

00181

2
2ºj-

ESTUDIO DE LA CONDICION ACTUAL DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
LAS CONDICIONES DE LA ESTRUCTURA EN
FUNCION DEL PROBLEMA DEL SUELO.

TESIS CON
FALLA EN CALIDAD

Tesis que presenta
FERNANDO LOPEZ CARMONA

Para obtener el título de
DOCTOR EN ARQUITECTURA
Area Tecnología

Doctorado en Arquitectura
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Arquitectura
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



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 está 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.

PROLOGO	I-II
INTRODUCCION	III- X
CAPITULO I: La causa del problema	1
I.1. Panorama Lacustre	6
I.2. El tipo de cimentación	7
I.3. La condición actual	11
I.4. La necesidad de sumar y restar velocidad al hundimiento diferencial.	12
CAPITULO II: Las consecuencias del problema	19
II.1. Las deformaciones durante la construcción	
II.2. La condición deformada actual	23
II.3. El criterio de corrección de las deformaciones	24
CAPITULO III: La acción sísmica	26
III.1. La historia evolutiva del sistema constructivo en la Colonia	
III.2. El juicio crítico de esa evolución	28
III.3. El análisis de la estabilidad de la construcción	34
III.4. Conclusiones de ese análisis	53
CAPITULO IV: El tema catedralicio para un arquitecto	59
IV.1. Los medio disponibles y las posibilidades formales.	59

proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

IV.2. El proceso de realización	63
IV.3. El criterio de estabilidad como elemento dominante del problema	64
IV.3.1. Como cubrir con mampostería los claros necesarios	
IV.3.2. Como organizar el trabajo, para ahorrar esfuerzo, costo y problemas de construcción.	
IV.4. Como canalizar con elementos las fuerzas hacia los contrarrestos.	64
CAPITULO V: Diagnóstico inicial	64
V.1. Análisis geotécnico	64
V.2. Análisis de curvas de nivel y deformaciones	65
V.3. Resistencia de materiales	65
V.4. Instrumentación	66
V.5. Metodología para controlar y evitar los daños por hundimientos diferenciales.	83

proyecto :

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

PROLOGO

En abril de 1989 el Director de Sitios y Monumentos de la SEDUE, Arq. Sergio Zaldivar Guerra, decidió iniciar el proceso de protección a la Catedral Metropolitana - de la Ciudad de México, en vista de los daños que la - sobre-explotación de los acuíferos de los que se abas- cen a la región metropolitana estan produciendo en to- do el Centro Histórico (ver anexo II).

Y encomendó al Director de Obras de Restauración, Arq. Fernando Pineda Gómez, organizar este trabajo.

Este documento es una recopilación de los que se gene- raron a lo largo de dos años.

Se inicia con una relación de actividades del grupo de trabajo; continúa con una reflexión personal sobre el tema que se empieza desde la causa del problema, sus - consecuencias, otras causas que influyen en la concep- ción del monumento y el plan de análisis para compren- der las razones que explican el resultado construido.

Después aparecen los documentos que van explicando su- cesivamente las razones que justifican las acciones, - las ideas que deben regir el trabajo por realizar.

Debe entenderse que es un monólogo preparatorio, a un diálogo, con los otros participantes y en este proceso

hay ideas que se repiten una y otra vez para ir asimilándolas al criterio final que debe contar con el consenso del grupo, hay otras que se diluyen en conceptos que las implican pero que significan un enfoque más complejo, según avanza el trabajo.

Representan una suma de datos y reflexiones que organizan las acciones correctivas al problema que afecta al monumento que por otra parte reúne en sí los defectos y las virtudes de toda la herencia monumental de nuestra ciudad.

El registro de este esfuerzo debe contribuir a una mejor comprensión de la problemática que debemos resolver en todo el Centro Histórico de la Ciudad de México, - por eso y para ello lo estamos publicando.

INTRODUCCION

- A) Diagnóstico inicial, (mayo de 1989) por observación de las grietas de las bóvedas y las pilastras y de los hundimientos en las esquinas N.E. y N.W.
- Solicitud para contar con el apoyo geotécnico del Ing. Enrique Santoyo.
- B) Análisis de las curvas de nivel y deformaciones.
- Organización de las nivelaciones del Edificio, de la zona y de la región, con el apoyo del grupo de trabajo
- C) Ciclo de intercambio de posibilidades de resolución en la UNAM, hasta alcanzar por eliminación la única opción posible: la subexcavación. Mientras, se exploraba el estado de conservación del sistema de pilotes de control, con la asesoría del Ing. Miguel Rivero Carranza y por el Ing. Marcelo Ríos de TGC, para intentar corregir el giro del sistema de apoyos.
- D) Dirección general del proceso de exploración del suelo realizado por TGC, (sondeos y piezómetros) observación y configuración de una visión completa del problema de pilotes, suelo y posibilidades de solución.
- E) Propuesta de colocación de tensores ante la percepción del tiempo necesario para el proceso y como medida de

seguridad, propuesta de tensores en el interior de Catedral.

F) Detección del problema de la estructura cuando la información del suelo, los pilotes y la topografía se conjuntaron en Diciembre de 1989. En el Primer Informe de los trabajos, fue evidente que el principal problema es el giro hacia afuera de las crujiás de contrarrresto.

G) La investigación de la geometría de la construcción entre tanto, había ya fructificado en la información tanto del proceso de construcción, como de una cadena de elementos aislados y autosuficientes que, en conjunto, vienen a constituir la Catedral.

El proceso está consignado en láminas que indican época de construcción, deformación durante ese tiempo, forma inicial ya deformada y formas iniciales deformadas después.

Lo anterior permitió definir que hay necesidad de aceptar deformaciones irreversibles y corregir únicamente aquello que pone en peligro al Monumento; que el proceso de corrección implica una deformación y que ésta debe ser resuelta con recursos compositivos arquitectónicos.

- H) También del Informe de Diciembre de 1989, se derivó - que el hundimiento diferencial es función del hundimiento general y obedece a la misma ley de tipo lineal uniforme, sólo afectada por una constante de aproximadamente de 1/5 del movimiento total. Este vector de daño interactúa con la preconsolidación del suelo y tiene un patrón de conducta que determina la comparación de las nivelaciones durante ocho meses en aquel entonces; ahora 15 nivelaciones han confirmado y clarificado esa ley que podemos afirmar ya es conocida.

Siguiendo el análisis de la información disponible de pilotes, de preconsolidación, de hundimiento y sus causas en la Ciudad, se alcanzó un criterio de solución - como se expresa a continuación.

I) CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION

NO ES POSIBLE, NI DESEABLE EVITAR QUE LA CATEDRAL SIGA AL SUELO EN SU DESCENSO.

Es indispensable detener las deformaciones diferenciales y para eso hay dos acciones: una de freno y otra de acelerador, que deben corregir las diferencias en - velocidad de hundimiento de los distintos segmentos - del edificio.

El freno es la acción de fricción negativa que los pi-

lotes de punta hincados en 1972 ejercen, y el acelerador, debiera ser la subexcavación.

J) ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE ACCION CORRECTIVA

JA) En la primera campaña de trabajo correctivo habrá una acción de corrección enérgica de los daños - acumulados, y luego una labor de mantenimiento - permanente que evitará que éstos se vuelvan a acumular.

Así en la primera quincena de 1990 se estableció el plan de trabajo que, consultado con la Comisión y la aprobación del Director General, se expresó en la junta del día 3 de enero de 1990, según acta de la reunión.

JB) Este plan contempla apuntalar las Crujías de Contrarresto y las Naves Procesionales, para hacer - que giren como cuerpos rígidos hacia dentro, al - subexcavar las zonas duras incadas, abajo del Abside y de la Cúpula.

JC) Colocar un freno en el perímetro norte de la Catedral y en los vértices orientales del Sagrario.
Subexcavar las Crujías Centrales del Monumento.

De este plan se derivaron: la colocación de 36 pi

lotes en la porción norte perimetral exterior de la Catedral y 27 en el Sagrario; pilotes de fricción negativa capaces de 400 toneladas cada uno, que a través de soportar el subsuelo, reducirán la velocidad mayor del hundimiento en las esquinas menos consolidadas.

K) INSTALACIONES DE LOS PUNTALES

Las obras de apuntalamiento, con tubería desmontable - en el interior de ambos edificios.

La propuesta inicial para apuntalar la Catedral suponía una estructura "AD HOC" con uniones soldadas. Los funcionarios de Sedue valorando el tiempo y la recuperación, posibilitaron la adquisición de un sistema vérsatil de apuntalamiento con tubería y uniones, de producción nacional.

La Empresa ganadora del concurso, "Exacta", sometió un proyecto de uso de sus materiales, elaborado por el Sr. Ing. Hilario Prieto de FASA. Se verificó el esfuerzo de diseño para las cargas, que proporcionó el Taller de Catedral y resultó aceptable, por lo que se autorizó la erección del apuntalamiento. Sin embargo, para dar por recibida oficialmente la obra, el Director General, exige una prueba de carga a todos los elementos

del sistema y del proyecto de apuntalamiento.

Esa prueba debe ser implementada por "Exacta" y tendrá tres ciclos de carga: para acomodo, ajuste y corrección, las dos primeras, y una tercera a 1800k/cm^2 de esfuerzo sobre tubería y conexiones. La prueba deberá controlar fuerzas, deformaciones y permanencia de la respuesta ante las cargas de prueba. Para controlarla se solicitó el apoyo de la Cia. Metronic, S.A. del Ing. Alfredo Olivares, cuya experiencia en el área de control y medición de esfuerzos está avalada por su curriculum de investigador en la UNAM.

También "METRONIC" deberá instrumentar en San Antonio Abad y en Catedral los elementos de control de esfuerzos y deformaciones en tensores y tuberías y en Catedral, además, los tres marcos rígidos de acero que se solicitaron como comparadores de la respuesta de los arcos. En el eje (D) entre los ejes (2) y (3) y (4) - y sobre el eje (3) entre los ejes (D) y (E).

Se busca medir, con materiales de características confiables, tanto esfuerzos como deformaciones en el proceso de esubexcavación. Estos marcos a flexión y con continuidad, son "Modelos Típicos" de estructura hiperestáticas, y de su comparación con el esqueleto de piedra que apuntalarán, se podrán deducir las sollicitacio

nes que los arcos debieran soportar si no estuvieran - apuntalados. Esa información, sin duda, será útil para comprender cabalmente el proceso, y lo que deba reforzarse, si se juzga necesario.

L) CLARIFICACION DE PROCEDIMIENTOS

El proceso de refinamiento de los métodos para subexcavar Catedral.- Para ello se propuso y fue aprobado, el plan de investigación en el Templo de San Antonio Abad, donde ya se ha probado que se puede subexcavar controlando el estrato adecuado, el volumen y la ubicación de la extracción del material; que se puede frenar y detener el movimiento que en el edificio se induce, y que éste puede apuntalarse para que actúe como un cuerpo rígido. (ver anexo II)

M) Estamos ahora en la etapa final de la investigación, buscando el rango de deformación máxima admisible en la superestructura, para con esa información controlar el proceso correctivo de la Catedral.

N) Del proceso de apuntalamiento en Catedral, ya se inician las pruebas de carga previa para garantizar la efectividad de todo el sistema.

O) VERIFICACION DE RESULTADOS

Los pilotes ya hincados, vigilados por las nivelacio-

nes, ya están actuando.

P) MEDIDAS COMPLEMENTARIAS DE PROTECCION AL ENTORNO.

Una consecuencia de la acción de los pilotes en el perímetro de la Catedral es que la Capilla de Animas y la Ex-curia serán afectadas por el cambio inducido en el suelo. Se solicitó y fue autorizado por las autoridades, hincar 10 pilotes en el piso de la Capilla, libres de fricción, y apoyados de punta en el estrato duro. La Capilla de Animas además está afectada por la Línea 2 del Metro, que pasa al norte de la misma.

La Ex-curia, con los elementos de concreto, como liga horizontal, que se le incorporaron en 1975, está en mejor condición para soportar el problema y solamente está en observación.

- Q) En la actualidad con la experiencia ya acumulada y en base al análisis de estabilidad hecho por la Comisión en Abril y Mayo de 1990, se elabora el plan de subexcavar las crujiás centrales de ambos edificios.

Pronto se tendrá el proyecto ejecutivo de estos trabajos pero no se debe festinar ni el volumen, ni el lugar ni el método. Todo eso se analiza con detenimiento, junto con los métodos de control.

CAPITULO I.

LA CAUSA DEL PROBLEMA

La labor iniciada desde junio de 1989 hasta junio de 1990 permitió desde enero de 1991 configurar - un horizonte de trabajos para enfrentar el problema que confronta la Catedral Metropolitana.

En esos meses se identificó la causa del problema, se evaluó la capacidad de respuesta del edificio y se determinó la relación de causa y efecto entre ellas.

De eso se deriva la intención de crear un instrumento de control que al modificar la velocidad - de hundimiento del edificio elimine las deformaciones debidas a la respuesta desigual del suelo.

La causa es la sobre-explotación de los acuíferos del Valle y se refleja en un cambio de escala geológica en el problema. Inicialmente el - proceso de consolidación fue un fenómeno comprensible de arcilla saturada de agua y produjo una deformación ajustada en todo al patrón de deformación "en cazuela", típico en los Monumentos - del Centro Histórico; ahora el fenómeno de consolidación se presenta en toda el área que ocupó - el Lago y la Catedral, con todo y su gran exten-

sión, no es sino un punto dentro del tejido urbano cuyo subsuelo arcilloso sufre la sollicitación generalizada desde sus estratos inferiores.

En todos los edificios que ya han aceptado esa - deformación "en cazuela" se reflejará durante este nuevo proceso de consolidación, la historia - de carga previa que preconsolidó la zona central en mayor grado que el perímetro y serán críticas las esquinas que son las zonas más alejadas del centro de la "cazuela".

Pero además, y en la Catedral más que en muchos otros, las cargas de construcciones prehispánicas también modifican ese hundimiento, que si - fuera uniforme, no dañaría al edificio.

Se decidió como medida preventiva colocar tensores transversales y longitudinales.

Los pilotes para controlar hundimientos, instalados en 1975, y que fueron valorados ahora, no - son suficientes, también son incapaces de ajustar el descenso al ritmo que establecen las zonas duras preconsolidadas; completar los pilotes en algunas zonas desprovistas de frenos y poner artificios para acelerar el descenso en las zonas duras, permitirá eliminar los daños de los -

hundimientos diferenciales.

De la comparación entre los elementos de apoyo - disponibles y el proceso de hundimiento se deduce que los pilotes de punta colocados en 1972 - (ver análisis de este en Publicación de SEDUE) ⁽¹⁾ actúan como pilotes de fricción negativa y desaceleran el hundimiento; pero hay zonas preconso-lidadas que descienden más lentamente, y otras - zonas desprovistas de pilotes de punta y sin tan-ta consolidación, que descienden a mayor velo-cidad.

Para alcanzar este fin de frenar las esquinas, - se hincaron 63 pilotes en el perímetro del Sagra-rio Metropolitano y en la cabecera norte de Cate-dral y sobre los dos costados al norte del cruce-ro. Estos pilotes frenarán transitoriamente el descenso de las zonas críticas y posteriormente harán que desciendan al ritmo de las zonas con - pilotes de punta del año 1975, que ya actúan co-mo pilotes de fricción negativa.

Son pilotes con perforación previa y colados en sitio apoyados sobre la primera capa dura.

(1) Estudio de las cimentaciones de la Catedral y el Sagra-rio Metropolitano de la Ciudad de México.

Elementos que complementarán el sistema de control de los hundimientos diferenciales, son los pozos - para subexcavar las zonas duras, cuya velocidad de hundimientos es menor que las zonas frenadas por - los pilotes.

Sobre la acción de los pilotes ya hay la experiencia que nos hace creer como y cuando cumplirán lo que de ellos se espera.

De la subexcavación que ya se ha aplicado con éxito en edificios contemporáneos y aun en edificios del pasado, es necesario conocer con más precisión los límites seguros de deformación inducida para - no dañar incesantemente los elementos de Catedral. Por ello se ha ensayado el procedimiento en el Tem plo de San Antonio Abad, el cual fue restaurado re cientemente, pero cuyo desplomo no fue corregido.

Allí se verificó la eficacia del sistema de apunta lamiento y de contraventeo, la tolerancia de los - muros de mampostería al descenso por zonas y alcan ce de la influencia de la subexcavación en una zona determinada sobre los muros. Y también la acción del descenso de los apoyos sobre arcos y bóve das apuntaladas y contraventeadas. (2)

Además la acción del descenso y los giros que inducen las estructuras sobre los apoyos aislados de piedra. Esto último como una derivación de las - solicitaciones sobre los contrafuertes del Templo.

Todo lo anterior requiere crear sistemas de medición sobre la estructura y conocimientos sobre la respuesta mecánica de los materiales que la constituyen, para crear un caudal de experiencia que, racionalizado e interpretado en base a datos reales, permita intervenir con la máxima seguridad - en Catedral. (3)

Aquí la experimentada asesoría de los investigado res universitarios fué una gran ayuda. Tanto en aspectos puramente de resistencia de materiales - cuanto en aspectos de geometría del edificio; ambos aspectos ya han sido realizados en el Institu to de Ingeniería el primero y en el Taller de Catedral el otro.

Todo este caudal de conocimientos enriquecerá la tarea que proponemos realizar, para dotar al Monu mento de los instrumentos y la metodología para - controlar y evitar los daños que los hundimientos diferenciales le pudieran causar.

I.1. EL PANORAMA LACUSTRE

El subsuelo de la cuenca de México esta en evolución acelerada por la acción imprudente de los habitantes de la ciudad. (Baste recordar que la batalla final por Tenochtitlan fue un combate naval).

El equilibrio ecológico de la cuenca fue roto por las obras de desagüe.

En la actualidad la explotación de los acuíferos de la cuenca para abastecer a la población, sin duda excede su capacidad de recuperación. Se estima que el 70% del consumo de agua de la ciudad procede de pozos.

Esto ha producido la emigración del agua intersticial que contenía la arcilla, de las capas superiores hacia los niveles de los que se está extrayendo el agua.

En las arcillas saturadas de agua la capacidad portante es función de la presión del agua que la impregna; tambien el volumen del suelo depende del contenido de humedad. Ambos factores, combinados principalmente con los vestigios prehispánicos que yacen

en los estratos superiores, provocan hundimientos diferentes a velocidades distintas, en el suelo que sustenta la ciudad actual.

Los asentamientos en función de esas variables, dañan las estructuras de los Monumentos del Centro Histórico. Como las variables que determinan el fenómeno no han cesado de actuar y aun se ha acelerado su acción sobre el suelo, los daños se incrementan.

Así el fenómeno que nos ocupa tiene una historia y las consecuencias de la acción pasada al relacionarlas con las condiciones actuales, permiten deducir las consecuencias que debemos combatir y aun prevenir los daños futuros, con métodos también en evolución. (4)

I.2 EL TIPO DE CIMENTACION

Es importante entender, que la cimentación original de la Catedral es la única capaz de soportar al Monumento y que las intervenciones posteriores tienen como objetivo aliviar algún aspecto particular del pro-

(4) Op. cit. pág. 11

blema, pero que todas son complementarias y ninguna es, ni puede ser, sustitutiva - de la cimentación por superficie, que se concibió como una parte fundamental e insustituible de la estructura arquitectónica del edificio.

Por la investigación en el Archivo de Catedral se recuperó el documento que describe los refuerzos incluidos en 1934 por Don Manuel Ortiz Monasterio y que explica la conesión de esa cimentación en la actualidad. Láminas 1 y 2.

Original es también el emplazamiento del Monumento dentro de la Plaza y no limitando el espacio cívico urbano, que es el objetivo de la misma; esta disposición sin duda, es reflejo del concepto prehispánico de recinto ceremonial, que configuró el Conjunto del Templo Mayor y también en los restos del mismo está el testimonio - del origen mexicano del pedraplen estacado, característico de las cimentaciones - de nuestros Monumentos. (5)

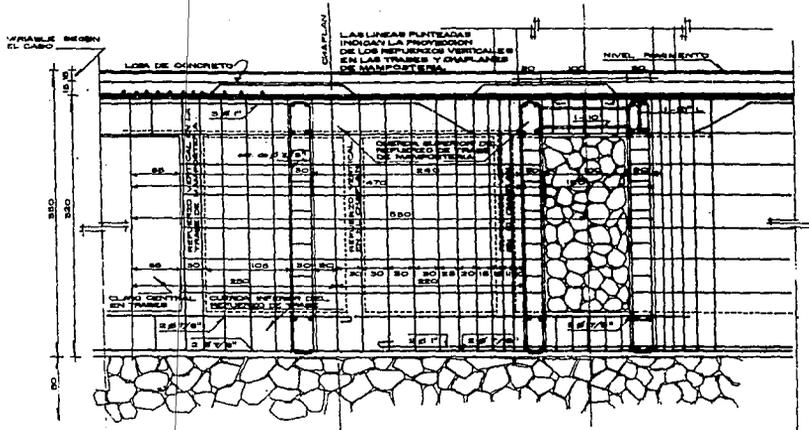
(5) Dr. Carlos Chanfón Olmos.

blema, pero que todas son complementarias y ninguna es, ni puede ser, sustitutiva - de la cimentación por superficie, que se concibió como una parte fundamental e insustituible de la estructura arquitectónica del edificio.

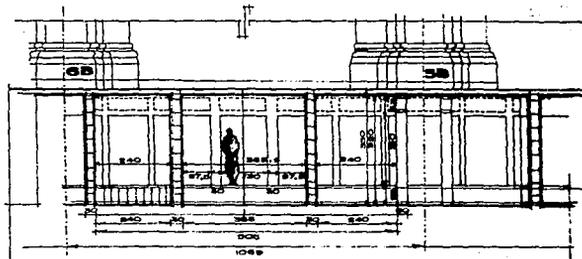
Por la investigación en el Archivo de Catedral se recuperó el documento que describe los refuerzos incluidos en 1934 por Don Manuel Ortiz Monasterio y que explica la conesión de esa cimentación en la actualidad. Láminas 1 y 2.

Original es también el emplazamiento del Monumento dentro de la Plaza y no limitando el espacio cívico urbano, que es el objetivo de la misma; esta disposición sin duda, es reflejo del concepto prehispánico de recinto ceremonial, que configuró el Conjunto del Templo Mayor y también en los restos del mismo está el testimonio - del origen mexicano del pedraplen estacado, característico de las cimentaciones - de nuestros Monumentos. (5)

(5) Dr. Carlos Chanfón Olmos.



SECCION II
ESCALA 1:30



SECCION I
ESCALA 1:30

**REFUERZO DE
CIMENTACION**

PROYECTO DEL ARO. MANUEL ORTIZ MONASTERIO

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

**DETALLE CONSTRUCTIVO
CIMENTACION**

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

Todo lo anterior lo impuso la condición la cumbre de la cuenca de México y ésta cuenca sigue imponiendo su condición, por encima de la acción humana y como consecuencia de ella.

I.3. LA CONDICION ACTUAL

Aprovechar lo que ya existe, completarle - en algunos lugares y agregar elementos nuevos para controlar los daños previsibles, exige conocer la condición actual del suelo, de allí la necesidad que hubo de nuevos sondeos. Los sondeos más recientes se habían hecho hace diecisiete años, en 1972; las propiedades de los suelos han cambiado significativamente, y de allí la necesidad de actualizarlos. Los piezómetros que había, se perdieron durante la obra de los pilotes de control en 1975, actualmente en proceso de reposición. Faltaba información precisa de las propiedades de la capa dura sobre la que se apoyan los pilotes y debía conocerse.

La superestructura es del siglo XVII, las

bóvedas se cerraron en 1667 y durante 322 años han actuado como fueron concebidas - y es razonable pensar que seguirán actuando si no se alteran las condiciones de apoyo. (Gráfica y plano de deformación durante construcción y proceso constructivo en 1975. Pag. 33). (6)

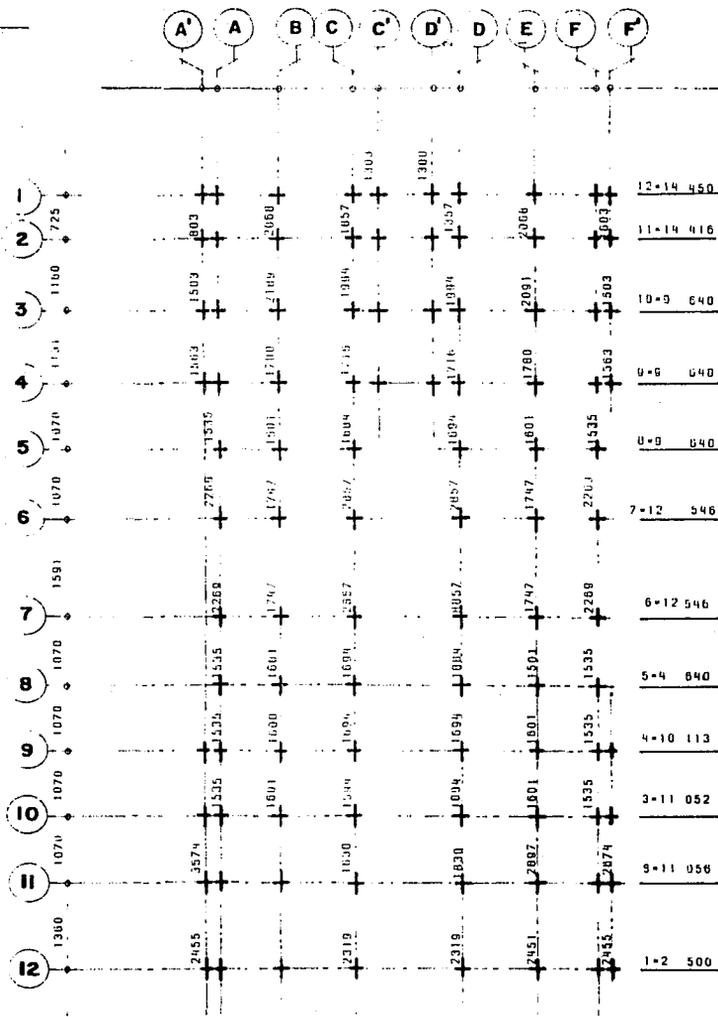
Son estas las condiciones de apoyo, las que se deben mantener ante los cambios que presenta el suelo.

