Investigaciones Estéticas.

Ref. 9

La traza original con que fue construida la Catedral de México por mandato de su majestad Felipe II. pag. 19
Serrano Luis G. UNAM.

Ref. 10

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 144
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986

Ref. 11

La traza original con que fue construida la Catedral de México por mandato de su majestad Felipe II. pag. 25
Serrano Luis G. UNAM.

Ref. 12

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 108-111.
/ Relieves de Superficies Significativas Bajo Catedral y Sagrario
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/25/1993

Ref. 13

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México pag. 111
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Configuraciones de la Catedral Metropolitana
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/23/1991
/ Arquitectura y subsuelo "El Centro Histórico de la Ciudad de México". Partes III y IV
Jesús Aguirre Cárdenas Tesis Doctoral UNAM.

Ref. 14

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 117
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Configuraciones de la Catedral Metropolitana
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/23/1991

Ref. 15

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 31
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Relieves de Superficies Significativas Bajo Catedral y Sagrario
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/25/1993

Ref. 16

Relieves de Superficies Significativas Bajo Catedral y Sagrario
Catedral Metropolitana
Memoándum técnico T G C Geotecnia octubre/25/1993 / Instituto de Ingeniería UNAM

Ref. 17

López Carmona F. (1992). " Estudio de la condición actual de la Catedral Metropolitana", Tesis Doctoral.
Facultad de Arquitectura UNAM pag. 48-63

Ref. 18

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 144
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986

Ref. 19

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 7
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Estructuras del Templo Mayor.
Arq. A. Villalobos
Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana, N° 4 Facultad de Arquitectura. UNAM

Ref. 20

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.

Ref. 21

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.
/ Ortiz Monasterio M. (1929). " Estudio de la cimentación de la Catedral y cálculo del refuerzo de la sección E.F.6.7 "
Comisión técnica de la Catedral y Sagrario.

Ref. 22

Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.

Ref. 23

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 17
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Ref. 24

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 17
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Interacción Sagrario-Piramide del Sol.
Memorandum técnico T G C Geotecnia S.A. octubre/1993.

Ref. 25

Cimentaciones Franki de México S.A.
Materiales y Procedimientos de Construcción pag. 89
Editorial Herrero S.A.

Ref. 26

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 17, 27
/ Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 621-623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.

Ref. 27

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 27
/ Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.

Ref. 28

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 27
/ Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 623
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex, 1986.
/ Algunos cálculos relativos a la recimentación de la Catedral y Sagrario Metropolitanos.
Guerrero y Gama Vicente (1976)

Ref. 29

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 19
/ Catedral de México Patrimonio Artístico y Cultural pag. 624
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología/Fomento Cultural Banamex 1986
/ Reclasificación de los pilotes de control de la Catedral y Sagrario Metropolitanos y evaluación de los pilotes de la Torre Poniente y el Sagrario.
Catedral Metropolitana
Memorandum técnico T G C Geotecnia S.A. mayo/11/94

Ref. 30

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 95
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Reclasificación de los pilotes de control de la Catedral y Sagrario Metropolitanos y evaluación de los pilotes
de la Torre Poniente y el Sagrario.
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia S.A. mayo/11/94

Ref. 31

Conceptos básicos para el proyecto de nivelación.
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia octubre/2/1991

Ref. 32

Metodología de Subexcavación y Controles de proceso
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Geotecnia S.A. junio/22/1993

Ref. 33

Resultado de los ensayos de laboratorio: resistencia, contenido de agua, pesos volumétricos y límites de
consistencia.
Memorándum técnico T G C Geotecnia S.A. noviembre/22/1993

Ref. 34

Sagrario Metropolitano
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. mar/25/92

Ref. 35

Recorrido del sótano del Sagrario
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. abril/8/92

Ref. 36

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México. pag. 95
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
/ Inspección de los pilotes de control de Catedral.
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. abril/26/93

Ref. 37

Reposición de sistemas de reacción dañados.
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. enero/21/93

Ref. 38

Participación en El Comité De La Torre De Pisa y reconocimiento de iglesias Italianas con problemas de
comportamiento en sus cimentaciones.
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. abril/12/93

Ref. 39

Mediciones con inclinómetros electrónicos en el nivel de criptas
Catedral Metropolitana
Memorándum técnico T G C Ingeniería S.A. sept./30/93

Ref. 40

Mediciones de convergencia

Catedral Metropolitana

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. Enero/21/92

Ref. 41

Mediciones de la desviación de plomadas en las columnas

Catedral Metropolitana

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. febrero/11/92

Ref. 42

Colocación de puntos topográficos en la zona norte y sur de Catedral y Sagrario.

Catedral Metropolitana

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. junio/17/94

Ref. 43

Sondeos de cono eléctrico y de muestreo selectivo

Catedral Metropolitana

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. enero/27/92

Ref. 44

Gastos y niveles dinámicos de la lumbreras

Catedral Metropolitana, T G C.

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. abril/22/94

Ref. 45

Presentación de análisis de procedimientos para aislar el cajón del Metro durante la subexcavación de la catedral.