I.4. LA NECESIDAD DE SUMAR Y RESTAR VELOCIDAD AL HUNDIMIENTO DIFERENCIAL

El edificio pesa 127,344 toneladas, incluido su pedraplen de cimentación.

En 1975 el Ing. Manuel González Flores incó 383 pilotes de control para detener los hundimientos de la zona sur del Monumento, que históricamente la han aquejado. (de la pág. 89 a la pág. 104). (6)

El estudio que para evaluar esos pilotes hizo el Sr. Ing. Vicente Guerrero y Gama -



proyecto:

**RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CARGAS SOBRE CIMENTACION
(ING. VICENTE GUERRERO Y GAMA 1975)

FACULTAD DE ARQUITECTURA

en el año de 1976, demuestra que la capacidad de ésta recimentación es solamente el 16% del peso total. (7)

Los estudios que realiza SEDUE ahora, califican la capacidad de la recimentación en 13% del peso total.

De lo anterior se deriva que los pilotes de control que hay, no son suficientes para enfrentar los cambios que sufre el subsuelo, agudizados por la influencia de los restos preshipánicos, que producen condiciones críticas.

POSIBILIDADES CORRECTIVAS

- a) Hincar pilotes para soportar toda la carga.- Esta alternativa eliminaría los asentamientos del Monumento; de la evaluación que se realizó, se anticipa poco factible. Faltan 800 pilotes y destruirían el pedraplen que como se verá adelante es fundamental en el concepto del edificio.

(7) Algunos cálculos relativos a la no recimentación de la Catedral y del Sagrario Metropolitano. Guerrero y Gama V. (1977).

b) Uniformar el descenso, respetando las características del Monumento; para ello se utilizará la cimentación de superficie, auxiliada por los pilotes de control que hay y aun agregando algunos más.

El comportamiento de las zonas duras, muy localizadas, deberá hacerse compatible con el comportamiento general de la cimentación. La metodología para ésto debe desarrollarse, aprovechando el estado actual del arte.

Ya hay experiencias en edificios contemporáneos en las que, aumentando la deformabilidad del suelo, se inducen los asentamientos deseados.

Para aplicar confiablemente esta técnica a las estructuras del Patrimonio Histórico actual, se ha elaborado un plan de acción.

Hay edificios históricos que necesitan intervenciones en sus cimentaciones y que simultaneamente pueden ayudar en

el proceso de desarrollo del sistema.

Estos son los pasos que se proponen: San Antonio Abad, La Concepción, San Fernando y por último Catedral.

San Antonio ya fue intervección en su superestructura, tiene un desplome de 3.5% del norte hacia el sur y está en observación. La Concepción, tiene un estudio del año 1932 que cubre los aspectos geotécnicos y los aspectos de equilibrio de la superestructura, y presenta el mismo problema de restos prehispánicos que descienden al mismo ritmo de la arcilla que los circunda. San Fernando, con el estudio geotécnico completo y esperando presupuesto; antes de 1950 fue intervenido y reforzada la superestructura por el Arq. Bernardo Calderón C.. La experiencia obtenida así será valiosa para el proyecto en Catedral.

La observación e instrumentación de las superestructuras en todos los casos -

será también probada así.

El esquema de equilibrio de la Catedral es extremadamente sensible a los cambios en la geometría del edificio, el ascenso o el descenso de los apoyos y las variaciones en la distancia entre apoyos se reflejan en fallas frágiles localizadas en los arranques y en la clave de los arcos propiamente dichos; los giros en los muros de las crujeas exteriores que contrarrestan los empujes transversales, significan variación en la luz de los arcos y en el nivel de sus apoyos y por ende, grietas en los riñones y en las claves de los arcos.

PROTECCION A LA SUPERESTRUCTURA

La precaución necesaria para este proceso exige rigidizar transitoriamente algunas zonas, apuntalar y/o contraventear otras, tanto en planta como en alzado porque el fenómeno es tridimensional.

La experiencia de obras anteriores, la confiabilidad de los procedimientos y la preo-

cupación por no dañar innecesariamente al Monumento, aconseja disponer elementos de tracción que, combinados con la capacidad portante a la compresión de los elementos del edificio, nos permitan construir armaduras capaces de resolver solicitaciones de flexión en los tres planos cartesianos.

Sabemos que en el proceso habrá grietas - que rellenar y que el cuidado permanente - es inevitable hasta que los hundimientos - por la consolidación del suelo cesen, pero se deben corregir las deformaciones que - presenta actualmente el Monumento.

CONCLUSION

No se puede permitir que los puntos duros bajo Catedral sigan propiciando el giro - hacia fuera de los muros de contrarresto - y si no se puede soportar las 127,300 toneladas de la Catedral, sí es factible hacer que esas zonas descendan a un paso compatible con la tolerancia de la estructura. (ver ANEXO San Antonio Abad y Figuras 10.7 a la 10.13, libro de SEDUE).

CAPITULO II.

LAS CONSECUENCIAS DEL PROBLEMA

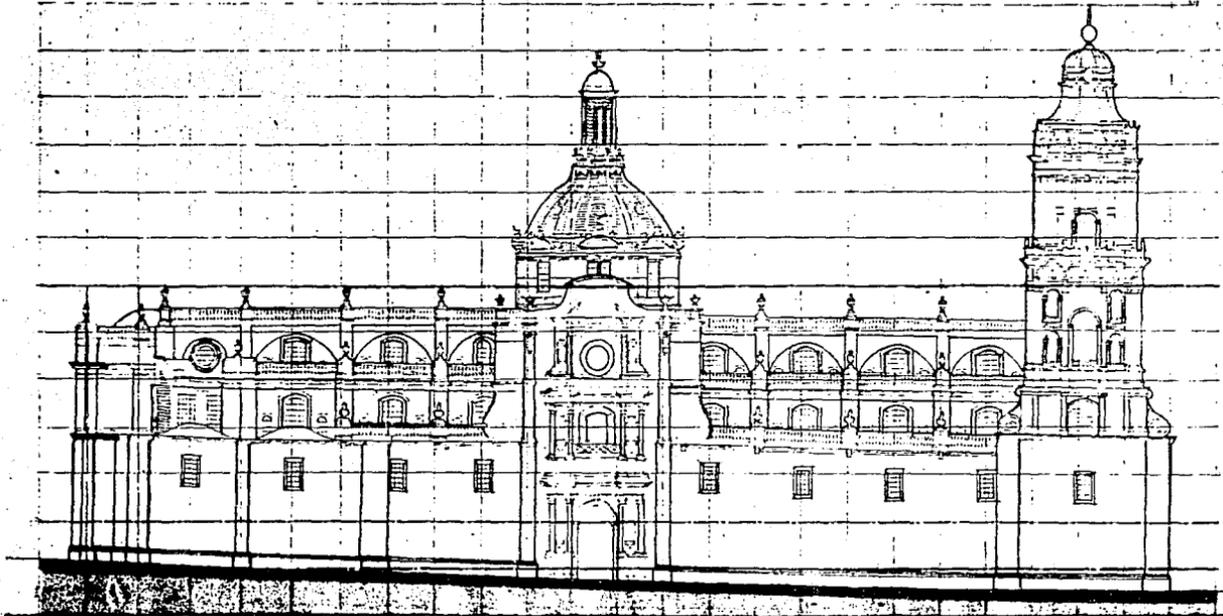
II.1 LAS DEFORMACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION

La construcción del Monumento se extiende - desde 1573 hasta 1667, en cuanto al recinto cubierto, y culmina en junio de 1812 en su totalidad.

Son etapas de gran importancia para nuestro tema las del siglo XVI y XVII, porque en - ellas se desarrollaron las deformaciones - que están incorporadas a la fábrica del Templo.

La investigación en el edificio ha contemplado esos hundimientos a través de la diferente longitud de los fustes de las pilas- tras y estos datos, correlativos a las fechas de construcción, permiten conocer el - proceso de los hundimientos iniciales. (ver láminas elaboradas por el Taller de Cate- dral). Lámina 3

También la deformación en el perfil de las bóvedas que sin duda se compone de algo ini- cial ya incorporado y algo más, mucho mayor



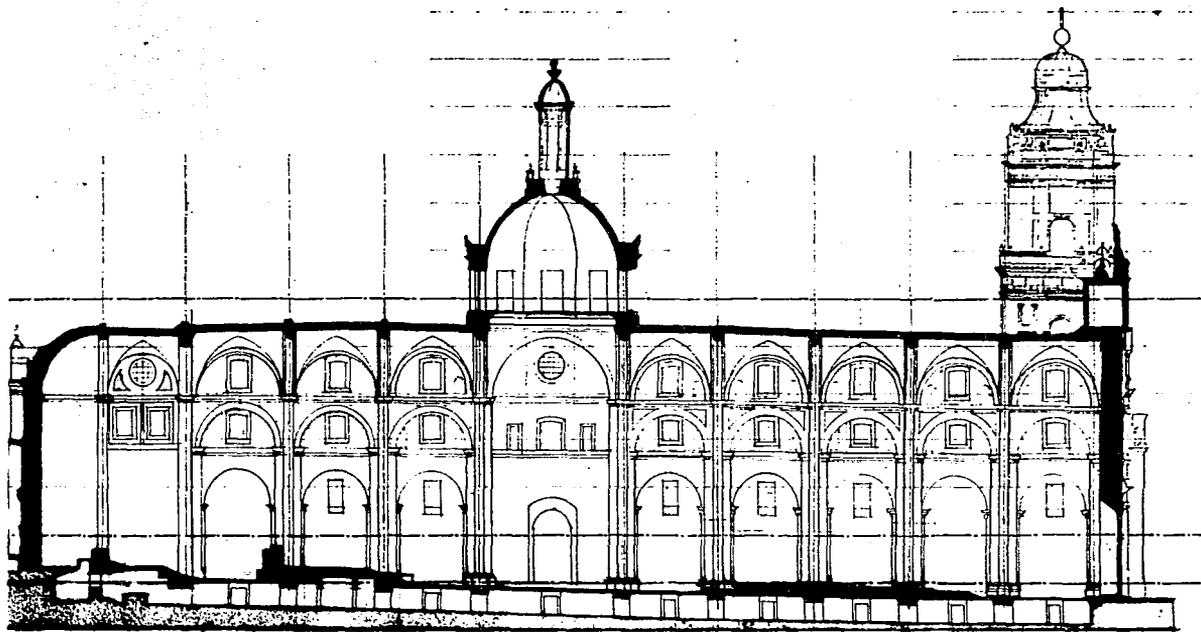
ALZADO PONIENTE

Proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(AGENCIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES
Y SUS CORRECCIONES

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



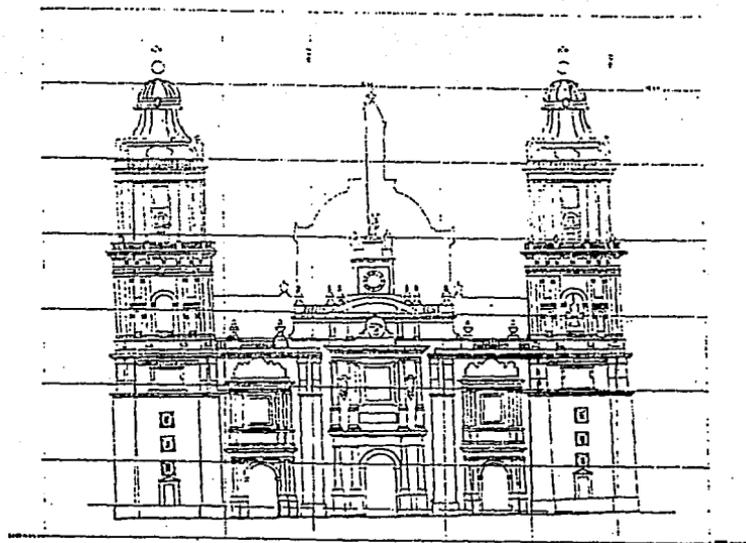
CORTE LONGITUDINAL

Proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES
Y SUS CORRECCIONES

FACULTAD DE ARQUITECTURA



proyecto :
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

que la historia de los desplomes y giros -
posteriores ha provocado, puede seguirse -
en la geometría de las mismas. Lámina 4.

El trabajo en el Taller ya permitió ver la
deformación de 1573 a 1665 y también de es
ta fecha a la de la colocación de las ba-
laustradas de remate por Tolsá en 1803 es-
tá registrada allí; por último de entonces
a ahora se ven los cambios en esos dibujos,
todo ello permite ver dónde y cómo se ab-
sorbieron esos problemas e ilustra cómo re
solver los cambios que el trabajo de ahora
producirá. Lámina 5.

II.2. LA CONDICION DEFORMADA ACTUAL

En la geometría actual del edificio se en-
cuentra el testimonio que corrobora la con
fiabilidad del sistema constructivo emplea
do, la sabiduría con que fueron elegidos -
cada uno de esos elementos y la habilísima
disposición de los mismos para lograr un -
proceso constructivo adecuado a las circuns

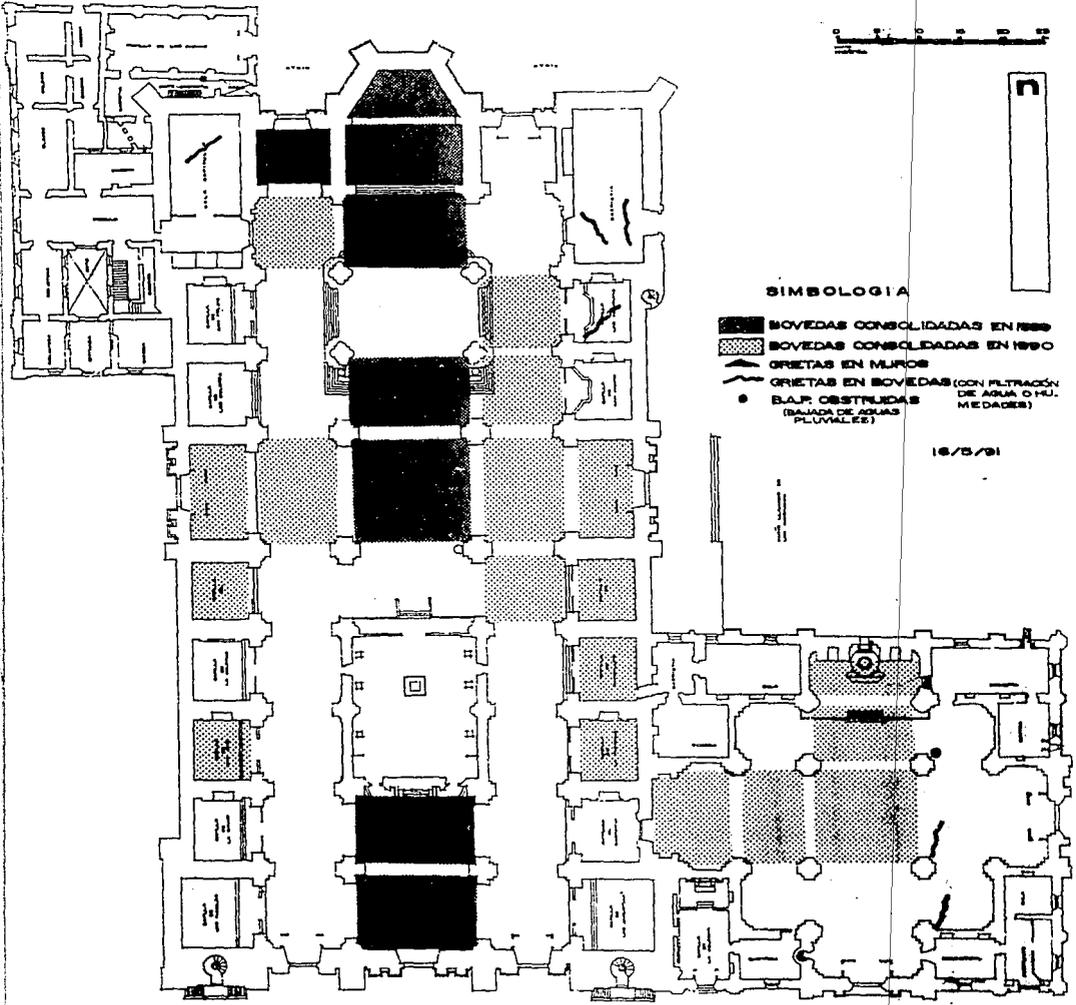
tancias físicas y sociales, del momento.

II.3 EL CRITERIO DE CORRECCION DE LAS DEFORMACIONES

La corrección de las deformaciones debe contemplar cuales son ya inherentes al edificio y cuales son las que produjo el hundimiento posterior. También debe prever las consecuencias del regreso de los diferentes elementos sobre aquellos que sustentan.

Para esto es sin duda necesario establecer la secuencia constructiva y la condición de estabilidad de todas y cada una de esas etapas, encontrar las correcciones ya incorporadas a la estructura y cuales pueden eliminarse, o cuales deformaciones que sean consecuencia del proceso deberán aceptarse por que no dañen el aspecto del edificio y resulten indispensables para reponer y mantener el rango de seguridad del Monumento.

Un criterio bien fundamentado en las características del sistema constructivo, del material empleado y la experiencia colectiva de esta sociedad, criterio este intelectualizado, aplicado y apoyado en las experien-



proyecto : **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CONSOLIDACION DE BOVEDAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

cias previas, por quienes hemos trabajado en estos aspectos, es necesario para prevenir las consecuencias del proceso.

Del sistema constructivo, puede decirse - que está determinado por los materiales - incapaces de esfuerzos de tracción y por las sollicitaciones sísmicas; la permanencia y la economía son las consideraciones que siguen en importancia en el juicio, - del sistema de referencia en que debe acentuarse, aparece el oficio compositivo del arquitecto, quien al combinar esas limitaciones con un programa de trabajo, reflejará inevitablemente la cultura de la sociedad a la que se sirve.

CAPITULO III

LA ACCION SISMICA

III.1 LA HISTORIA EVOLUTIVA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN LA COLONIA.

Hay en el aspecto histórico para ilustrar lo anterior una evolución previa que merece comentarse; sin duda al emprender la reconstrucción de la ciudad después de la -

conquista, todo propiciaba el empleo de sistemas de "alfarje en madera", la abundancia de bosques, la facilidad de transporte por agua, la capacidad tecnológica y el modelo de la arquitectura cristiana en tierra de infieles; así fue la primera Catedral y esas construcciones debieron existir en abundancia; ¿porqué entonces se cambia tan pronto a un sistema abovedado Sin duda el sismo, omnipresente en la vida de esta ciudad, demostró muy pronto, la necesidad de la acción solidaria de todos los elementos de la construcción para enfrentarlos.

Al producir edificios abovedados se logran estructuras monolíticas desde la cimentación hasta la cubierta, a través de los muros.

No es casual que los restos prehispánicos sean monolíticos, de mampostería de tezon-
tle y mezcla de cal; este concreto aligerado, característico de México, resulta ideal para construir en la cuenca del lago.

También los muros espesos son excelentes aislantes contra cambios climáticos y si lo
gramos que actúe solidariamente un sistema

de muros orientados en dos direcciones ortogonales, la rigidez en el plano de esos muros, es la mejor protección contra los sismos, además nunca entrarán en resonancia con el suelo compresible del lago.

Debemos tomar en consideración el método de análisis simplificado del reglamento y sus normas complementarias. Esta tipología constructiva ha sido recuperada, en las exigencias para un método de análisis simplificado para sismos donde se consigna la experiencia constructiva de esta ciudad y se avala su seguridad al grado de que en el Decreto de emergencia expedido inmediatamente después excluye de la aplicación de esas normas a los edificios construídos antes de 1900. (8)

III.2 EL JUICIO CRITICO DE ESA EVOLUCION

Arciniega era sin duda un constructor oji-val, pero al emplazar su Templo dentro del "Zócalo" incorporó el concepto espacial -

(8) Nuevo Reglamento de construcción generado después del sísmo de 1985 y sus Normas Complementarias.

prehispánico al modelo de Plaza Renacentis
ta y ésta aportación es del México Prehis-
pánico a las corrientes culturales del mun-
do del siglo XVI como lo dice el Dr. Car-
los Chanfón Olmos. (9)

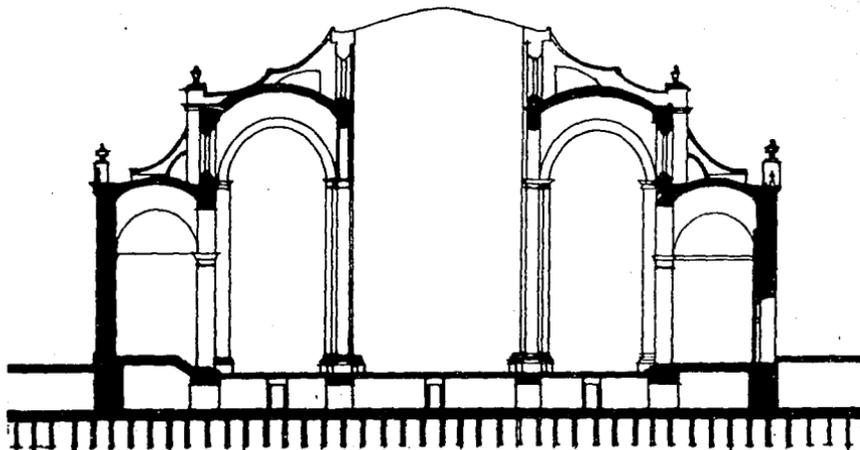
La abundancia de obra de mano, la disponi-
bilidad del concreto mexicana, la madera ver-
de, que exige congelar la geometría muy rá-
pidamente y la curiosidad renacentista -
por la arquitectura romana, logra su mejor
expresión en los alzados (de Agüero?) del
sucesor de Arciniega en la Catedral. Los
ladrillos romanos son ahora sillarejos de
tezontle para congelar la geometría y espe-
rar el fraguado de estas bóvedas románicas
concrecionadas.

En estas construcciones que resisten por -
forma, las cargas vivas son irrelevantes,
tanto porque son en azoteas en su mayoría,
cuanto porque son de una magnitud pequeñí-
sima frente a las masas de la construcción
abovedada.

Pero la magnitud de la obra hace prever --

(9) Op. Cit. pag. 6.

LAS NAVES PROFESIONALES TECHADAS CON BOVEDAS DE PLATILLO TRANSMITEN A LOS MURDOS DE CONTRARRESTO EL EMPUJE DE LA BOVEDA DE LA NAVE CENTRAL Y POR ELLAS CONTINUAN ESLABONANDOSE LOS ELEMENTOS EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO.



proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

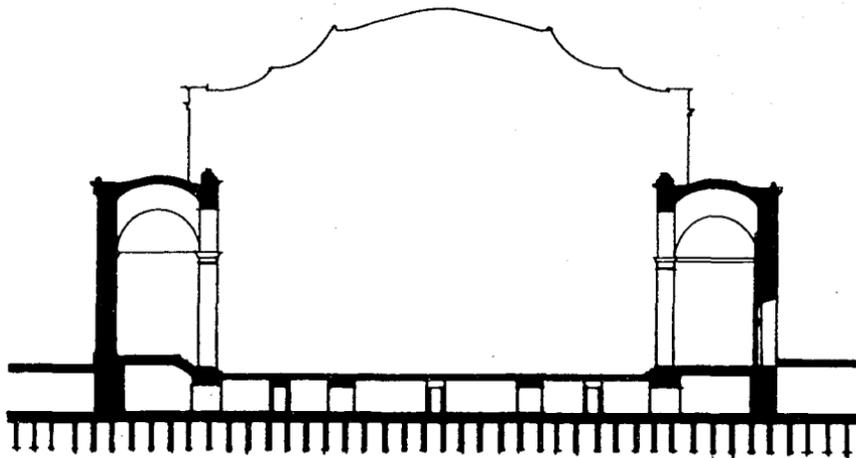
**CORTE TRANSVERSAL
(SEGUNDA ETAPA CONSTRUCTIVA)**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ELABORADO POR TALLER DE CATEDRAL

UNA-2

LOS MUROS DE LAS FACHADAS, LOS DE DIVISION ENTRE CAPILLAS Y LOS QUE DAN A LAS NAVES PROCESSIONALES DE LAS DOS CRUJIAS EXTERIORES DEL TEMPLO, JUNTO CON EL PEDRAPLEN DE CIMENTACION SON EL CONTRARRESTO TUBULAR Y CONTINUO PARA LAS BOVEDAS DEL TEMPLO Y SE CONSTRUYEN PRIMERO.



Proyecto:

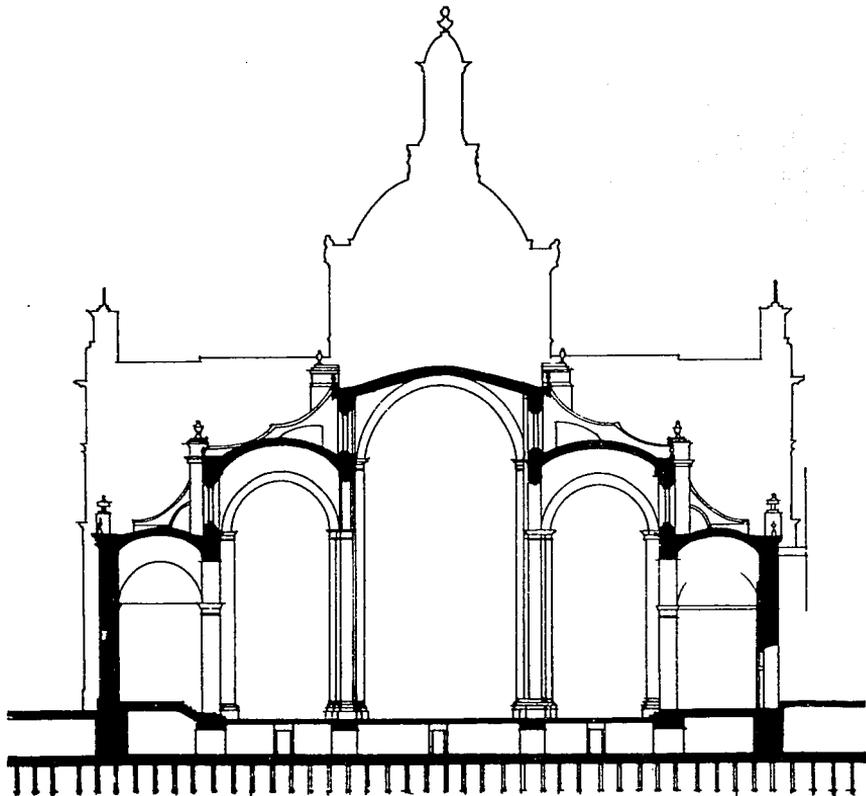
**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CORTE TRANSVERSAL
(PRIMERA ETAPA CONSTRUCTIVA)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

ELABORADO POR TALLER DE CATEDRAL

EL PROCESO CONSTRUCTIVO CULMINA CON LA NAVE CENTRAL QUE CIRCUNDA DA POR LAS CAPILLAS DEVOCIONALES, EL ABSIDIO, LA SALA CAPITULAR Y LA SACRISTIA COMO REFLEJO DE ESQUINA AL NORTE, Y AL SUR POR LA FACHADA CUYOS DOS CONTRAFUERTES Y FLANQUEADA POR LAS TORRES QUEDA ENMARCADA DENTRO DE



proyecto :

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

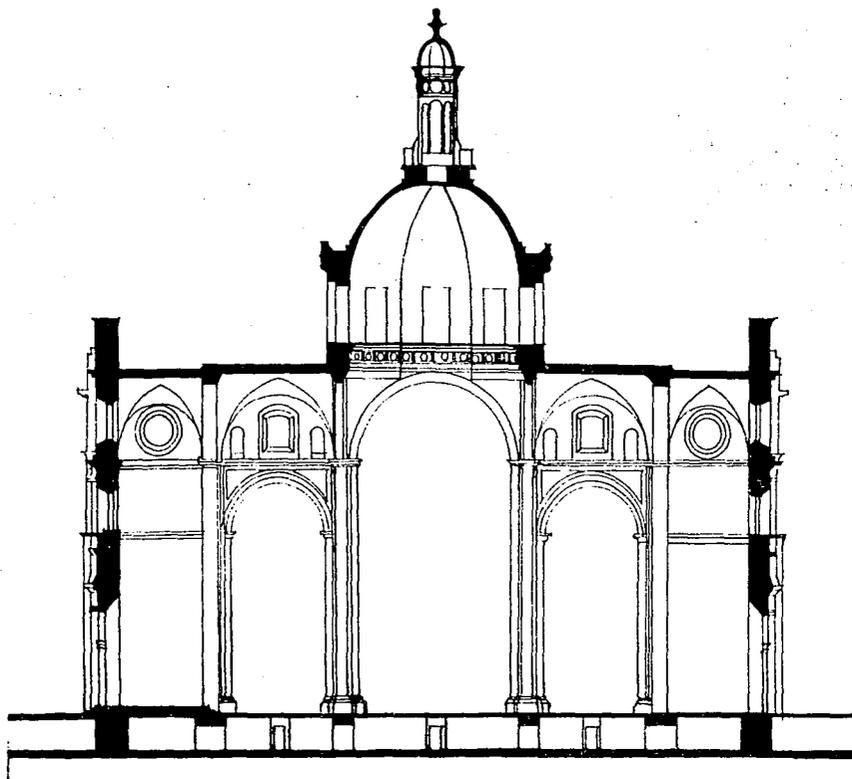
**CORTE TRANSVERSAL
(TERCERA ETAPA CONSTRUCTIVA)**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ELABORADO POR TALLER DE CATEDRAL

UN.

LA CUPULA CENTRAL EMERGE COMO REMATE LOGICO EN EL CRUCE DE
LAS BOVEDAS INTERIORES QUE LA ENTIBAN.



proyecto :
**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CORTE TRANSVERSAL

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

una construcción dilatada en el tiempo, hay que construir con elementos estables en sí mismos e ir encadenándolos entre sí hasta - lograr el equilibrio final que produzca un edificio estable, frente a la deformación - lenta del suelo y frente a las emergencias sísmicas; monolítico para aprovechar la rigidez de los muros orientados que actúan - además como contrarrestos al empuje de las bóvedas; estas por último son muy sensibles a los corrimientos en los apoyos; hay que - usar formas de doble curvatura para obtener acción espacial en todas las direcciones y manejar una geometría que canalice esas -- fuerzas al sistema de contrarresto. Ver láminas 10 y 11, y análisis de las condiciones de equilibrio transversal.

Queda por último la diferencia del medio, la cimentación estaba sumergida en el lago, las bóvedas en el aire, hay que dosificar - la arcilla en la cal para obtener el cementante adecuado. (aquí seguramente también - hay tecnología mexicana).

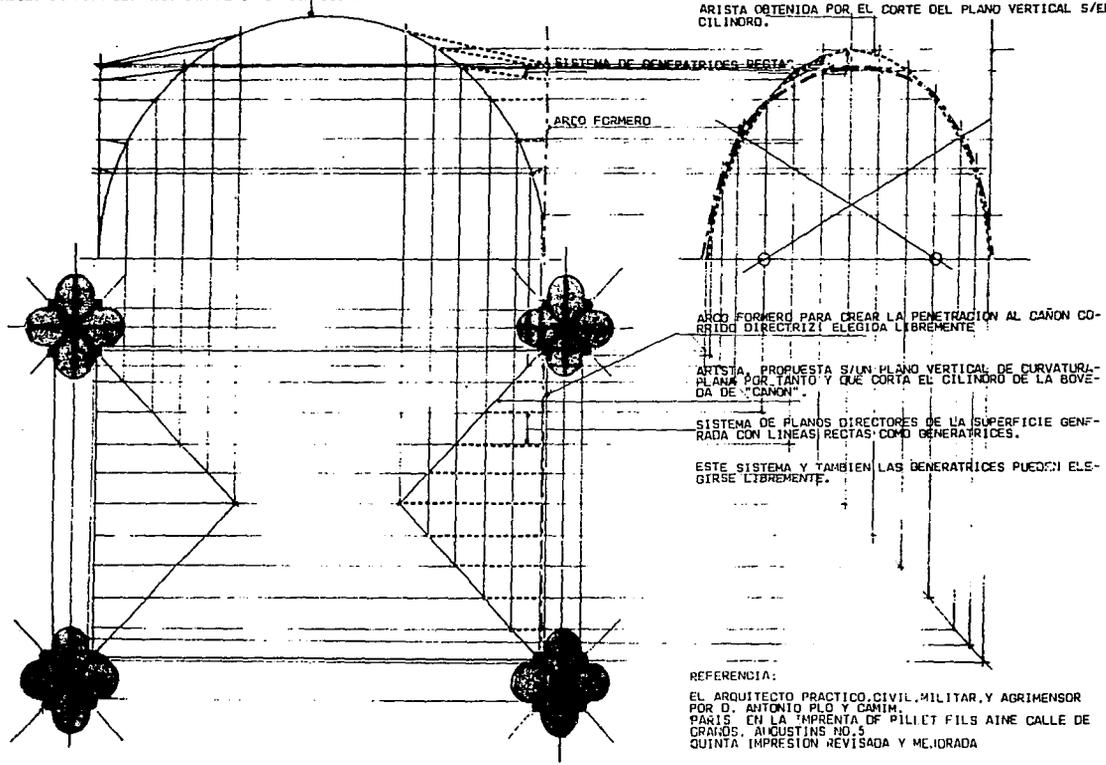
Los tratados de arquitectura de la época y

LOS "LINETOS" SON EN VERDAD MITADES DE UNA BÓVEDA POR ARISTA SEPARADAS Y LIGADAS POR LA ZONA NO UTILIZADA O NO TOCADA POR LOS LUCERNARIOS DEL CAÑON CORRIDO. EL TRAZO QUE AQUÍ SE ILUSTRAR PROPOCIONA LIBERTAD MAXIMA AL PROYECTISTA QUIEN PUEDE ELIGIRLO TODO Y AJUSTAR LA GEOMETRIA DEL EDIFICIO A SU INTENCION FORMAL, SIN PERDER LAS VENTAJAS DE LAS BÓVEDAS POR ARISTA EN CUANTO A CANALIZAR LAS FUERZAS HACIA LOS CONTRARRESTOS, SOBRE ARCOS DE CURVATURA SENCILLA CON FUERZAS COPLANARES POR SIRETIA CON LOS "LUCERNARIOS" ADYACENTES QUE CONECTAN LAS GENERATRICES DEL CILINDRO (RECTAS) ENTRE SI. EL TRAZO C/RECTAS SIMPLIFICA LA CONSTRUCCION Y EL ENCUENTRO DE DOS SUPERFICIES CON GENERATRICES ORTOGONALES RIGIDIZA AL CAÑON CORRIDO EN SUS REGIONES CRITICAS.

LA GEOMETRIA DE LA NAVE PRINCIPAL PENETRACIONES PARA ILUMINACION.

DIRECTRIZ DE LA BOVEDA CILINDRICA ELEGIDA LIBREMENTE

ARISTA OBTENIDA POR EL CORTE DEL PLANO VERTICAL S/EL CILINDRO.



REFERENCIA:

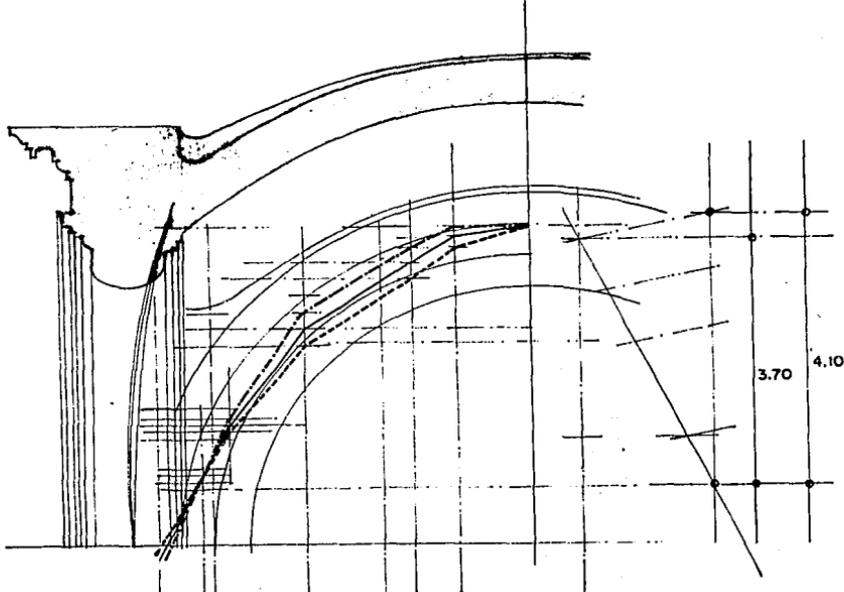
EL ARQUITECTO PRACTICO, CIVIL, MILITAR, Y AGRIMENSOR POR D. ANTONIO PLO Y CANIM, PARIS EN LA IMPRENTA DE PILLET FILS AINE CALLE DE CRAIENS, AIGUSTINS NO. 5 QUINTA IMPRESION REVISADA Y MEJORADA

proyecto :
**ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

GEOMETRIA TIPICA DE LAS
 NAVES DE LOS MONUMENTOS
 DE LA CIUDAD DE MEXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM



NOTA: ESTE CROQUIS MUESTRA EL AJUSTE TRAZO NECESARIO PARA ACOMODAR EL DIAGRAMA ESTÁTICO - SISMO DENTRO DEL TERCIO MEDIO DEL ARCO.

- A) SE REDUJO LA FLECHA DE 4.1 MTS A 3.70 MTS
- B) SE DESPLAZO EL DIAGRAMA AL EXTRIADUS DEL TERCIO MEDIO $85.83 \cdot 21^\circ$ PARALELO A SU TANGENTE.
- C) SE CONSIDERA QUE AL TRAZAR EL DIAGRAMA COMO UNA CURVA CONTINUA PASARA DENTRO DEL TERCIO CENTRAL.

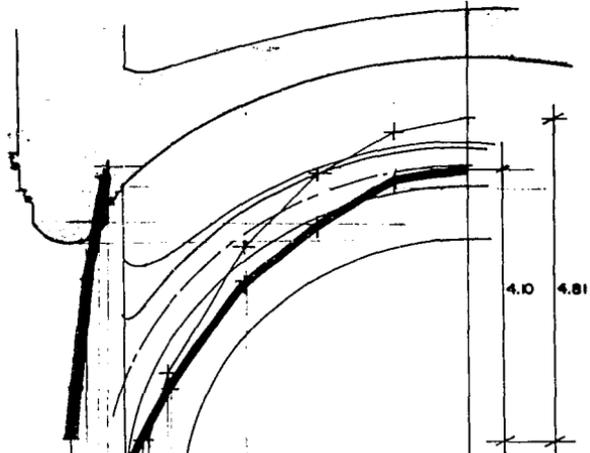
EN CUANTO A LA VISTA LATERAL DEL DIAGRAMA SE VEHA QUE 10% DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE $245 \cdot 24 \times 1/2 = 2,83$ cm A ESCALA SIGNIFICA 0.72 DE MM. VER CROQUIS SIGUE DENTRO DEL ARCO. RECUERDESE QUE NO SE CONSIDERO LA CARDA VERTICAL QUE DESCENDE DE LA NAVE CENTRAL (TIMPANO LUCERNARIO).

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

AJUSTE DE TRAZO DIAGRAMA ESTÁTICO + SISMO

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM



EL PROCESO CONSTRUCTIVO DILATADO EN EL TIEMPO SIBE AUTOCORRECTIVO EN LA SUFICIENCIA A LAS BOVEDAS DE PLATILLO EN LAS NAVES PROCESIONALES.

COMENTARIO
ESTA MONTEA DEMUESTRA QUE LA RESULTANTE FINAL DEL EMPUJE DE LA BOVEDA PROCESIONAL ES PRÁCTICAMENTE VERTICAL Y CON LA ACCIÓN DE LAS CARGAS QUE BAJAN DEL MURO DEL LUCERNARIO (TIMPANO ELÍPTICO) ES VERTICAL Y EL EMPUJE DE LA BOVEDA CENTRAL ES EL QUE DEBEMOS ANALIZAR.

POR ÚLTIMO EL ESFUERZO MÁXIMO

$$LAS \sqrt{(H_V + H_w)^2 + W^2} = P \text{ MAX}$$

EL AREA ARQUIVOLT. = 11200 c²

LAS (H) HORIZONTALES

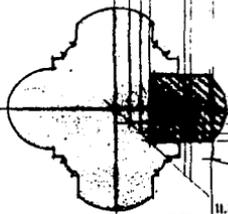
$$\begin{aligned} H_1 &= 10.5 + 4.212510 = 14.712 \\ H_2 &= 4.088 + 10.10 = 14.188 \end{aligned}$$

$$P = 64.652 + 45.982 = 110.634$$

$$\sqrt{70488K = 7.1K/C^2}$$

LOS ARCOS D/2 BOVEDAS NO TIENEN POLIGONO HORIZONTAL.

$$\sqrt{49780 \times 2 = 0.9K/C^2}$$



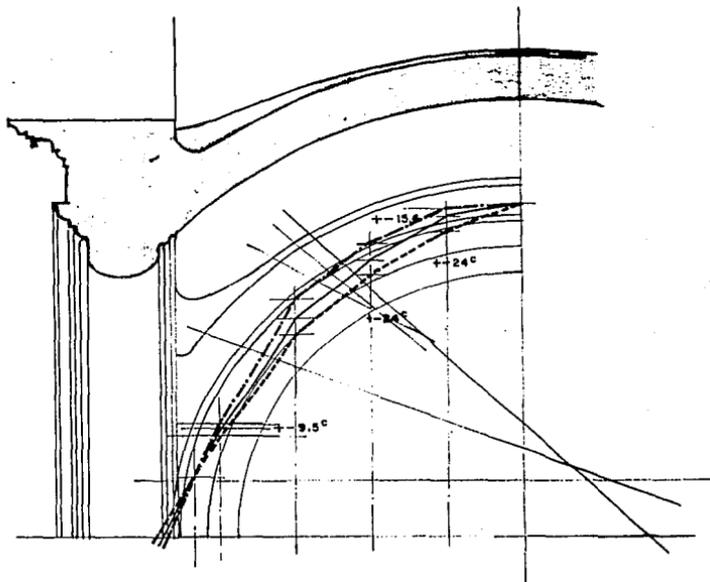
	11.3	8.6	7.1	6.4	6.2	
4.0	19.9	285	6.75	6.3	0.1	d.V
46.06	41.6	21.9	14.05	6.3	0	V
2.33	31.66	18	10.178	3.16	0	CM
78.54	62.19	31.35	18.23	3.16	0	M
4.81	9.87	1.216	0.210	0.193	0	Y.M
SEGUNDA APROX.						
POLIGONO VERTICAL						
4.10	3.30	1.856	0.906	0.84		Y.MOM
POLIGONO HORIZONTAL						
24.9	21.25	12.6	5.78	1.48	0	MOM
0.66	0.46	0.69	0.13	0.33	0	

Y TODO EL POLIGONO ESTA DENTRO DEL ARCO DE PIEDRA CORTADA PC=110K/c MINIMO

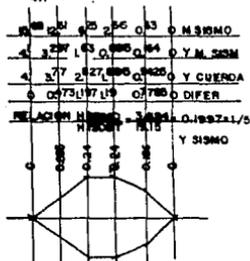
$$\sqrt{83810/8300} = 10.1K/C$$

proyecto :
ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

RESULTANTE DEL EMPUJE DE LA BOVEDA



H = 15.68
4.1 = 3.824



4.16	19.9	7.66	7.75	6.37	dV
4.626	41.8	21.9	14.05	6.3	O Y ISOSTATICO
78.54	65.28	34.35	13.33	3.12	O MOMENTO ISOSTATICO
0.83	3.98	1.57	1.56	1.26	O ACCION SISMO P/S
9.18	8.35	4.37	2.8	1.26	O V SISMO
3.07	6.36	3.59	2.03	0.637M	dM SISMO
15.88	11.61	6.25	2.86	0.63	M SISMO
94.22	75.8	37.6	16	3.78	O ACCION SISMO + ISOSTATICO
4.1	3.288	1.636	0.695	0.164	O Y MOM. ISOST. H = 78.54 4.1 → 19.16T
62.96	60.57	28.1	10.67	2.92	O MOM. ISOST. - SISMO

proyecto :

**RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS TRANSVERSAL
(ESTATICO)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

FRANJA DE 1m
DENSIDAD 1.57/m³
C. VIVA 0.87/m³

1.4 m

$d y^T$	0.67	1.33	1.99	1.33	
FUERZA CORTANTE	4.52	4.06	2.7	1.99	0
d MOMENTO	2.80	5.978	2.028	0.678	0
MOMENTO	5.877	6.070	2.7	0.678	0
$V = 547,500 \text{ lb} \cdot \text{cm} = 6,958 \text{ T}$					$\sigma = 7912 \text{ kg/cm}^2 = 2,296 \text{ kg/cm}^2$
$\text{PRESION MAXIMA} = 7,912$					$\sigma = 6300 \text{ cm}^2$
ORDENADA M	1.4	0.98	0.56	0.09	0
ORDENADA ARCO	1.4	1.00	0.50	0.00	0
ELEVACION	0	0.02	0.028	0.028	0

COMENTARIO

ESTAS CONDICE SE ENTUBAN ENTRE SIA TRAVES DE LAS GENERATRICES RECTAS Y HORIZONTALES DEL CRON SU ESFUERZO $\sigma = 28 \text{ kg/cm}^2$ ES BAJO Y AUTORIZA SUPONER QUE ESTE MISMO ARCO PODRA SUPLEMENTAR LAS FUERZAS VERTICALES QUE EL FUNICULAR PARABOLICO EN PROYECCION HORIZONTAL QUE SUPONE COMO CONTRABASTO Y CANTALILLACION DEL BAMBALLO DEL CAMION CORRIDO. (VER HOJA CORRESPONDIENTE) NECESITA PARA YACER EN LA SUPERFICIE DE LA CONDICE.

proyecto : **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

LUCERNARIOS DE NAVE CENTRAL

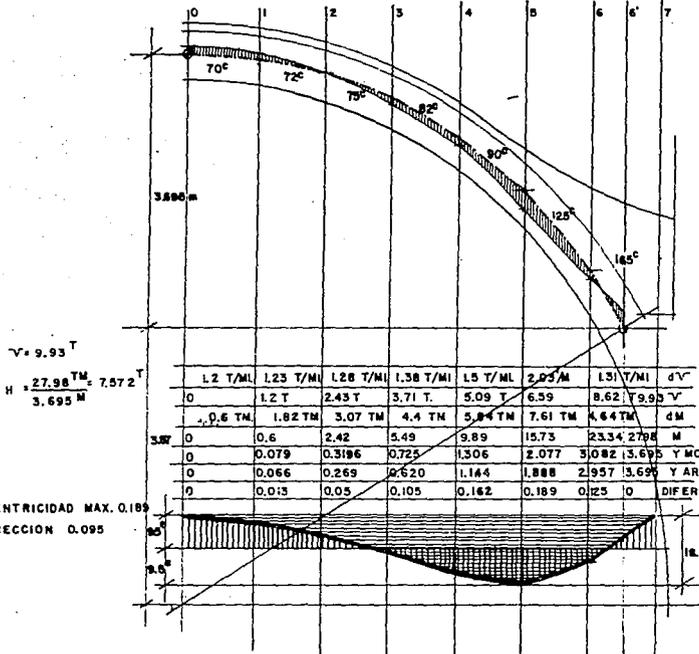
FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

FRANJA INT. $W = VOL. \times 1.5 \frac{V_m^3}{K/M^2} + 150 \frac{K/M^2}{dx = 1 MT.}$
 $R = 7.565$ OBTENCION COORDENADAS PTOS. ORIGEN EN LA CLAVE
 $Y = \sqrt{R^2 - X^2} - 7.565$

PTO.	X	Y
0	0	0
1	1	-0.006
2	2	-0.269
3	3	-0.620
4	4	-1.144
5	5	-1.888
6	6	-2.957
6'	6.5	-3.695

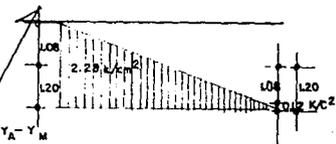
$$V = \frac{7572^K + 7572 \times 9.45 \times 6}{6300 - 100 \times 6^3}$$

$$1.20 \frac{K/C^2}{- 1.082} = 2.282 \frac{K/C^2}{- 1.082 = 0.120 \frac{K/C^2}$$



$V = 9.93 T$
 $H = 27.98 TM = 7.572 T$
 $3.695 M$

EXCENTRICIDAD MAX. 0.189
 CORRECCION 0.095



TERCIO MEDIO NECESARIO = 18.9 cm.
 ESPESOR DE BOVEDA 59.4° < 63°
 CONDICION DE REPOSO

COMENTARIO

SE MUESTRA EN EL DIAGRAMA DE EXCENTRICIDAD 1° LA FUNCION DEL DIAGRAMA TRAZADO 5/ EL EJE DEL ARCO (HACHURAS HORIZONTALES) -- 2° LA CONDICION DEL DIAGRAMA TRAZADO DEBE EL BORDE SUP DEL TERCIO MEDIO (HACHURAS VERTICALES) Y ASI DETERMINA EL TAMANO NECESARIO DEL NUCLEO QUE MULTIPLICADO POR 13) TRES ARROJA EL ESPESOR NECESARIO DEL ARCO.