Catedral Metropolitana

Memorándum técnico T G C. Geotecnia S.A. julio/13/93

LAMINAS

Lámina 1

Referencia:

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 9

Lámina 2

Referencia:

Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 12,13
/ Configuraciones de la Catedral Metropolitana
Catedral Metropolitana
T G C Geotecnia S.A. Octubre/23/1991

Lámina 3

Referencia:

Configuraciones de la Catedral Metropolitana
Catedral Metropolitana T G C Geotecnia S.A. octubre/23/1991

Lámina 4

Referencia:

Catedral Metropolitana Corrección Geométrica
Asociación de Amigos de la Catedral Metropolitana de México A.C.
T G C Geotecnia/Instituto de Ingeniería de la UNAM 1993
/Informe de trabajos realizados en la Catedral y Sagrarios Metropolitanos por el método de
subexcavación controlada.
Instituto Ingeniería UNAM/ Facultad de Arquitectura/ T G C Geotecnia

Láminas 5.

Referencia:

Estudio de la condición actual de la Catedral Metropolitana. pag. 30
Tesis doctoral. Arq. Fernando López Carmona 1992

Láminas 6,7,8

Referencia:

Estudio de la condición actual de la Catedral Metropolitana pag. 30
Tesis doctoral. Arq. Fernando López Carmona 1992. pag. 41,42 y pag. 72 **anexo II**
Diccionario Viollet Ledue pag.48

Lámina 9

Referencia:

Estructuras del Templo Mayor
Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana. n° 4 Fac. Arquitectura

Lámina 10

Referencia:

Estudio de las cimentaciones de Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
pag 12 y 13
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Lámina 11

Referencia:

Obras a Cargo de la Comisión de Orden y Decoro
Refuerzo de la cimentación Arq. A. Muñoz G.
Asociación de Amigos de la Catedral Metropolitana de México A.C
Estudio de la condición actual de la Catedral metropolitana
Tesis doctoral. Arq. Fernando López Carmona 1992. pag.10

Lámina 12

Referencia:

Estudio de las cimentaciones de Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 18 y 133

Lámina 13

Referencia:

Estudio de las cimentaciones de Catedral y el Sagrario Metropolitanos de la Ciudad de México.
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. pag. 91-93
/ Reclasificación de los pilotes de control de la Catedral y el Sagrario Metropolitanos
T G C Geotecnia mayo/11/94

Lámina 14

Referencia:

Comportamiento de los pilotes de control
T G C Geotecnia S.A. abril/10/92

Lámina 15

Referencia:

Estudio de la condición actual de la Catedral metropolitana
Tesis doctoral. Arq. Fernando López Carmona 1992. pag. 41,42 y pag. 72 anexo II

Lámina 16,17,18

Conclusiones Adán H. Ramírez Guzmán

Lámina 19

Referencia de la composición de las capas del subsuelo:

Asentamiento regional de la referencia TICA
T G C Geotecnia S.A. diciembre/20/91

Lámina pag. 40

Referencia de la composición de las capas del subsuelo:

Asentamiento regional de la referencia TICA
T G C Geotecnia S.A. diciembre/20/91

Lámina pag. 42

Referencia:

Mediciones de convergencia
Catedral Metropolitana, T G C. Geotecnia S.A. Enero/21/92

Lámina pag. 43

Referencia:

Mediciones de la desviación de plomadas en las columnas

Catedral Metropolitana, T G C. Geotecnia S.A. febrero/11/92

Lámina pag. 45

Conclusiones Adán H. Ramírez Guzmán

Lámina pag. 46

Conclusiones Adán H. Ramírez Guzmán

FOTOGRAFIAS

Fotografía 1

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en excavaciones en el patio oriente de la Catedral Metropolitana.

Fotografía 2

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en la lumbrera 3 de la Catedral Metropolitana.

Fotografía 3

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1993 en excavaciones en el patio oriente de la Catedral Metropolitana.

Fotografía 4

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en el sótano del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 5

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en los arcos del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 6

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en los arcos de la Catedral Metropolitana.

Fotografía 7

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1993 en la construcción de una lumbrera en la Catedral Metropolitana.

Fotografía 8

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en la construcción del brocal de la lumbrera 25 en el Sagrario Metropolitano.

Fotografía 9

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en el sótano del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 10

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en la lumbrera 29 del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 11

Tomada por Adán H. Ramírez en 1994. Restos de un pilote tipo Mega que cuelgan del sótano del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 12

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán 1994 de un pilote de control existente en el sótano del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 13

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán 1994 de una perforación de pilote de control no colocado en una de las celdas del sótano del Sagrario Metropolitano.

Fotografía 14

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán 1994 del fondo de una lumbrera en la que se observan las boquillas de subexcavación en el muro, mesa de subexcavación, cople y gato hidráulico.

Fotografía 15

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 del conjunto de la tubería de perforación con tubos de 1.0 m de longitud en donde se puede observar el tubo perforador (de mayor diámetro) con una zapata afilada en la punta.

Fotografía 16

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 de la canastilla elevadora de la tubería de perforación.

Fotografía 17

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1993 durante la excavación para la construcción de una lumbrera donde se observan restos de 2 pilotes de madera asentados sobre estructuras aztecas.

Fotografía 18

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en el sótano del Sagrario Metropolitano donde se observa la demolición de los restos de un pilote tipo Mega que cuelga del techo.

Fotografía 19

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en el patio oriente de la Catedral Metropolitana frente a la bodega de mantenimiento.

Fotografía 20

Tomada por Adán H. Ramírez Guzmán en 1994 en el patio oriente de la Catedral Metropolitana en el taller de herrería.