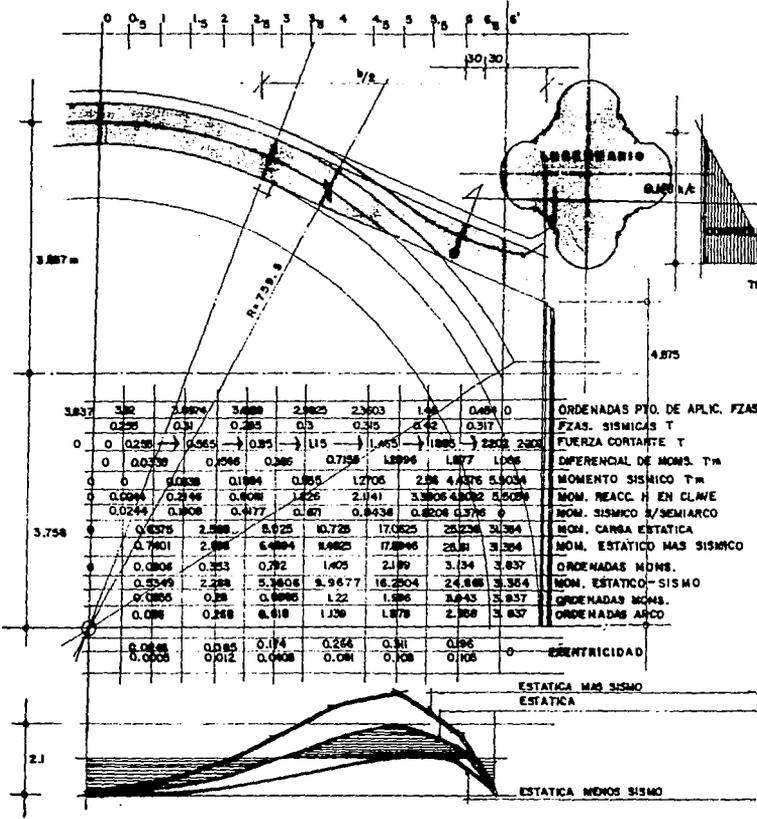
NOTESE QUE DENTRO DEL RANGO DE SOLO COMPRESION ADMISIBLE O DE EXCENTRICIDAD TOLERABLE HEMOS REPARTIDO EL MOMENTO POR PARTES IGUALES PARA ACOMODAR EL DIAGRAMA A LA CONDICION MAS FAVORABLE: TAL COMO LO HARIAMOS CON UN MATERIAL JUSTIL CUANDO A FALTA LA CONDICION DE FLUENCIA PLASTICA POR LAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL EN ESTE CASO ESA CONDICION CREARA ROTULAS FRAGILES POR FRACTURA.

EN EL CASO DE UN CAMBIO DE DIMENSION DEL CLARO DEL ARCO LA FUERZA HORIZONTAL (EMPUJE) POR LA DISTANCIA AL EJE DEL ARCO SIGNIFICA UN MOVIMIENTO, PUESTO QUE SE PRESENTA UNA SOLICITACION DE FLEXION, POR LA RAZON DE QUE TODO EL ARCO TIENE LA MISMA RIGIDEZ, LAS FRACTURAS O ROTULAS FRAGILES APARECEN EN LAS ZONAS DE EXCENTRICIDAD MAXIMA RESPECTO A LA LINEA DE ACCION DE LA FUERZA DE CONTRARRESTO AL EMPUJE; ASI PRIMERO SE FRACTURA LA CLAVE Y DETERMINA EL PASO DEL DIAGRAMA POR EL PTO. DE CONTACTO (EXCENTRICIDAD) QUE TENIA ESE MOMENTO SE TRANSPORTA AL OTRO EXTREMO, Y ENTA CON LA EXCENTRICIDAD INCREMENTADA (TABLA DE FRACTURA).

VOLVEREMOS AHORA A TENER UN ARCO DE 3 TRES ROTULAS 1809 TATICCO CON LA LINEA BASE DEL DIAGRAMA DETERMINADA POR LAS ROTULAS QUE UBICADAS UNA EN UNA CARA Y LAS OTRAS EN LA OPUESTA USAN LA TOTALIDAD DE LA SECCION COMO NUCLEO.

LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DEL CAÑON CORRIDO EN LA NAVE CENTRAL Y LA FRAGILIDAD DEL MATERIAL, REDISTRIBUYEN LOS ESFUERZOS Y RESTABLECEN LA CON-

ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL CAÑON CORRIDO NAVE CENTRAL



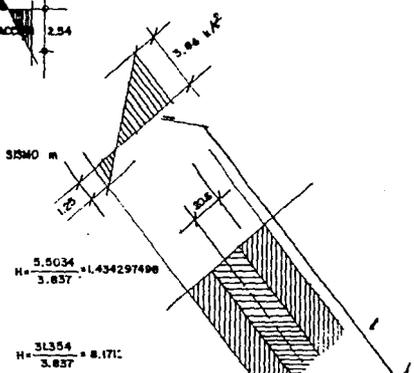
$$\text{MOM. DE VOLCAMIENTO POR SISMO} = \frac{5.5034 \times 2}{13.20} = 0.834 \text{ T}$$

$$R = 11.5 + 0.834 = \frac{12.334}{10.766} \quad N = 8.172 + (2.203 \times 2) = 12.58$$

$$\text{PRESION MAXIMA} = \sqrt{12.334^2 + 12.434^2} = 17.686 \text{ T (simetric. 20 c)}$$

$$\sigma = \frac{17.686}{6300} + \frac{17.686 \times 20 \times 6}{100 \times 63^2}$$

$$= 2.807 \text{ kg/cm}^2 + 5.347 + 8.155 \text{ kg/cm}^2 = 2.54 \text{ kg/cm}^2 \leftarrow \text{CRITICO}$$



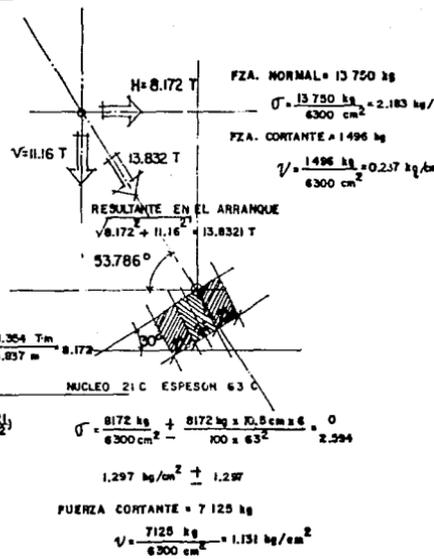
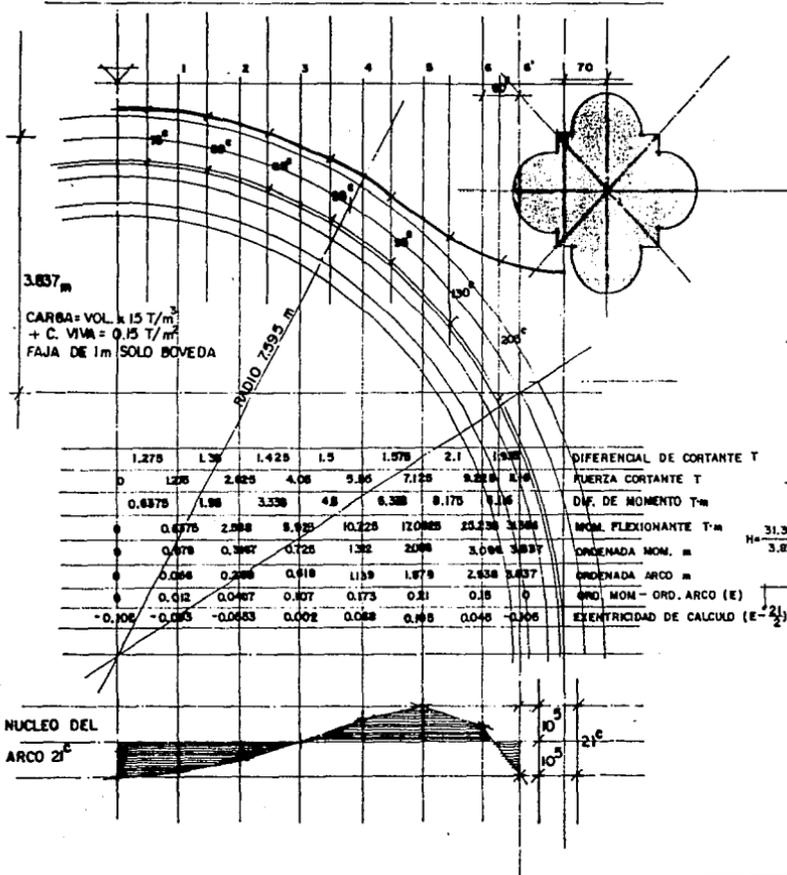
$$\sigma = \frac{8171.5^2}{6300} + \frac{8171.5^2 \times 20.6 \times 6}{100 \times 63^2} = 1.297 + 2.544 = 3.842 \text{ COMPRESION}$$

1.247 TRACCION

EL LUCERNARIO SIN DUDA HACE MAS RIGIDA ESTA ZONA, PERO ADEMAS LA MAMPOSTERIA DA UNA CAPACIDAD DE 24 kg/cm² HASTA 38.5 kg/cm² A COMPRESION.

Y DESDE 4.86 kg/cm² HASTA 8.21 kg/cm² DE ESFUERZO CORTANTE LO QUE HACE SUPONER A LA REGION CRITICA CAPAZ DE ESAS TRACCIONES.

DATOS TOMADOS DE: ABRAMAS ROBERTO SANCHEZ ROBERTO MELLI



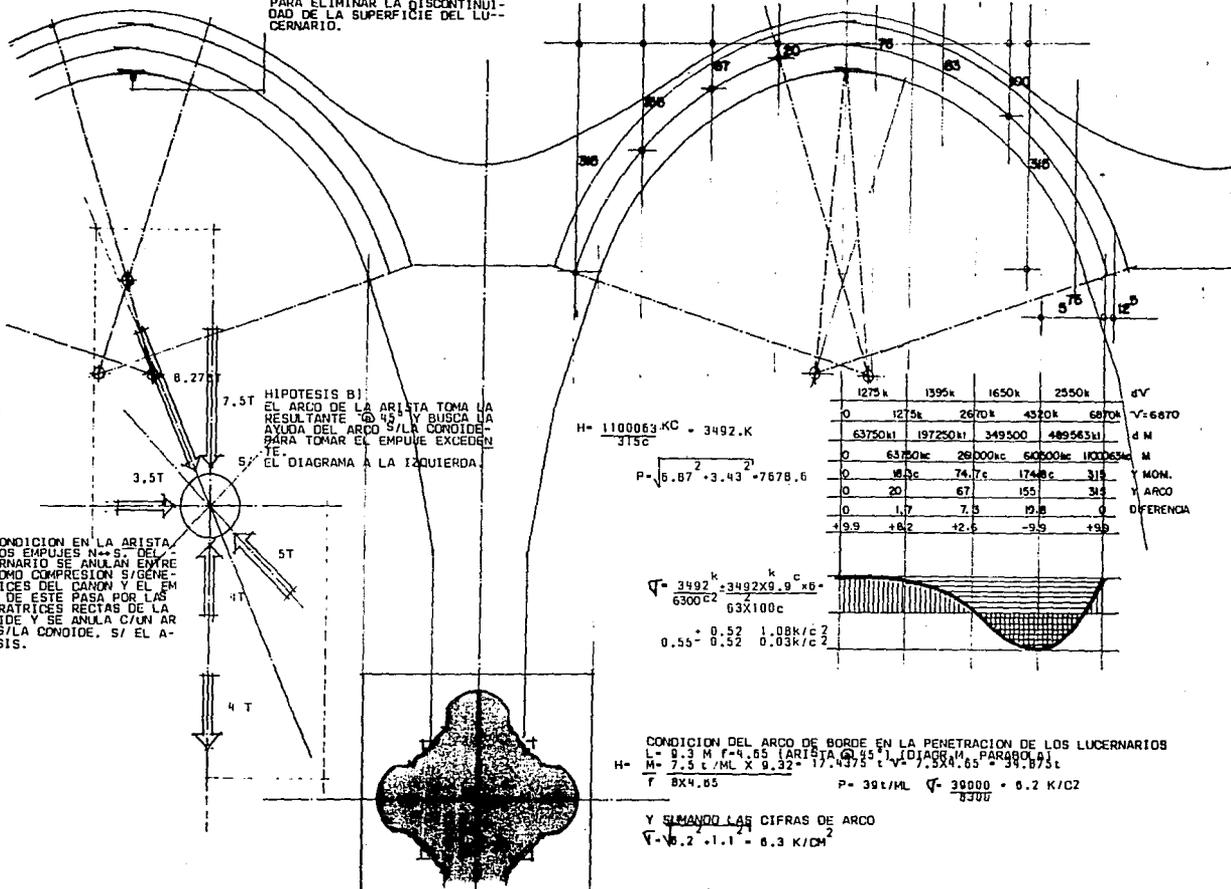
NUCLEO DEL
ARCO 21°

proyecto:
**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CONDICION DE ESFUERZO DEL ARCO
TRANSVERSAL

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROBABLE CORRECCION DE MEZCLA PARA ELIMINAR LA DISCONTINUIDAD DE LA SUPERFICIE DEL LU-CERNARIO.



LA CONDICION EN LA ARISTA A) LOS EMPUJES N=5, DEL LUCERNARIO SE ANULAN ENTRE SI COMO COMPRESION Y GENERATRICES DEL CANON Y EL EMPUJE DE ESTE PASA POR LAS GENERATRICES RECTAS DE LA CONOIDE Y SE ANULA C/UN ARCO S/LA CONOIDE, S/ EL ANALISIS.

HIPOTESIS B) EL ARCO DE LA ARISTA TOMA LA RESULTANTE Q=93° Y BUSCA LA AYUDA DEL ARCO S/LA CONOIDE PARA TOMAR EL EMPUJE EXCEDENTE. EL DIAGRAMA A LA IZQUIERDA.

$$H = \frac{1100063 \cdot KC}{375c} = 3492.K$$

$$P = \sqrt{16.87^2 + 3.43^2} = 17.678,6$$

	1275k	1395k	1650k	2550k	dV
0	1275k	2670k	4320k	6870k	V=6670
0	63750k	197250k	349500	489563k	dM
0	63750kc	280000kc	600000kc	100063kc	M
0	165c	74.7c	174.8c	315	Y MON.
0	20	67	155	315	Y ARCO
0	1.7	7.5	19.8	0	DIFERENCIA
-1.9	+6.2	+2.6	-9.5	+9.9	

$$\sqrt{\frac{3492^k}{6300c^2} = \frac{3492x9.9 \times 6}{63x100c}}$$



$$0.52 \frac{1.08kc^2}{0.55} = 0.52 \frac{0.03kc^2}{0.55}$$

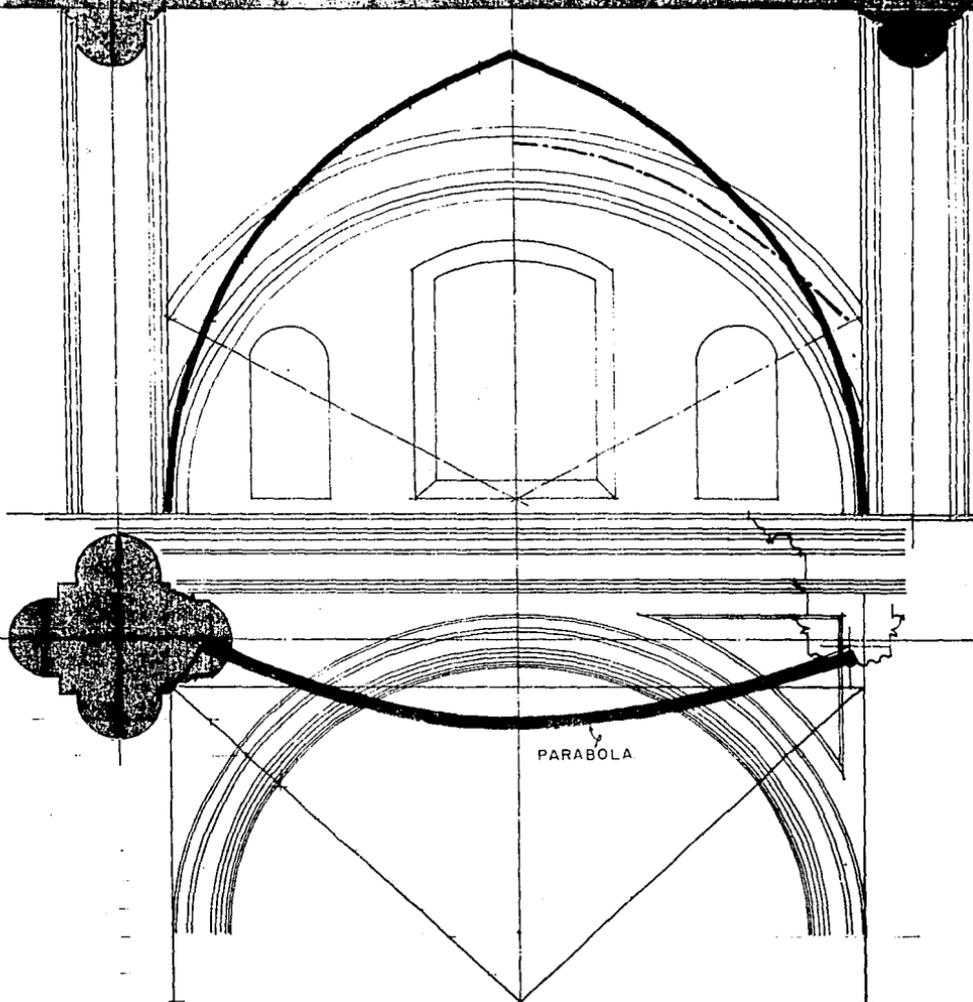
CONDICION DEL ARCO DE BORDE EN LA PENETRACION DE LOS LUCERNARIOS
 L= 8.3 M r=4.65 (ARISTA @ 45°) (DIAGRAMA PARABOLA)
 H= M= 7.5 t/ML X 9.32 = 17.4375 t = 7.5x4.65 = 34.875 t
 T 8x4.65 P= 39t/ML $\sqrt{\frac{39000}{8300}} = 6.2 K/CM^2$

Y SUMANDO LAS CIFRAS DE ARCO
 $\sqrt{6.2 + 1.1} = 6.3 K/CM^2$

Proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA (ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

CONDICION DEL ARCO DE BORDE EN LA PENETRACION DE LOS LUCERNARIOS

FACULTAD DE ARQUITECTURA



EMPUJE ORIENTE PONIENTE
 $L = 9.2 \text{ M}$ $W = 7.5$ $F = 1.15$

$$H = \frac{9.2^2}{8} \times 7.5 = 89^T = \frac{9.2 \times 7.5}{2} = 34.5^T$$

FUERZA AXIAL $\cdot H^2 \cdot$
 SECC 130 X 62 $\cdot 8190$

$$= \frac{77144 \cdot 9.42}{8190} \text{ K/C}^2$$

2-77.144

PARABOLA

C/TODD EL. EMPUJE 5/LA JARJA

$7.5 \times 10.84 = 79800$ 30° $P = 158600$
 SECC 240 X 63 = 15120

$$\frac{158600}{15120} = 10.55 \text{ K/C}^2$$

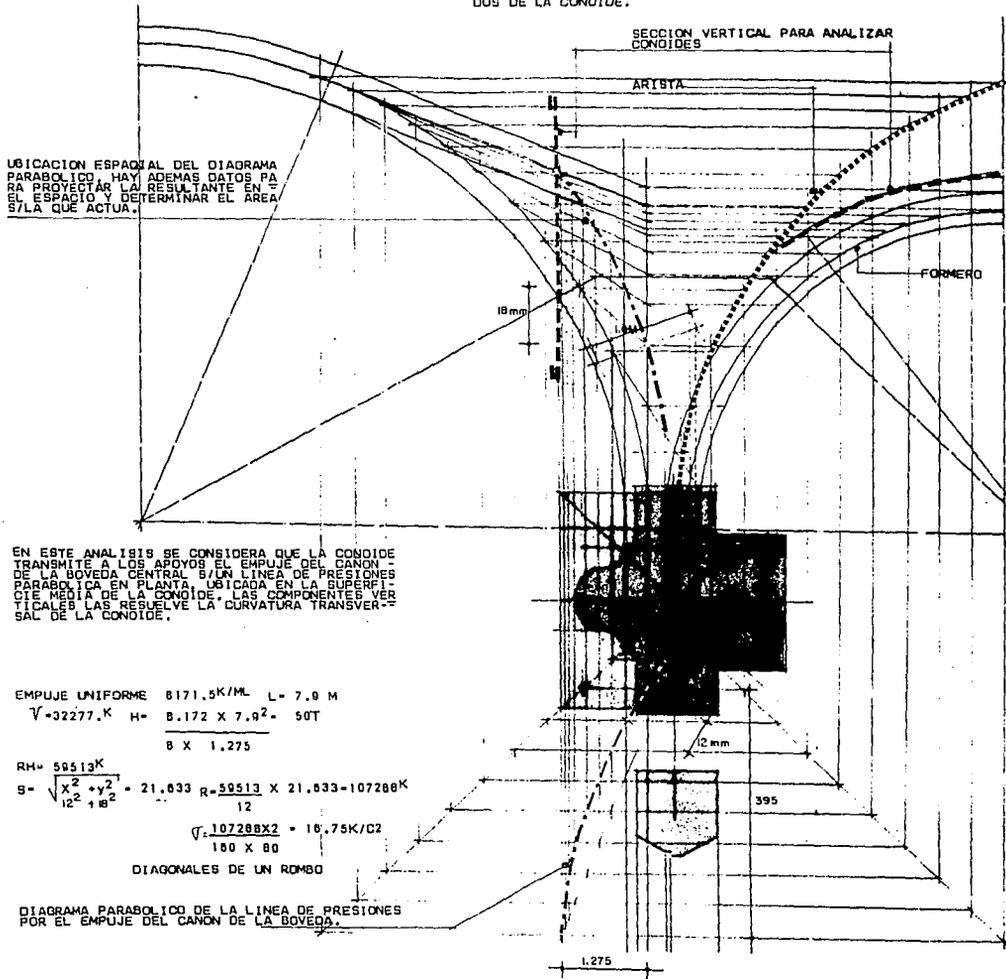
proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA**
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS DE LUNETO

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

LA MONTEA DEL LUCERNARIO ESTA
HECHA EN LA SUPERFICIE MEDIA-
DOS DE LA CONOIDE.



UBICACION ESPACIAL DEL DIAGRAMA
PARABOLICO. HAY ADEMAS DATOS PA
RA PROYECTAR LA RESULTANTE EN
EL ESPACIO Y DETERMINAR EL AREA
S/LA QUE ACTUA.

EN ESTE ANALISIS SE CONSIDERA QUE LA CONOIDE
TRANSMITE A LOS APOYOS EL EMPUJE DEL CANON
DE LA BOVEDA CENTRAL B/O LA LINEA DE PRESTONES
PARABOLICA EN PLANTA. UBICADA EN LA SUPERF
CIE MEDIA DE LA CONOIDE. LAS COMPONENTES VER
TICALES LAS RESUELVE LA CURVATURA TRANSVER
SAL DE LA CONOIDE.

EMPUJE UNIFORME 8171,5K/M L = 7.0 M

$$V = 32277,7 \text{ K} \quad H = 8.172 \times 7,0^2 = 507$$

$$8 \times 1,275$$

$$RH = \frac{58513 \text{ K}}{12}$$

$$S = \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{12^2 + 18^2}} = 21,633 \quad R = \frac{39513 \times 21,633}{12} = 107208 \text{ K}$$

$$\sqrt{\frac{107208 \times 2}{180 \times 80}} = 16,75 \text{ K/C2}$$

DIAGONALES DE UN ROMBO

DIAGRAMA PARABOLICO DE LA LINEA DE PRESTONES
POR EL EMPUJE DEL CANON DE LA BOVEDA.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

TRAYECTORIA DEL POLIGONO
FUNICULAR

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

POLIGONO FUNICULAR DEL EMPUJE TRANSVERSAL

POLIGONO FUNICULAR PARA EL EMPUJE TRANSVERSAL DEL CANYON CORRIDO APOYADO EN LAS GENERATRICES DE LA CONOIDE

8172 k/m

ARCO A-A'

A

A'

70

682

442

167.5

97.55

70

630.5

728

738

proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

**ANALISIS TRANSVERSAL
(ESTATICO)**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

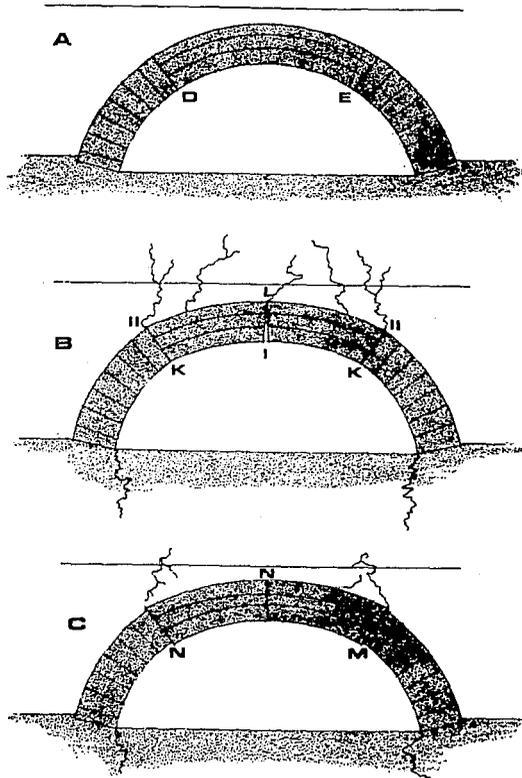
UNAM

las publicaciones contemporáneas demuestran el caudal de cultura que manejaban aquellos arquitectos. Analizar sin soberbia contemporánea injustificable el esquema constructivo de la Catedral con las leyes de la estática que ellos manejaban y que de ellos hemos heredado, nos permitirá conocer lo que propusieron y lograron los constructores - que durante un siglo crearon ese recinto y en base a ello hacer la tarea que nos corresponde para que después hagan la suya quienes nos sustituyan. (11)

Hay un ilustre profesor de Oxford, Jacques Hayman, quien pertenece a la vanguardia del diseño plástico con acero, que ha transferido esa inquietud a las estructuras pétreas ojivales del norte de Europa. Hayman ha creado el concepto de "rótula frágil" y la estática combinada con este concepto permite un análisis isostático "a la falla" de las estructuras de mampostería.

Se expone aquí ese criterio empleado desde la antigüedad por Roma que expone Emanuel -

(11) Gráficas de Viollet y Hayman pag.



DICCIONARIO DE VIOLET LE DUC

proyecto :

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

Viollet Leduc en su Diccionario de Arquitectura y que refrenda Hyman al aplicarlo a - las Catedrales Ojivales.

Este criterio fue aplicado con éxito cuando el Sismo de Orizaba, en 1973 que había dañado el patrimonio cultural de la región, entre Veracruz y Puebla.

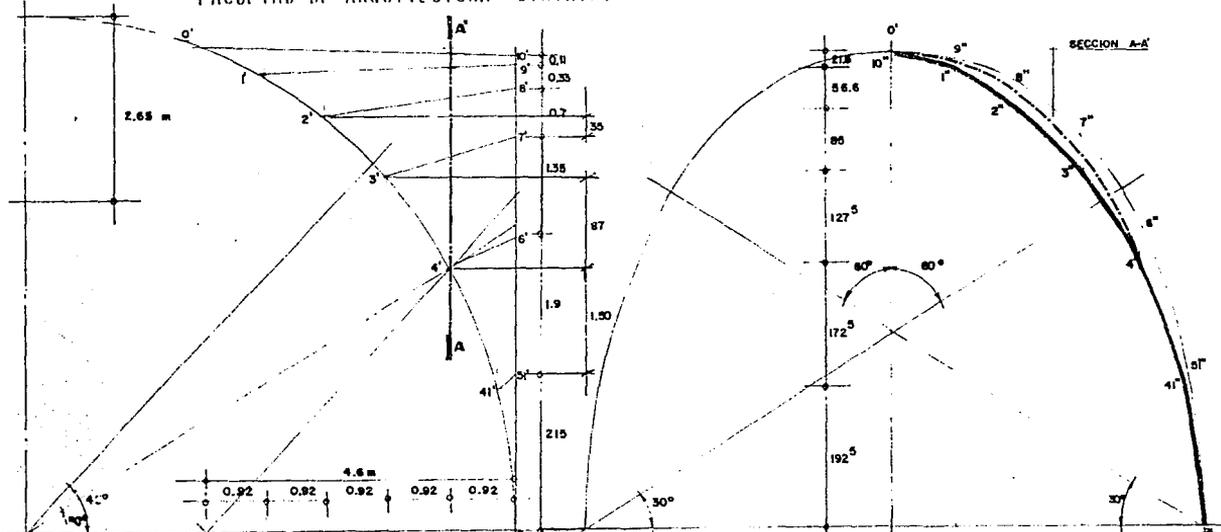
También ofrecemos aquí el testimonio geométrico que la investigación de la Catedral - actual nos entrega y que confirma el comportamiento ajustado a estos patrones, que ha tenido la Nave Central del Templo.

LOS ARCOS Y SU COMPORTAMIENTO

Como resultado de la investigación bibliográfica y de campo, se presenta el trazo - geométrico de la Nave Principal y sus Lucernarios.

Este trazo fue verificado en la realidad sobre el último entre-eje hacia el norte de - la Nave Central y se comprobó que a la información del Manual del Arquitecto del Sr. Plo y Camín, corresponde la geometría de estos Lucernarios.

SECCION A-A'

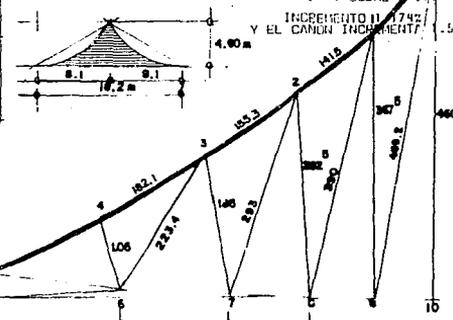


$5.2M \times 14.511 = 133.4M2$
 LUCERNARIOS $4.02 \times 2 = 42.32M2$
 CANO: $91.1M \times 1.57 = 143.07M2$
 LUCERNARIOS $42.32 \times 1.174 = 49.7M2$
 SUP. DESARROLLO BOVEDA $192.75M2$
 INCREMENTA 1.4455
 $T/H2$
 VOL. BOVEDA $= 192.75 \times 0.63 = 121.4M3$
 $1.5 = 182.1$
 $= 1365K/M2$
 2) CONSIDERAMOS UN RELLENO DE $60 @ 10c$
 SIGNIFICA 50% DE INCREMENTO = $2050K/M2$
 PCSO TOTAL = $273.22T$ $M = 273.22T \times 14.5M = 495.27M$

EMPUJE HORIZONTAL = $\frac{495.27M}{2.7537M} = 186.9T$
 $ESF. MAX = \sqrt{107^2 + 1365^2} = 231.6T = \sigma = \frac{231600K}{31.5 \times 63} = 11.7K/c2$
 $(\sigma_{CLAVE} = \frac{185900 - 3.22K}{0.5 \times 820} = 225K/c2)$

0.10	4.6M	5.91	2.15
1.9	3.675	6.0	2.05
2.8	2.925	6.7	2.15
4.6	1.05	7.01	1.7
47.51	0.22	9.10	0.91
ARCO DE ARISTA			
0.1	1.317	4.51	0.890
1.2	1.415	3.6	2.234
2.3	1.553	2.7	2.930
3.4	1.821	1.8	3.800
4.1	1.981	0.9	4.692
DIAGONALES			
0.1	1.952		

LAS GENERATRICES (FRONTALS) @ ESCALA
 EL ARCO FORMERO (FRONTAL) @ ESCALA
 LAS DIAGONALES = $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
 LA ARISTA S/LA PROYECCION PLANA $\sqrt{136^2 + 0.2^2}$
 APROXIMANDO LA CURVA @ UNA PARABOLA
 SUPERFICIE DE LA PENETRACION $10.355 \times 6 = 24.6M$
 Y EL CANON INCREMENTO 11.742
 INCREMENTO 11.742

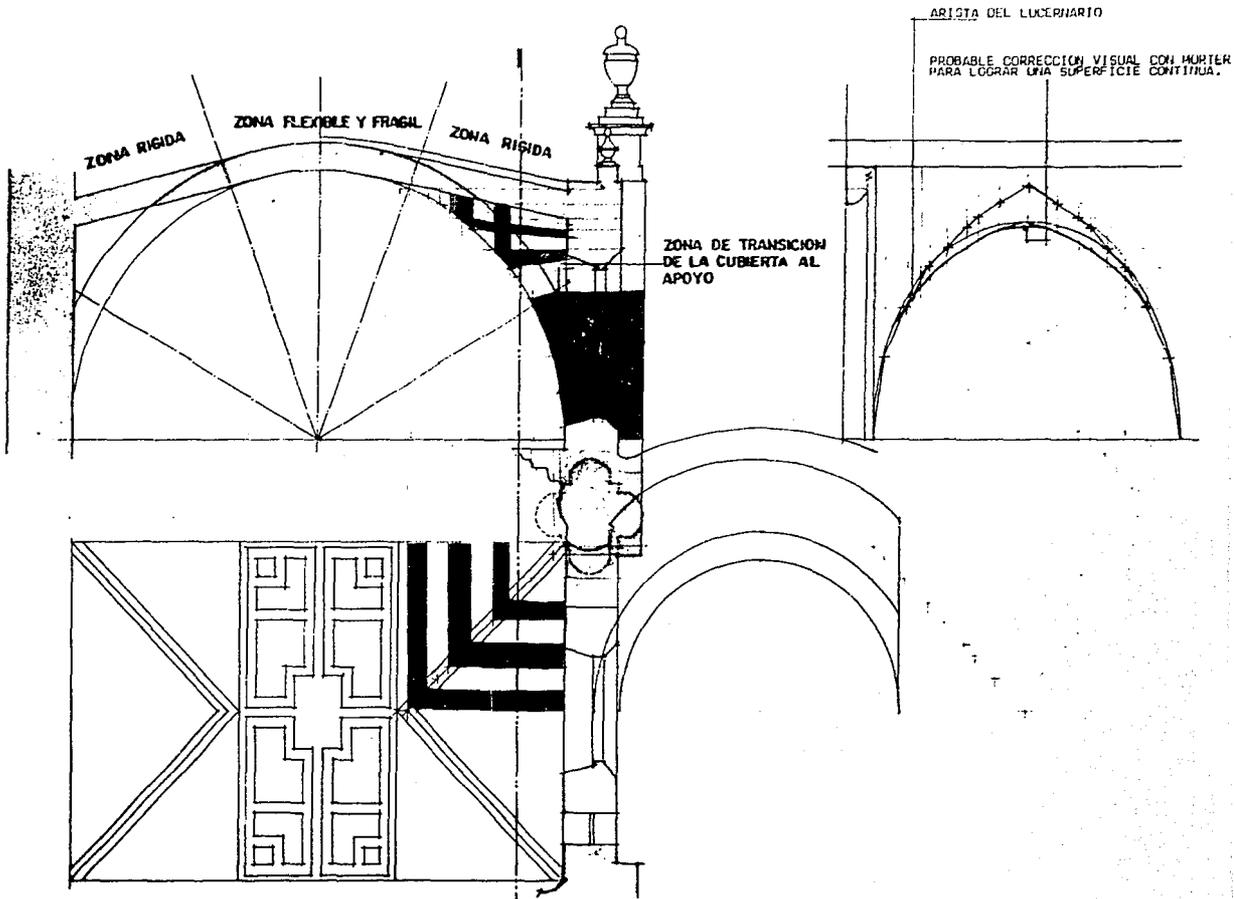


REFERENCIA EL ARQUITECTO PRACTICO CIVIL, MILITAR Y AGRIMENSOR
 POR D. ANTONIO PLO Y CAMU
 PARIS EN LA IMPRENTA DE PILLET FILS AINE CALLE DE GRANDS AUGUSTINS No.
 QUINTA IMPRESION REVISADA Y MEJORADA

Se comprueba así que la muy sabia disposición geométrica utilizada permite una gran libertad de elección formal y de manejo de proporciones para satisfacer la necesidad de vanos de iluminación y ventilación del Templo, dá la máxima libertad para canalizar las fuerzas y empujes de la bóveda hacia los puntos de contrarresto, sin complicar los métodos de análisis ni los procedimientos de construcción.

Esta feliz concurrencia dá soluciones a - factores por resolver. En un sistema geométrico de trazo es común a todos los grandes Monumentos del pasado y a muchos del - presente; citamos como ejemplo la geometría ojival, antecedente directo del que nos - ocupa y en la actualidad las lecciones magistrales de Nervi. Que sobre un trazo liberador de las restricciones que supuestamente impone la congruencia geométrica, - han permitido una expresión característica de cada época.

Valga apuntar aquí que este trazo descrito para Catedral, es solución común en todo - nuestro Patrimonio Monumental e imprime su



Proyecto:

RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

GEOMETRIA DE LA BOVEDA CENTRAL
 (GEOMETRIA DE TODAS LAS BOVEDAS)

FACULTAD DE ARQUITECTURA

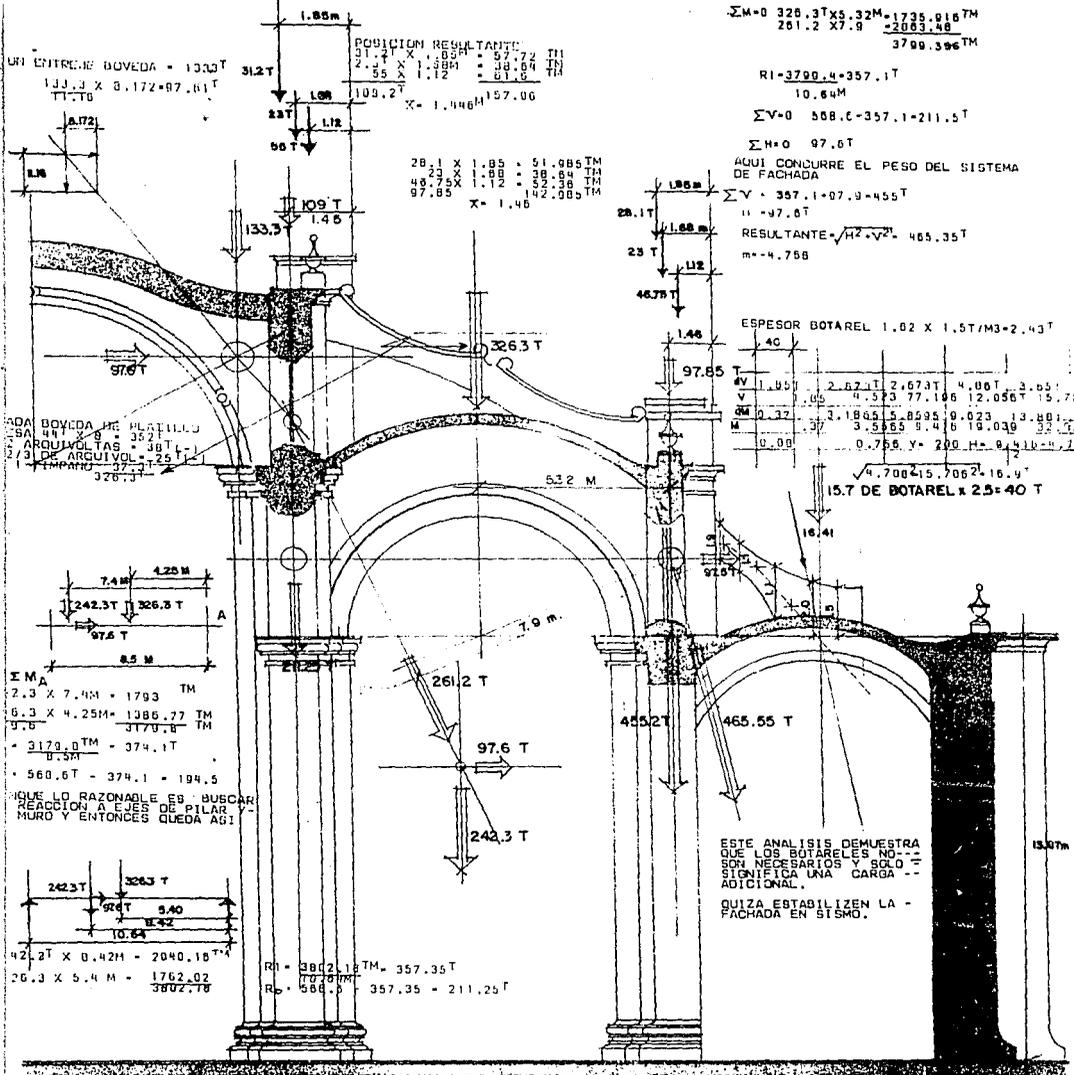
carácter al espacio interior de esos edificios.

III.4 CONCLUSION

Sobre el análisis puramente estático.- La estructura fue construída con una excelente condición de estabilidad y es capaz de una aceleración "a la falla" de $C = 0.143 \text{ ó } P/7.33$. La experiencia desde 1667 hasta 1990 - lo confirma.

El análisis se hizo en sentido transversal y sin considerar la Cúpula, cuya disposición con planta octagonal sobre el crucero, distribuye las aceleraciones a través de las bóvedas principales en las dos direcciones de la estructura, cuyas dimensiones explican la estabilidad de la gran cúpula central.

Esta a su vez está zunchada. (en documentos del archivo de SEDUE se encontró la información y fue verificada en el lugar). Hay sin embargo, huellas de desplazamientos en las columnas del tambor que no había en 1940.

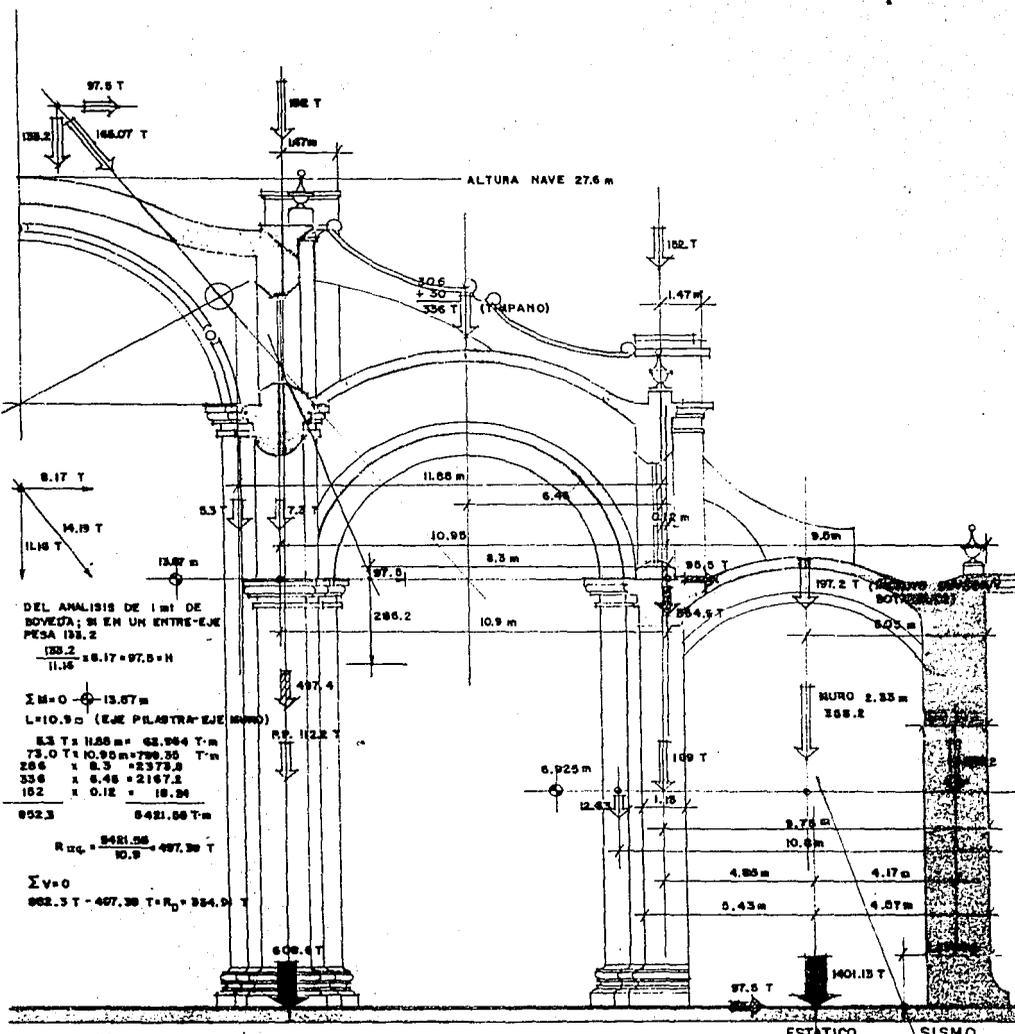


proyecto:

RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CONDICION DE EQUILIBRIO ESTATICO.

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA CRUJIA DE CONTRARRESTO

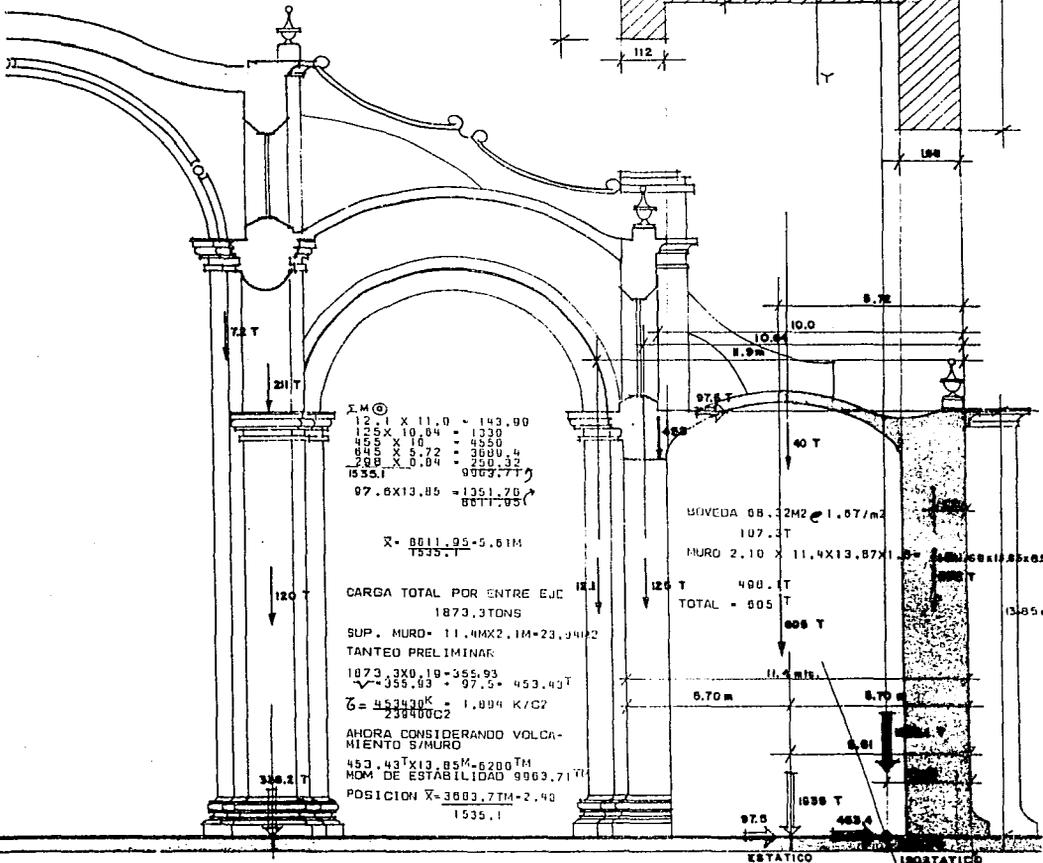
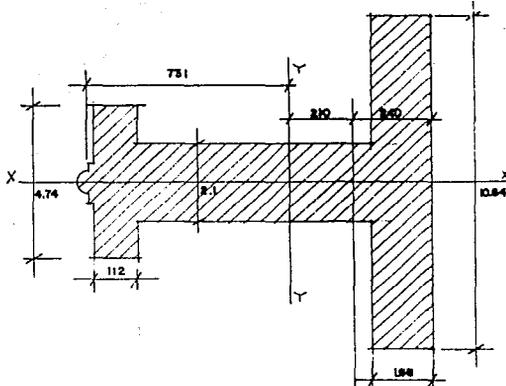
SECCION DE APOYO
 AREA = 48.8914 M²
 I = 621.88257 M⁴

$$\sqrt{\frac{1535.1 \cdot 1535.1 T^2 X^2 + M^2 X C}{40.8914}} = 621.88257$$

$$31.4 T / M^2 \cdot 23.327 = 54.727 T / M^2$$

$$- 37.8935 = 0.403 T / M^2$$

COMPRESION 5.47 K/C²
 TRACCION = 0.85 K/C²



Σ M @
 12.1 X 11.0 = 143.00
 125 X 10.64 = 1330
 165 X 10 = 1650
 845 X 5.72 = 3880.4
 208 X 0.04 = 8.32
 1535.1 = 9067.77 T

$$\bar{X} = \frac{8611.95}{1535.1} = 5.61M$$

CARGA TOTAL POR ENTRE EJE
 1873.3 TONS

SUP. MURO = 11.4M X 2.1M = 23.94 M²

TANTEO PRELIMINAR:

$$1873.3 \times 0.19 = 355.93$$

$$\sqrt{355.93} = 07.5 = 453.43 T$$

$$\bar{C} = \frac{453.43 K}{23340 G^2} = 1.099 K / C^2$$

AHORA CONSIDERANDO VOLCAMIENTO S/MURO

$$453.43 T \times 13.85 M = 6200 TM$$

$$MOM DE ESTABILIDAD 9963.71 TM$$

$$POSICION \bar{X} = \frac{3863.71 M}{2.40} = 1535.1$$

BÓVEDA 68.32 M² @ 1.07 / m²

MURO 2.10 X 11.4 X 13.87 X 1 = 400 T

TOTAL = 605 T

ESTATICO DINAMICO

proyecto :
RECONSTRUCCION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DIAGRAMA DE CORTANTE RECTANGULAR
 (VER DIAGRAMA DE CORTANTE PARABOLAS LAMINA NO. 1)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

24.5	25.4	M	= 622.3
26.1	23.1	M	= 591.6
49.3	28.8	M	= 946.0
20.9	17.8	M	= 361.34
8.9	18.0	M	= 151.25
77.1	14.0	M	= 1084.07
7.7	9.9	M	= 73.495
3.5	7.6	M	= 267.76
6.17	6.15	M	= 51.0625
			7730.5025TM

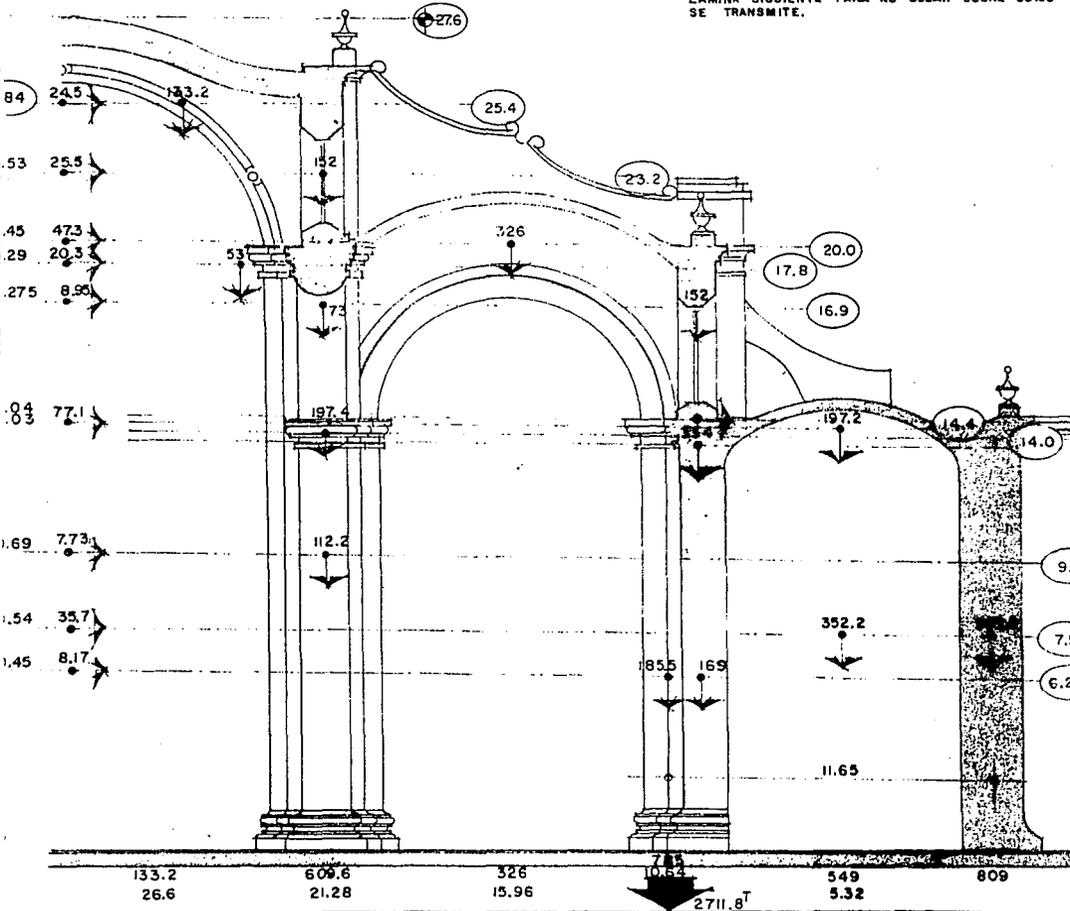
133.2	X	25.6	= 3543.12TM
508.0	X	21.3	= 12904.80TM
326.0	X	18.0	= 6222.80TM
765.0	X	10.84	= 8352.4TM
849.0	X	32.22	= 28220.66TM
308.6	X	0	= 0
22711.8			33003.04TM

$14.4M \cdot 37.5 \times 14.4 = 1404$
 37500.04

$\bar{x} = \frac{31599.04}{2711.2} = 11.65$

$\frac{31599.04}{4159.162} = 7.6 \text{ VECES}$

Y SI SOLO USAMOS LA CRUJIA EXTERIOR EN LA LAMINA SIGUIENTE PARA NO DUDAR SOBRE COMO SE TRANSMITE.



proyecto : **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA (ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

ANALISIS DE MOMENTO DE EQUILIBRIO

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

$$97.5 \times 14.4 = 1404.000 \text{ TM}$$

$$X = \frac{9800 \text{ TM}}{1545.6} = 6.34$$

Y SI EL MOMENTO ESTADICO MAXIMO VALE $1545.6 \times (0.34 - 1.14 \times 2) = 8625.23 \text{ TM}$

Y EL MOMENTO SISMICO PARA (P/10) ES 4159.5625 TM

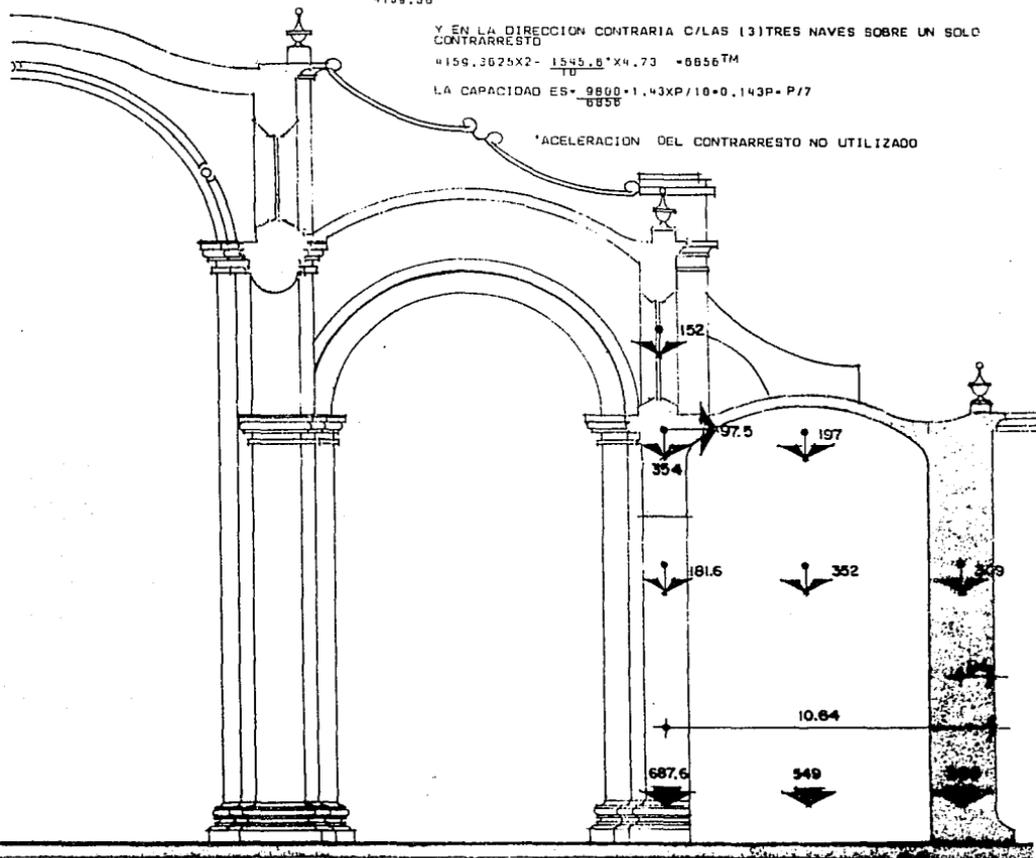
EL VALOR DE LA AcelerACION CRITICA ES $\frac{8625.23}{4159.56} = 2.07$ VECES P/10 = P/5

Y EN LA DIRECCION CONTRARIA C/LAS (3) TRES NAVES SOBRE UN SOLO CONTRARRESTO

$$= 159.3625 \times 2 - \frac{1545.6 \times 4.73}{10} = 6656 \text{ TM}$$

$$\text{LA CAPACIDAD ES} = \frac{9800 \times 1.43 \times P/10}{6656} = 0.143 \times P/7$$

*ACELERACION DEL CONTRARRESTO NO UTILIZADO



Proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANALISIS SISMICO CON DIAGRAMA DE CORTANTE PARABOLICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

Valdrá hacer un análisis con la posibilidad de rigidizar el tambor contra fracturas de cortante, para después corregir las columnas y reponer su geometría.

PROPUESTA PRELIMINAR

1ª Postensar perimetralmente

2ª Postensar verticalmente

Dejar los muros en compresión para evitar - fracturas por tracción y garantizar que no girará.

CAPITULO IV.

EL TEMA CATEDRALICIO PARA UN ARQUITECTO

IV.1. LOS MEDIOS DISPONIBLES Y LAS POSIBILIDADES FORMALES.

Los arquitectos que del Imperio vinieron a la Nueva España a construir la infraestructura, tienen la formación ojival que distingue claramente la preparación en la Cantera de la edificación en el lugar y por ello la preocupación por la versatilidad de la geometría del trazo y la facilidad de ejecución, con los medio y obreros disponibles.

Estos fueron indígenas y sus materiales, (ya apuntamos antes su influencia) pero también el tiempo y la inversión deberán considerarse, así como las consecuencias de lo dilatado del calendario de trabajo; ésto ya fue comentado, así como las correcciones que la -compresibilidad del suelo exigía aplicar: el recuerdo de la sobre-elevación del piso de -Feligresía sobre la calle de las Escaleri- -llas hoy República de Guatemala, es un dato más sobre la previsión de los que construyeron.

La arcilla lacustre y el sismo exigieron una evolución veloz del alfarje en madera a las bóvedas de mampostería y del virtuosismo ojival a la robusta arquitectura barroca. La cimentación original de la Catedral fue suficiente mientras la cuenca y su población convivían sin sobre-explotar los acuíferos. -- Cuando ese equilibrio desapareció por el incremento de los habitantes en el Valle, las deformaciones del terreno afectaron al Monumento.

En 1927 se hizo un primer esfuerzo por resolver el problema y los arquitectos Muñoz, Co

tina García y Ortiz Monasterio, en 1943, vaciaron las celdas de cimentación que estaban llenas de tierra, capacitaron al pedraplen y las soleras del entramado de la cimentación para actuar por flexión, como una cimentación por sustitución, injertando --cuerdas capaces de tracción en los lechos superiores e inferior de las mismas, y con los muros del sistema de Criptas y Feligresía, constituyeron una plataforma hueca de concreto reforzado. (ver página 9 y 10).

Se aligeró la presión de contacto sobre el suelo y se mejoró la rigidez de la cimentación, pero la población y la consecuente demanda de agua siguieron creciendo y el cambio geológico modificó cualitativamente, el problema que cuantitativamente se había resuelto. Sin embargo, la capacidad de tracción que se incorporó al sistema seguramente ha preservado al Monumento como una unidad, evitando su disgregación.

En 1975 volvió a intervenir contra los hundimientos el Sr. Ing. Manuel González Flores e instaló un total de 383 pilotes de control según su patente. En 1989 se hizo

por el grupo TGC una evaluación del estado y los resultados de esa intervención y se publicó un documento sobre ello, en 1990, por la SEDUE. Se acepta tácitamente la nece cidad de mantenimiento permanente y se pre veen preparaciones para nuevos pilotes; pe ro este método no puede corregir las zonas duras que descienden más despacio, ni es posible soportar la totalidad de la carga del resto, con pilotes o pilas cuyo número es tal que destruiría la cimentación original, mutilando irremediablemente al Monumento.

De lo anterior se ve la necesidad de frenar o de acelerar, selectivamente, el descenso del edificio, que deberá seguir a la zona en que se ubica.

La interacción entre la cimentación y la superestructura, tiene una larga historia de correcciones y adecuaciones, revertirla exige además disponer de los medios para eliminar los hundimientos diferenciales de los mismos, conocer los límites de la acción correctiva necesaria para volver al edificio a una condición segura y prevenir

las consecuencias de esa corrección.

La subexcavación constituye el método para acelerar el descenso de las zonas preconsolidadas y para corregir las deformaciones acumuladas, sin buscar detener el descenso del suelo, sino sumándose al fenómeno y - sirviéndose de la gravedad al acelerar unas zonas respecto a las demás.

IV.2 EL PROCESO DE REALIZACION

Lon puntales para evitar peligros, además de rigidizar segmentos del edificio durante el proceso correctivo, y los tensores - para garantizar la acción de arco en las - cubiertas, ya instalados, se describen en los siguientes dibujos y planos.

El conocimiento de la respuesta de las estructuras del Patrimonio Histórico sometidas a subexcavación se adquiere en la prueba que autorizó la Dirección de Sitios y - Monumentos en la Iglesia de San Antonio - Abad, se anexa memoria del sistema y del - método, así como de los resultados.

IV.3. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD COMO ELEMENTO DOMINANTE DEL PROBLEMA.

IV.3.1. Cómo cubrir con mampostería los claros necesarios.

IV.3.2. Cómo organizar el trabajo, para ahorrar esfuerzo costo y problemas de construcción.

IV.4. COMO CANALIZAR CON ELEMENTOS LAS FUERZAS HACIA LOS CONTRARRESTOS. (13).

CAPITULO V.

DIAGNOSTICO INICIAL

V.1. ANALISIS GEOTECNICO

Ya se describió al principio el cambio de escala del problema como explicación del cambio del proceso de consolidación en el Centro Histórico y se ilustra para la Catedral con los controles de hundimientos que elaboró el Ing. Santoyo a base de las nivelaciones de HYPLAC. (14)

(13) Anexo en Croquis

(14) Documento ya publicado por SEDUE; reporta el trabajo conjunto de la Comisión y que realizaron, ordenaron y publicaron los ingenieros Santoyo y Tamez.

V.2. ANÁLISIS DE CURVAS DE NIVEL Y DEFORMACIONES

De lo anterior se conocen las tendencias actuales y que son las que deberá corregir el mantenimiento futuro y del acervo documental se tienen los datos de topografía 1907, 1927, 1934, 1972, 1975, 1985. (15)

V.3. RESISTENCIA DE MATERIALES

Los análisis de capacidad de carga de mampostería de tezontle, cal y arena se hicieron en el Instituto de Ingeniería, por el Ing. Roberto Sánchez, del grupo de trabajo del Dr. Roberto Melli.

Nosotros le proporcionamos las muestras de ese material, típico del Centro Histórico - que obtuvimos en un trabajo cercano a la Catedral, y los resultados dicen que la capacidad máxima es 38 Kg./cm² a la ruptura en compresión; para las muestras sin reparaciones posterior y de 25Kg/cm² en aquellas que muestran fracturas reparadas.

En la actualidad el Ing. Sánchez trabaja -

con muestras de otros Monumentos del Centro Histórico, y busca la posibilidad de que estas mamposterías fluyan bajo la carga, poniendo especial cuidado en determinar el esfuerzo y el tiempo necesario para provocar la fluencia plástica.

CATEDRAL METROPOLITANA

V.4. INSTRUMENTACION

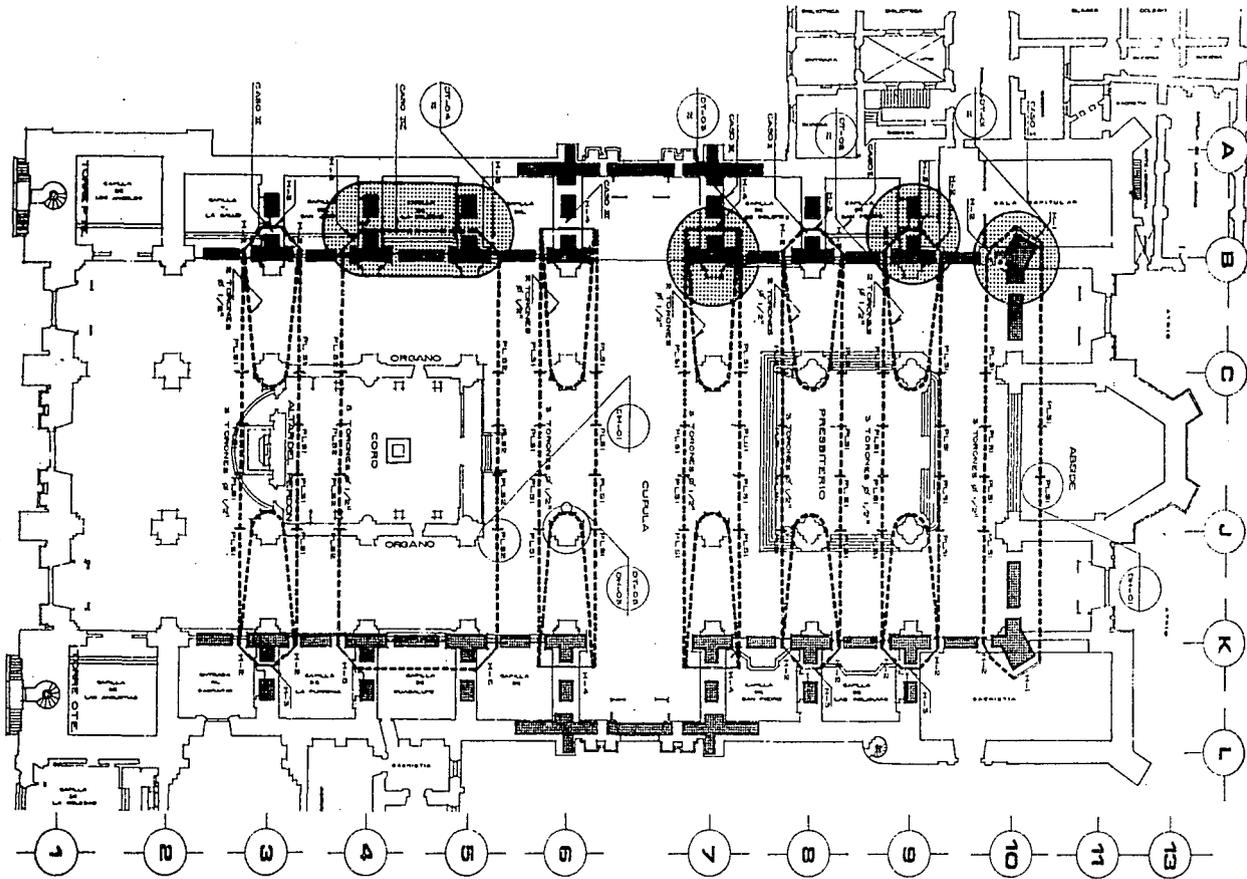
El sistema de tensores ya parcialmente instalado (cables transversales), es fruto de experiencias previas en el Claustro de Sor Juana, donde garantizó que la descarga rápida - de la calle junto al Templo de San Jerónimo, no hiciera temer por la bóveda del mismo. El método de atar a través de las ventanas, los ejes de soporte sin dañar al edificio, significa "yugos" de acero dulce, con barriletes y cables de presfuerzo. Permite medir la fuerza inicial inducida y verificar sus cambios destensando, sin soltar, la fuerza de - los cables.

Se propuso como medida precautoria un sistema - transversal en cada eje y uno longitudinal sobre

las arcadas entre las naves procesionales y la central. Se dispuso su instalación con cojines de concreto colocados "in situ" y rozaderas, (16) para deflectarlos en las ventanas y alrededor de las pilastras. Se dosificaron para 84 toneladas con 70% de F_y Y 120t trabajando a (F_y) después de haber analizado que el empuje teórico con carga viva es de 97 toneladas y de 84 toneladas, considerando únicamente peso muerto de la bóveda central. Se ubicaron al pie de los contrafuertes verticales que flaquean a los lucernarios, en la azotea de capillas laterales, porque allí es donde son efectivos y no al pie de los botareles, que no actúan como contrarrestos y además, no existen botareles en tres ejes: el 8, 9 y 10.

Estos tensores de cables de acero, tejidos con alambre restirado en frío; garantizan por su fabricación, su calidad y su módulo elástico de 170K/mm²., son materiales usuales y pertenecen a un sistema integrado de elementos constructivos muy confiables. Los yugos se proporcionaron para que tengan falla dúctil antes que los cables, y actúen como "fusibles".

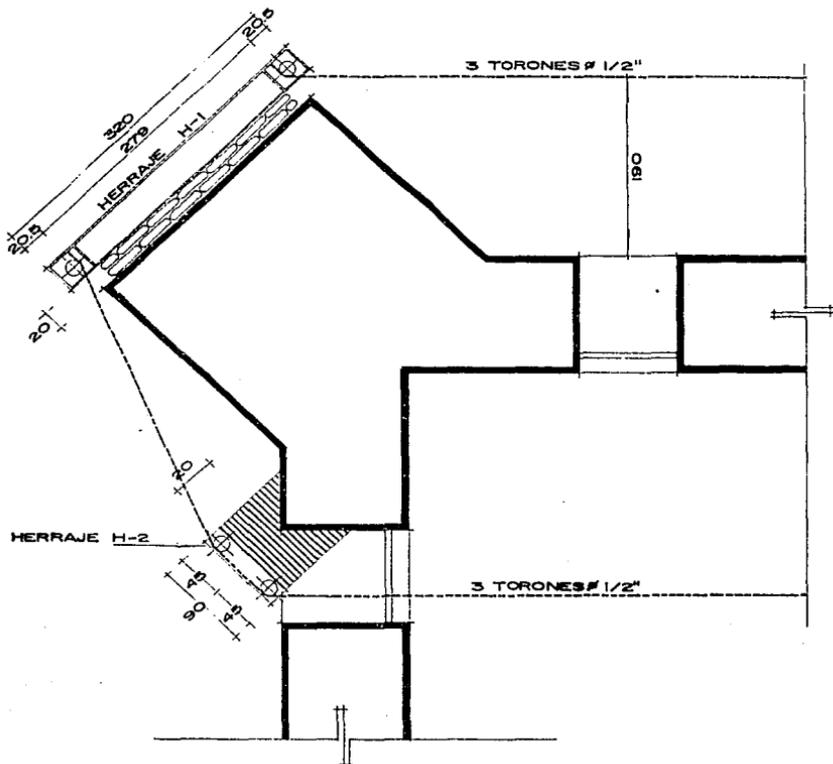
(16) Plano página



proyecto:
**ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA**
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

PLANTA GENERAL
**TENSORES
 TRANSVERSALES**

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



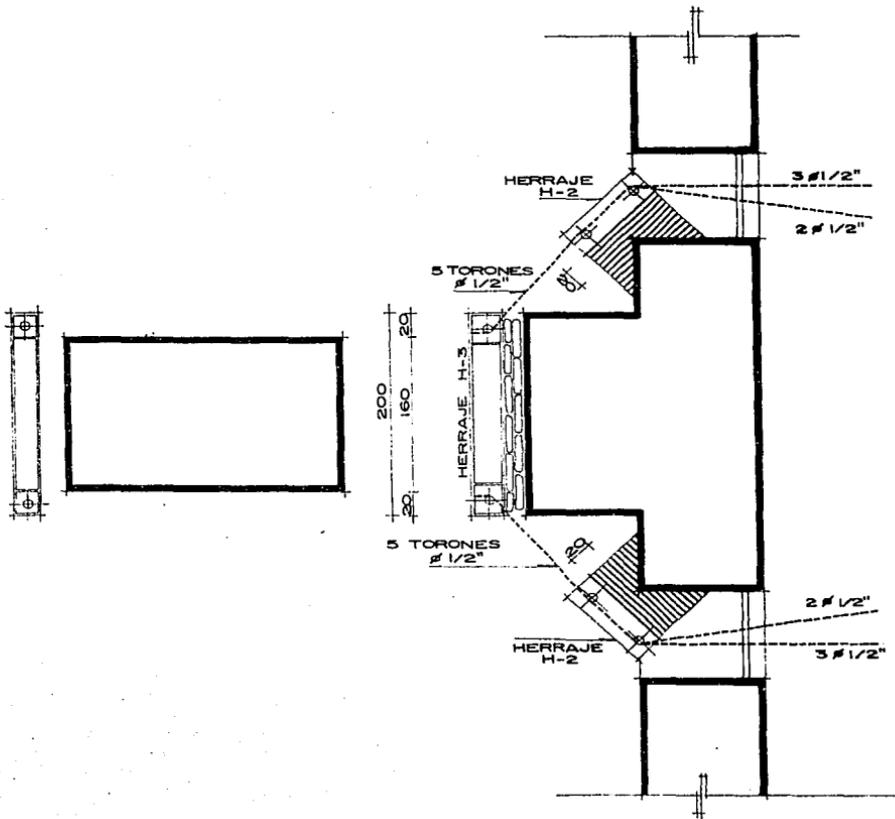
DT-01 CASO I
 COTAS EN CENTIMETROS ESCALA 1:30

proyecto :
 ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

TENSORES
 TRANSVERSALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



DT-02 CASO II

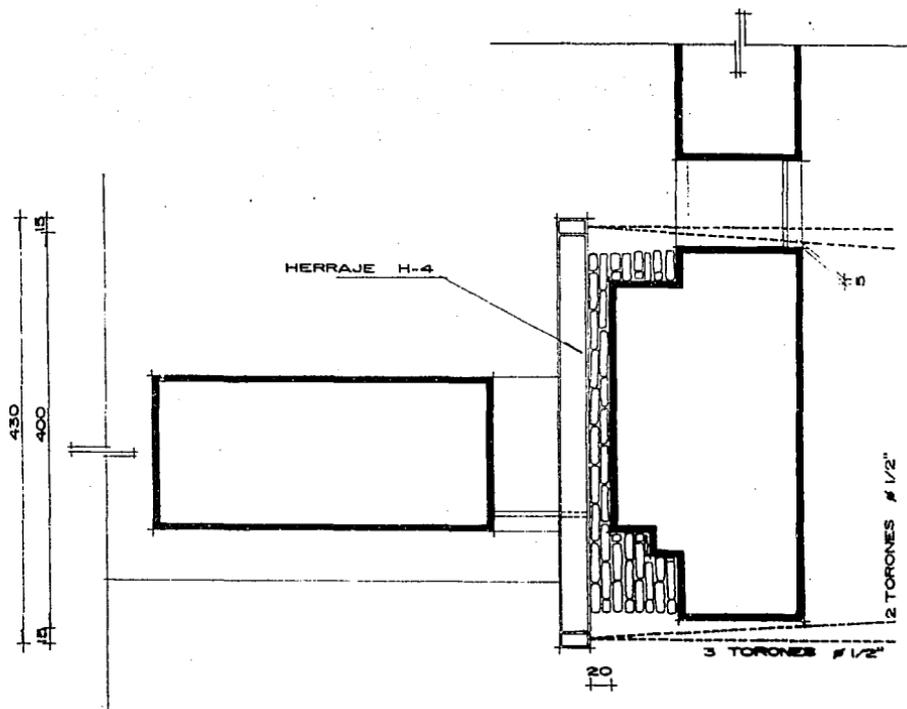
COTAS EN CENTIMETROS ESCALA 1:50

proyecto :
 ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO
 TENSORES
 TRANSVERSALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM

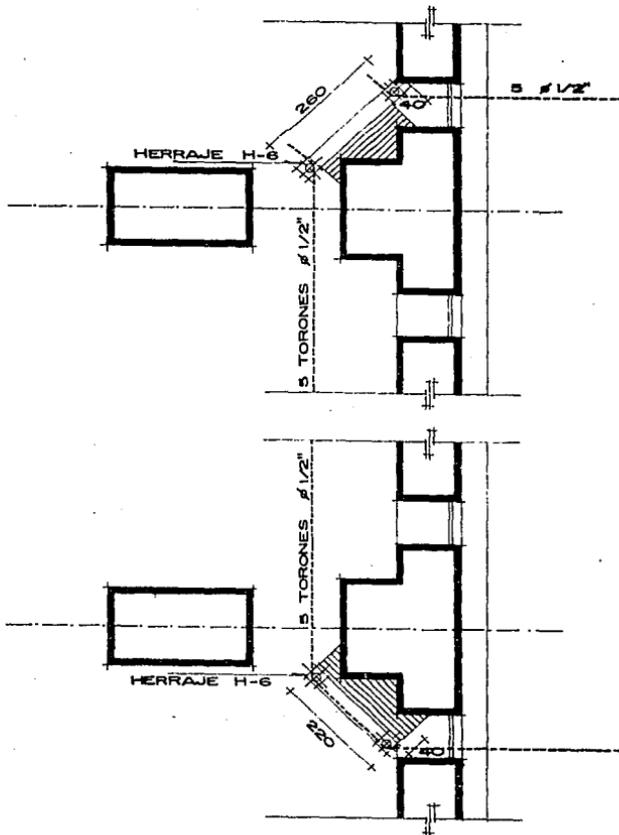


DT-03 CASO III
 COTAS EN CENTIMETROS ESCALA 1:50

proyecto :
 ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO
 TENSORES
 TRANSVERSALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



DT-04 CASO IV
 COTAS EN CENTIMETROS ESCALA 1:30

proyecto :
 ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO
TENSORES
 TRANSVERSALES

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

Este sistema de atadura a la estructura instrumentado con galgas electrónicas (Strain Gages), permite medir esfuerzos, fuerzas y deformaciones, - con gran precisión.

V.5. METODOLOGIA PARA CONTROLAR Y EVITAR LOS DAÑOS POR HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES. (Documento elaborado por TGC).

La información disponible sobre los hundimientos diferenciales que ha sufrido la Catedral en los - últimos años, ha sido obtenida por PICOSA como - parte de su servicio del control de pilotes y en el último año HIPLAC ha venido realizando nivelaciones de precisión.

Las mediciones de PICOSA todas son en el interior de la Catedral, nivelando un punto en cada columna; en cambio HIPLAC nivela varios puntos de cada columna y también nivela puntos del exterior de - la Catedral. Por estas diferencias las nivelaciones de HIPLAC resultan de mayor utilidad ya que - permiten definir una imagen más clara del proceso de deformaciones que se está desarrollando.

NIVELACIONES RECIENTES

Nivelaciones de HIPLAC

En la tabla 1 se anotan las fechas de las 10 nivelaciones realizadas hasta ahora - por HIPLAC, con cuya información se elaboraron las figuras 1 a 9, para mostrar gráficamente el fenómeno de hundimiento en el último año; sobre la variación de estas figuras y en general sobre la precisión de las mediciones, conviene hacer las siguientes aclaraciones;

- Estas 10 nivelaciones se realizaron - tomando como banco de referencia el - banco profundo instalado en el Patio de la Emperatriz del Palacio Nacional (cota 2234.323m).
- El comportamiento de esa banco profundo es incierto, porque en los aproximadamente 15 años que tiene de instalado, su tubo interior, no ha "salido" del ademe.
- La incertidumbre del comportamiento - del banco profundo impide definir la magnitud de los asentamientos totales que sufre la Catedral; pero aún así -

la interpretación de sus asentamientos diferenciales es confiable.

- La figuras 1 a 9 se han elaborado asígnándoles, de acuerdo a la tradición, - el valor de 0.0 asentamiento a la columna C-3; quedando ahora evidente en esas figuras que la columna que menos se hunde es la C-7 y por ello su deformación es un levantamiento aparente de signo positivo.
- La precisión de estas nivelaciones es del orden de \pm 1mm, a pesar de que se emplea un aparato que proporciona números con definición aparente de centésimas de milímetro.
- Las masas de suelo blando, como la que subyace bajo Catedral y sus alrededores, están sujetas a sufrir pequeñas deformaciones a volumen constante, causadas por la inercia de la masa de suelo que se hunde y también por los sismos; este fenómeno puede inducir el desarrollo de levantamientos, que topográficamente se detectan como leves expansiones.

- La combinación de los dos últimos factores introduce una cierta dispersión entre dos nivelaciones de fechas cercanas, porque las magnitudes de los asentamientos diferenciales son pequeñas; por el contrario, en la comparación de dos nivelaciones con varios meses de separación, esta dispersión pierde importancia y por ello la magnitud de las deformaciones diferenciales es más confiable.

Nivelaciones de Pícosa

Como parte del programa de mantenimiento de pilotes se realiza la nivelación mensual de los pilotes de columnas y pilastras de la Catedral y Sagrario. La forma en la que PICOSA acostumbra presentar sus nivelaciones es mediante los valores numéricos de los asentamientos diferenciales mensuales; como esta manera de hacerlo dificulta captar el desarrollo del proceso, en la fig. 10 se presentan en forma gráfica las deformaciones diferenciales medidas por PICOSA entre julio de 1989 y junio de 1990. Sobre estas nivelaciones se de-

ben hacer los siguientes comentarios:

- El banco de referencia que se utiliza es un punto en la base de la cruz que se encuentra en el aldo oriente del - Atrio de la Catedral.
- PICOA a través de los años ha venido asignando simultáneamente el valor ce ro asentamiento, a la columna C-3 de la Catedral y a la 25C del Sagrario. Esto introduce una diferencia constan te entre ambos edificios, que no se - puede definir fácilmente.
- En cuanto a la confiabilidad de estas nivelaciones, seguramente es algo menor que la de HIPLAC, por la diferencia de precisión de los equipos emplea dos.

Comparación de nivelaciones.-

Para comprender las deferencias entre las nivelaciones que realizan las dos empresas, basta comparar las figs. 9 y 10, ya que cubren prácticamente el mismo lapso y siendo de casi un año, disminuye considerablemente la importancia de los errores e imprecisiones de medición. De esa compa

ración se pueden obtener los siguientes comentarios:

- Los asentamientos que definen ambas figuras son del mismo orden; ya que sus diferencias caen dentro del orden de la precisión de las mediciones.
- Las mediciones de HIPLAC permiten una mejor imagen del fenómeno de asentamientos diferenciales que están ocurriendo; por la mayor abundancia de puntos interiores de nivelación y por las mediciones del exterior.

COMENTARIOS SOBRE LOS ASENTAMIENTOS MEDIDOS

Morfología de los hundimientos.

La observación del conjunto de las figs. 1 a 9 permite constatar que la evolución del fenómeno de asentamientos diferenciales que se han desarrollado en la Catedral y Sagrario en los últimos 10.5 meses, definen una zona dura interior que se hunde menos, y todos sus vértices están sujetos a hundimientos de mayor velocidad.

Velocidades de deformación.

Zona que menos se hunde.- La observación de las figs. 1 a 9 permite advertir que la zona vecina a las columnas C-6, 7 y 8, es la que menos se hunde; porque corresponde a la zona de subsuelo más duro. Utilizando ahora esta zona como referencia para evaluar los asentamientos diferenciales, se le puede definir como la de velocidad de asentamiento diferencial nulo; con lo que se derivan los siguientes comentarios:

- La pilastra C-3 que tradicionalmente se ha utilizado como de referencia, se esta hundiendo con una velocidad de 0.57mm/mes.
- La esquina noreste de Catedral tiene una velocidad media de hundimientos de 2.28 mm/mes, con un pico del orden de 3.14 mm/mes.
- La torre poniente alcanza una velocidad de deformación de 1.62 mm/mes respecto a la zona dura y
- La esquina sureste del Sagrario se hunde de 1.33 mm/mes respecto a su zona central y de 2.39 mm/mes respecto a la

zona que menos se hunde de la Catedral.

Influencia de la adecuación de cargas en -
los pilotes.-

A mediados de febrero del año pasado se ini
ció la adecuación de cargas en pilotes de -
control propuesta por TGC en el Estudio de
las Cimentaciones de Catedral y Sagrario; -
esta acción se completó el 26 de marzo de -
1990. En cuanto a la influencia de este -
cambio en el comportamiento de la Catedral,
visto a través de las figs. 6 a 9, se pue-
de decir que resultó prácticamente impercep-
tible; porque no modificó la velocidad de
los hundimientos diferenciales. Tan sólo
dió cierta uniformidad a la morfología de
los hundimientos.

Estos comentarios ratifican que los pilotes
de control instalados en la Catedral no -
son capaces de modificar el comportamiento
de su cimentación.

CONCLUSIONES

Asentamientos diferenciales.- Las nivela-
ciones topográficas del 16 de julio de 1989

al 30 de mayo de 1990, han permitido precisar cómo el perímetro de la Catedral y Sagrario se hunde diferencialmente con respecto al interior y que sus esquinas son las áreas más afectadas.

Velocidades de deformación de puntos característicos.- Las columnas C-6, 7 y 8 de la Catedral definen la zona que menos se hunde (0 mm/mes), la pilastra C-3 lo hace con 0.57 mm/mes, la torre poniente con 1.62 y la esquina noreste del Sagrario se hunde a 1.33 mm/mes, con respecto a la zona central y a 2.38 mm/mes con respecto a la zona de las columnas C6, 7 y 8, de la Catedral.

Influencia de la adecuación de las cargas en los pilotes.- El cambio que se hizo en las cargas que se aplican a los pilotes de control, terminado el 26 de marzo de 1990, no indujo ninguna modificación en las velocidades de hundimientos; tan solo dió cierta uniformidad a la geometría de los hundimientos. Lo cual ratifica que los pilotes instalados no son capaces de controlar el fenómeno de hundimiento diferencial que sufre la Catedral y Sagrario.

Comparación de nivelaciones.- Las nivelaciones que realiza HIPLAC definen con mayor claridad el fenómeno de hundimiento, - por su precisión y número de puntos medido, interiores y exteriores. Por su parte las nivelaciones de PICOSA, al restringirse a sólo puntos interiores, dan una imagen incompleta del fenómeno.

Continuación de las nivelaciones.- En las nivelaciones futuras de PICOSA e HIPLAC deberán apoyarse en el banco profundo BNP-60 del exterior de la Catedral, para evitar - la incertidumbre que introduce que una se apoye en un punto superficial del Atrio y la otra en el banco profundo del Palacio - Nacional.

Asentamientos regionales.- Se deberán realizar nivelaciones de control de los bancos profundos BNP-40 y BNP-60 y de la referencia TLCA de la torre poniente con respecto al banco Atzacalco, por lo menos - dos veces al año, para definir confiablemente la magnitud de los asentamientos regionales que están ocurriendo.

CATEDRAL METROPOLITANA Y SAGRARIO ANEXO

SUBEXCAVACION E INSTRUMENTACION

Proceso de interacción suelo-estructura.

El proceso de subexcavación se reflejará en la su perestructura necesariamente, y prevenir las con secuencias de la deformación correctiva en el sue lo, es indispensable.

En general podemos describir esa acción como una regresión de las deformaciones ya "digeridas".

En mayo de 1990 se analizó la condición de estabilidad de la sección transversal de la Catedral. Es un análisis puramente estático y se hizo así - porque la capacidad de las mamposterías en trac ción es muy limitada; el análisis arrojó una capa cidad de $P/7 = 0.143$ de la gravedad, como carga - crítica admisible por el edificio, lo cual esta - avalado por los 325 años que tiene de terminada - de techar la Catedral. Este análisis supone una - geometría ideal sin deformaciones, pero la inves - tigación de campo hecha en esta ocasión, demues - tra que ya en 1665 había hundimientos de 70 cms. que los constructores habían corregido e incorpo - rado en la fábrica del Templo.

Este proceso continuó en el tiempo y podemos afirmar que el mantenimiento permanente ha incorporado las deformaciones actuales al edificio y que alcanzan hasta 2.4 mts. en una longitud de 114 - mts. y significan 0.021 de pendiente de norte a sur y una pendiente del mismo orden, en sentido transversal, en el lindero sur.

Para corregir esta condición existen dos caminos que son: el primero, mover como bloques rígidos - porciones enteras del edificio, dejando que se acumulen en lugares predeterminados las deformaciones hasta alcanzar un rango seguro de desplazamientos locales, aunque el edificio en conjunto tenga desplazamientos fuera de normas.

Y otro, que será corregir los elementos que constituyen el templo en un proceso sucesivo de regresión de las deformaciones, que afectará más cuantitativamente, pero mucho menos cualitativamente, al edificio.

Este último parece haber sido el proceso hasta el inicio de la sobre-explotación de los acuíferos, y el primero atiende a las consecuencias de la sobre-explotación del agua, desde 1934 hasta ahora.

Tenemos información de la topografía en 1907, en

1972 y la actual. Restar de la actual cualquiera de las anteriores define el volumen y los lugares que deben subexcavarse; el método necesariamente simplificado en cortes aproximadamente planos, permitirá determinar, qué zona afectará cada acción y qué tipo de deformación inducirá en esa misma zona; después esta zona seguirá el movimiento como cuerpo rígido, porque los cortes sucesivos ya no corregirán su geometría, sino únicamente su posición relativa al resto del edificio.

Así idealmente, podríamos corregir paso a paso y dentro del rango elástico de los materiales, la deformación hasta alcanzar una condición segura para cada elemento individual, aunque el edificio en su conjunto conserve desplomos grandes, pero que ya no lo pongan en peligro.

Nuevamente la fragilidad de la mampostería hará inalcanzable esa operación con deformaciones elásticas únicamente; pero el control de las fronteras de la deformación permitirá saber dónde y cómo se van a romper los elementos arquitectónicos, y mediante la observación visual directa de esos elementos y la indirecta de las verificaciones en su geometría, podremos aceptar grietas de reacomodo y aun provocar holguras, para relevar de esfuer

zos excesivos los puntos críticos.

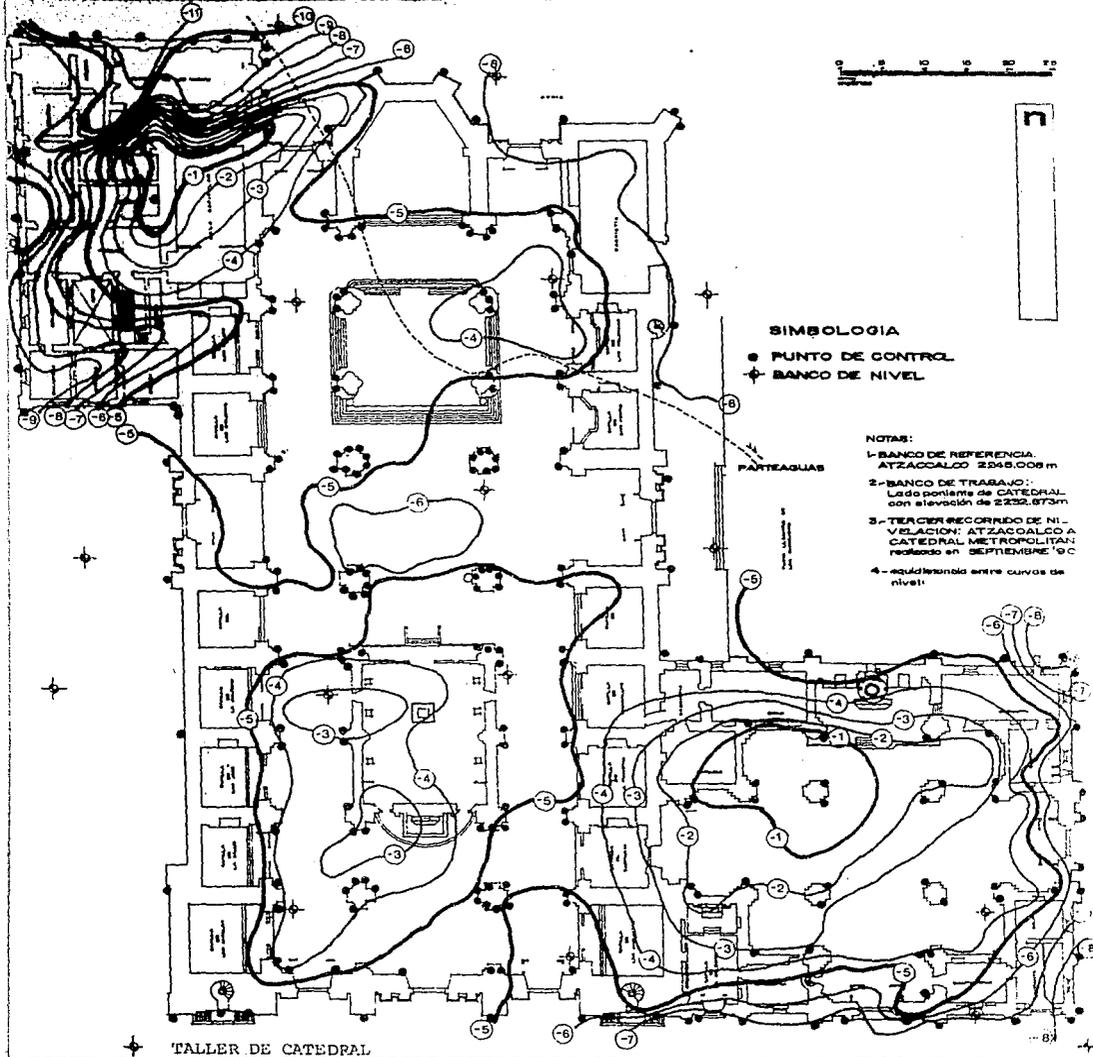
Y pasado el reacomodo curar esos daños para que ya sólo se desplace sin deformarse.

En ambos casos se concibe la operación como una serie de cortes muy delgados que sucesivamente avanzan y se reorientan para corregir las deformaciones ya acumuladas.

La experiencia obtenida en San Antonio Abad permite afirmar que esos cortes delgados sucesivos son posibles, que el proceso puede detenerse y reiniciarse a voluntad. Ahora vamos a probar allí y a corroborar en el laboratorio del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el límite "frágil" de las deformaciones.

Se ilustra lo anterior con dos ensayos del sistema de cortes que hemos hecho en el taller de la obra de Catedral, para orientar nuestro criterio y poder apoyar el trabajo de investigación mediante los ordenadores electrónicos.

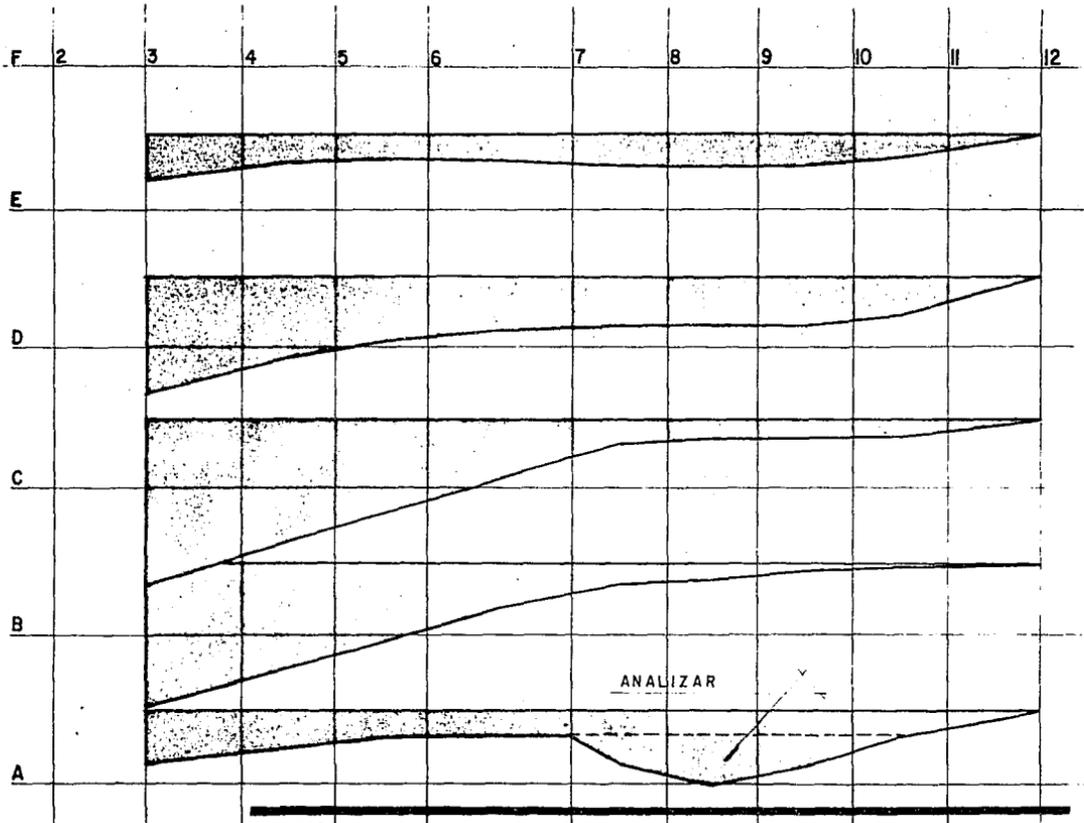
Todo lo anterior exige medidas de protección a la estructura, sensores de los cambios geométricos y su traducción a esfuerzos.



proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CONFIGURACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DE LOS PUNTOS DE CONTROL

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM



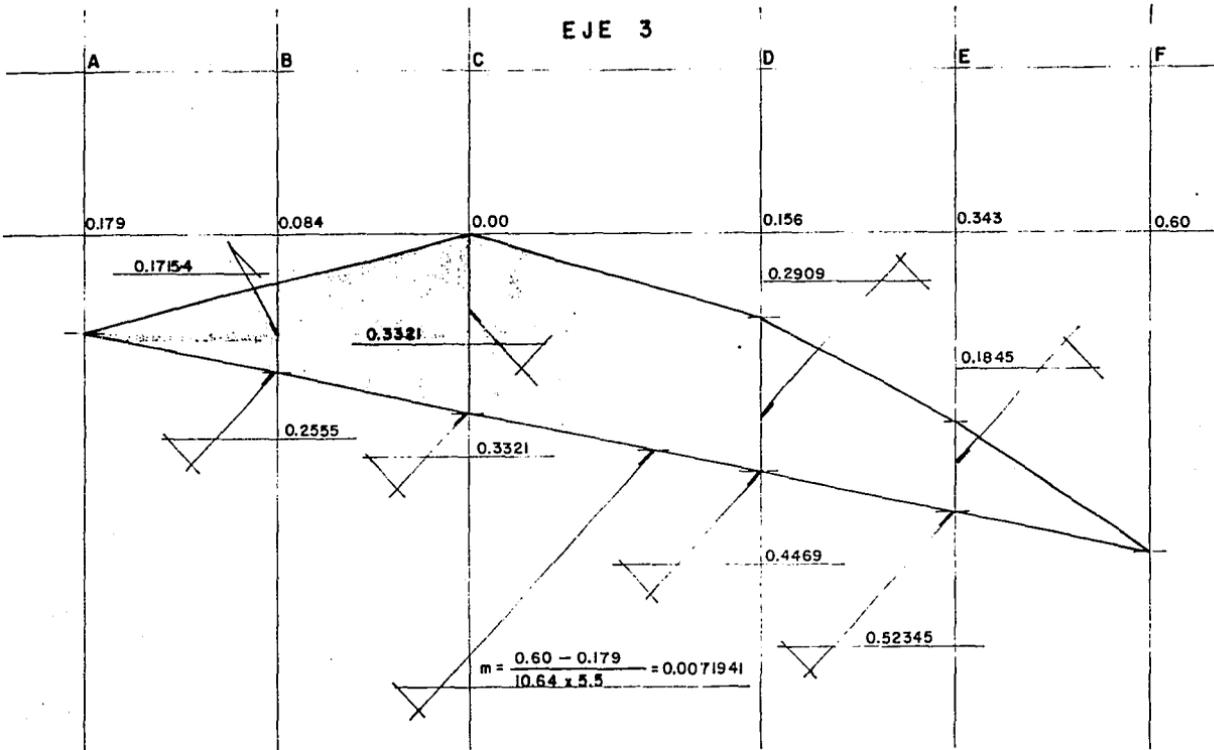
proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM

EJE 3

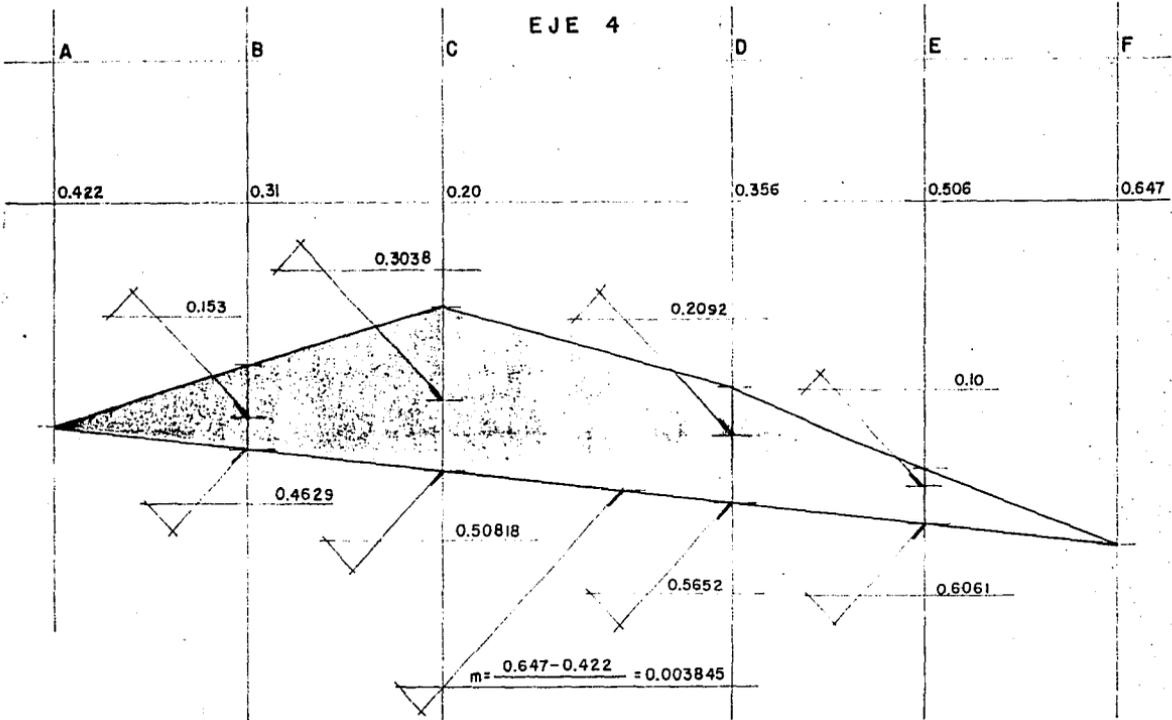


proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

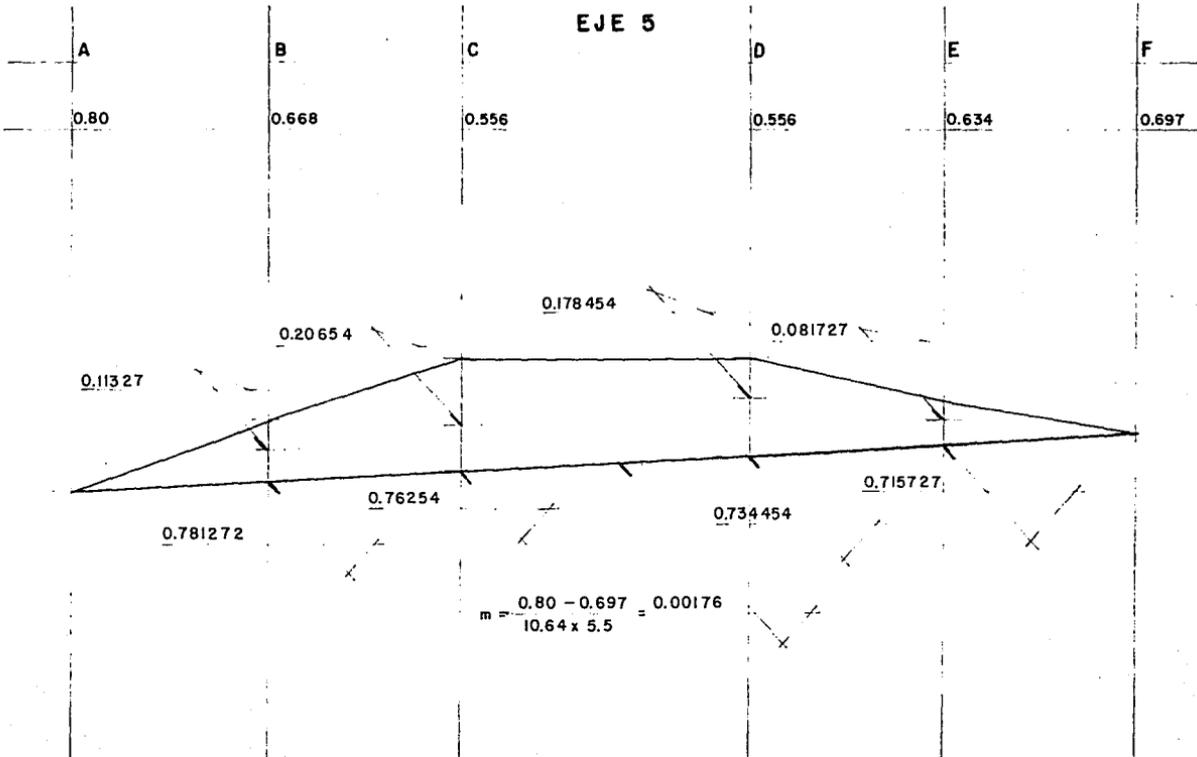
EJE 4



proyecto: **RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

EJE 5

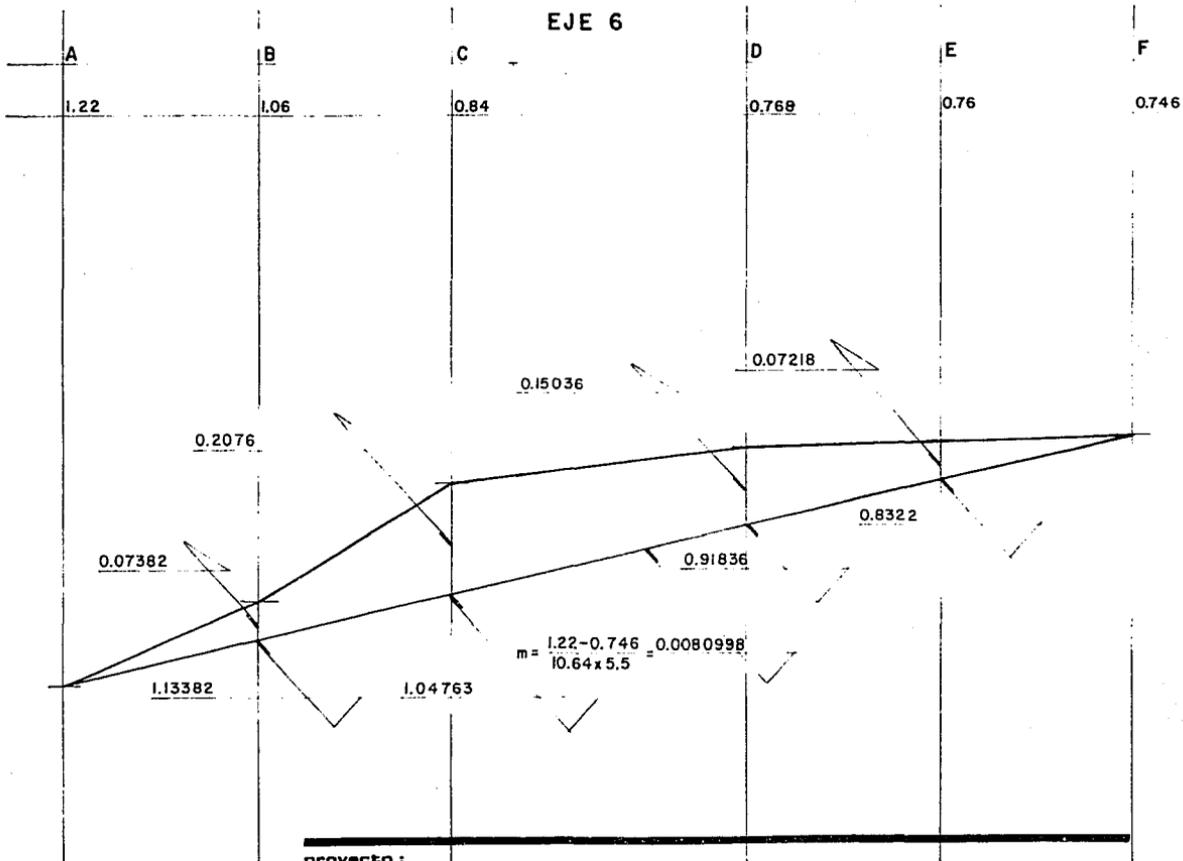


proyecto:

RECONSTRUCCION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

EJE 6

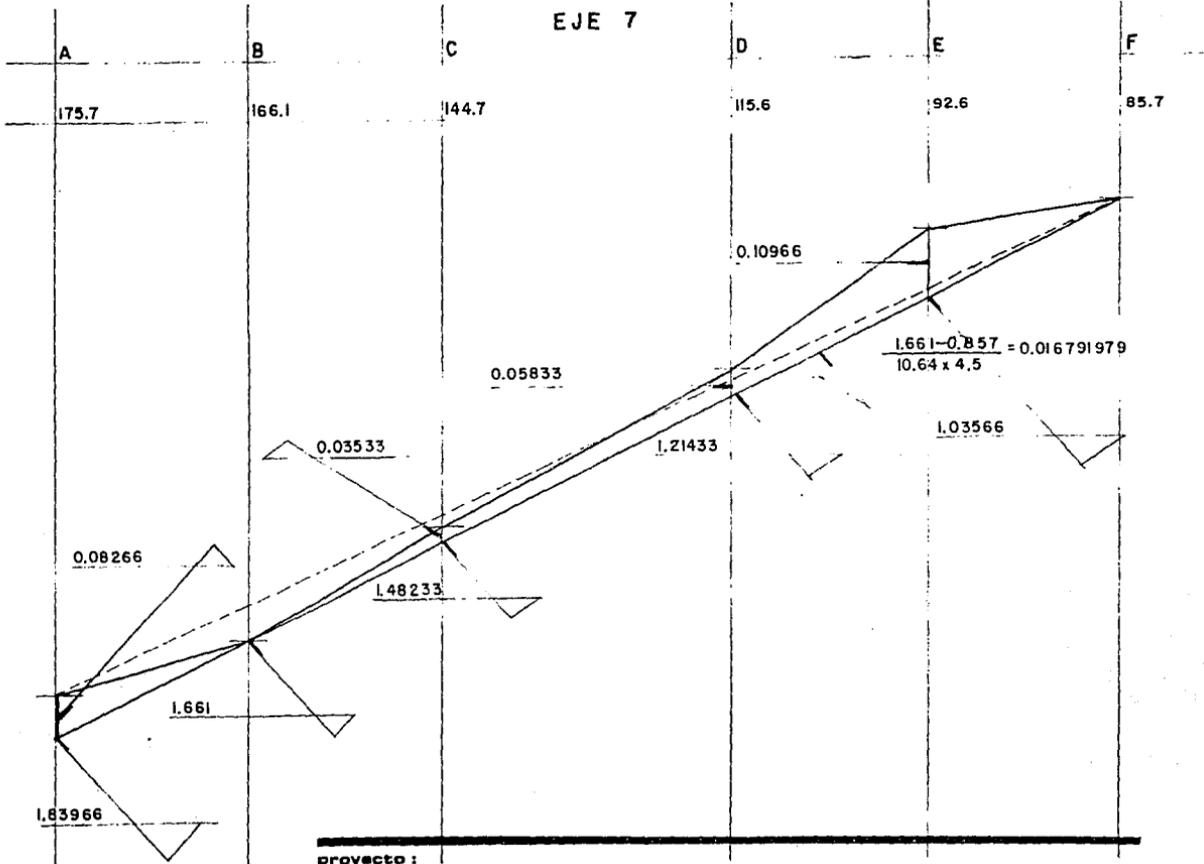


proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

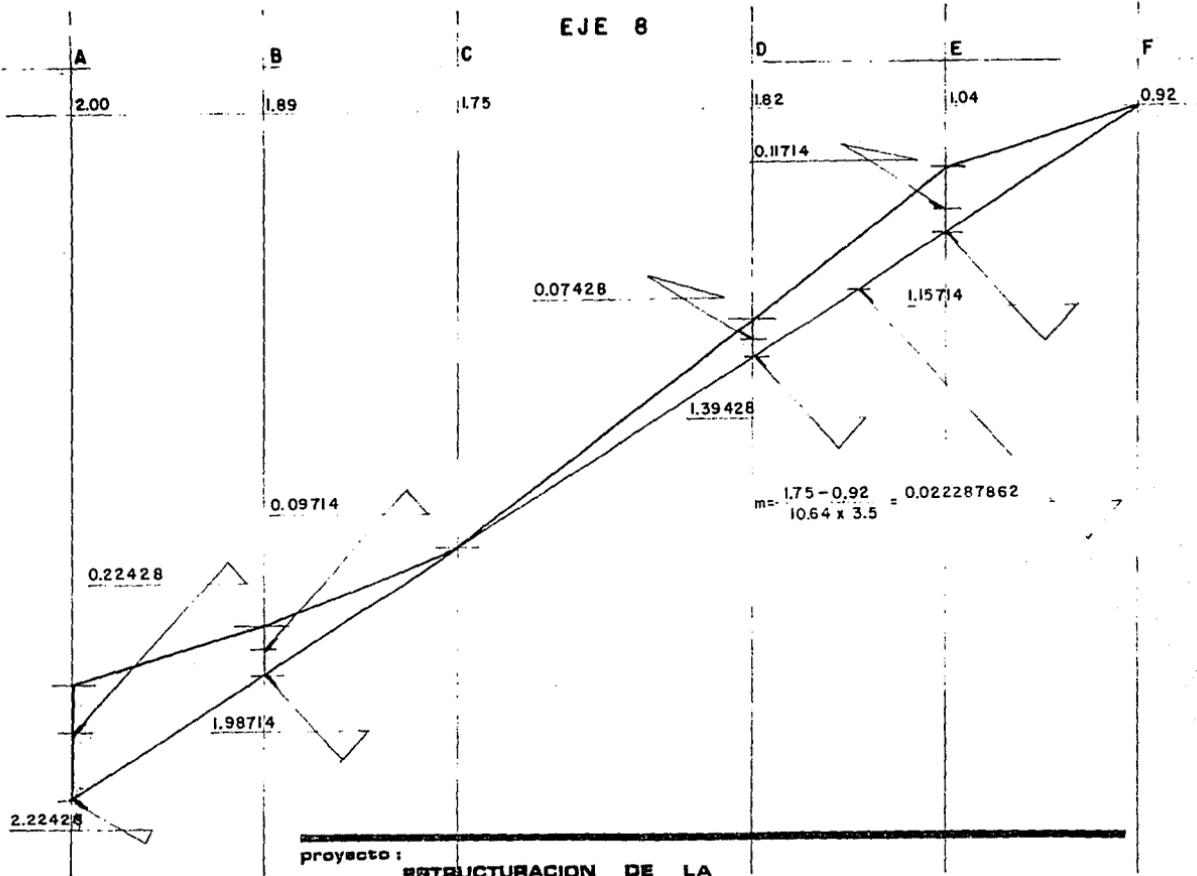
EJE 7



proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

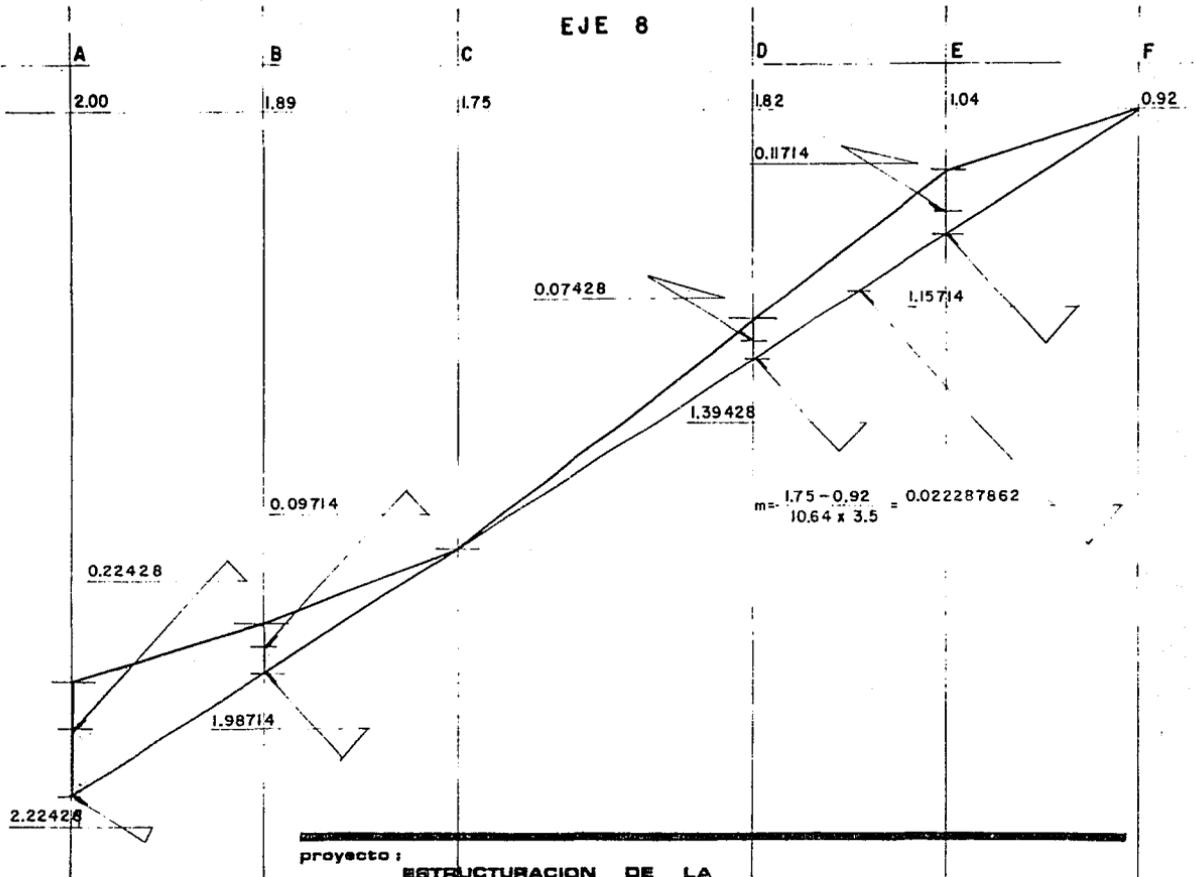
EJE 8



proyecto: **RESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

EJE 8

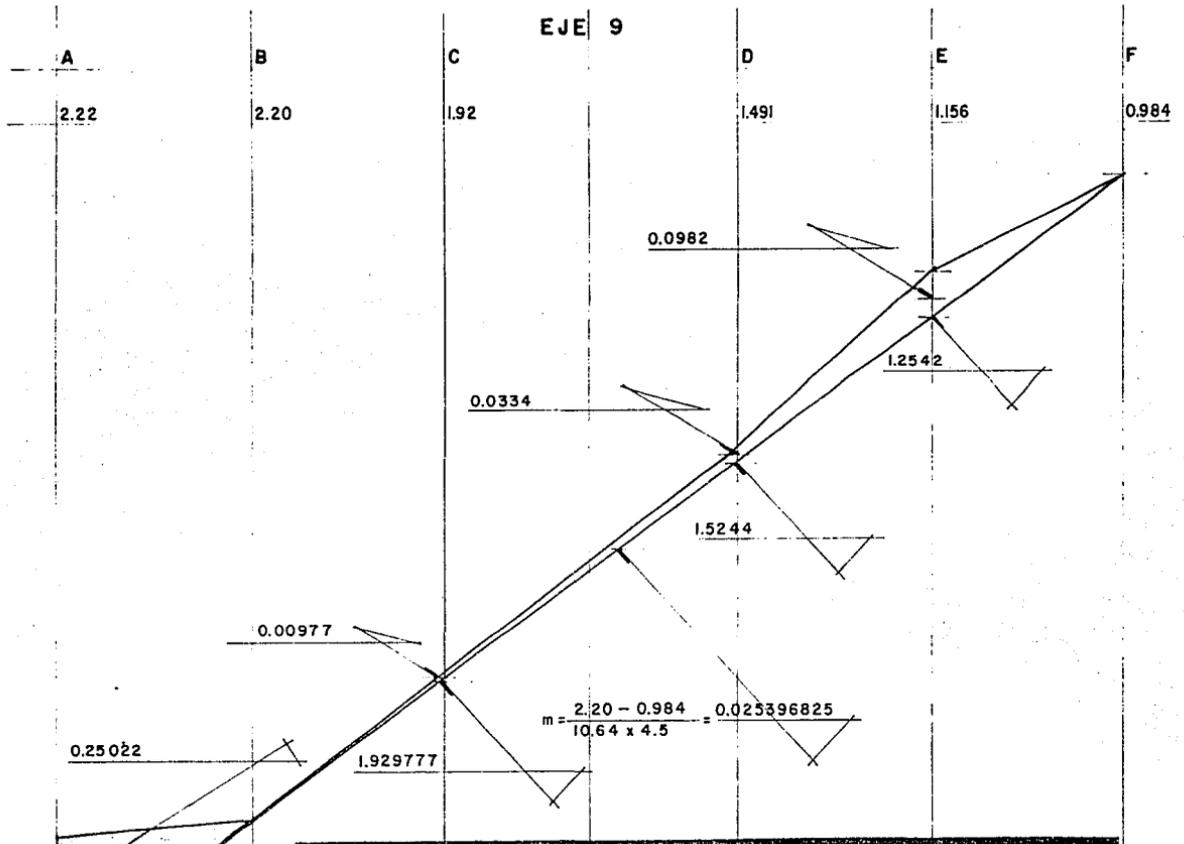


proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

EJE 9



proyecto :
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

EJE 10

A

B

C

D

E

F

2.37

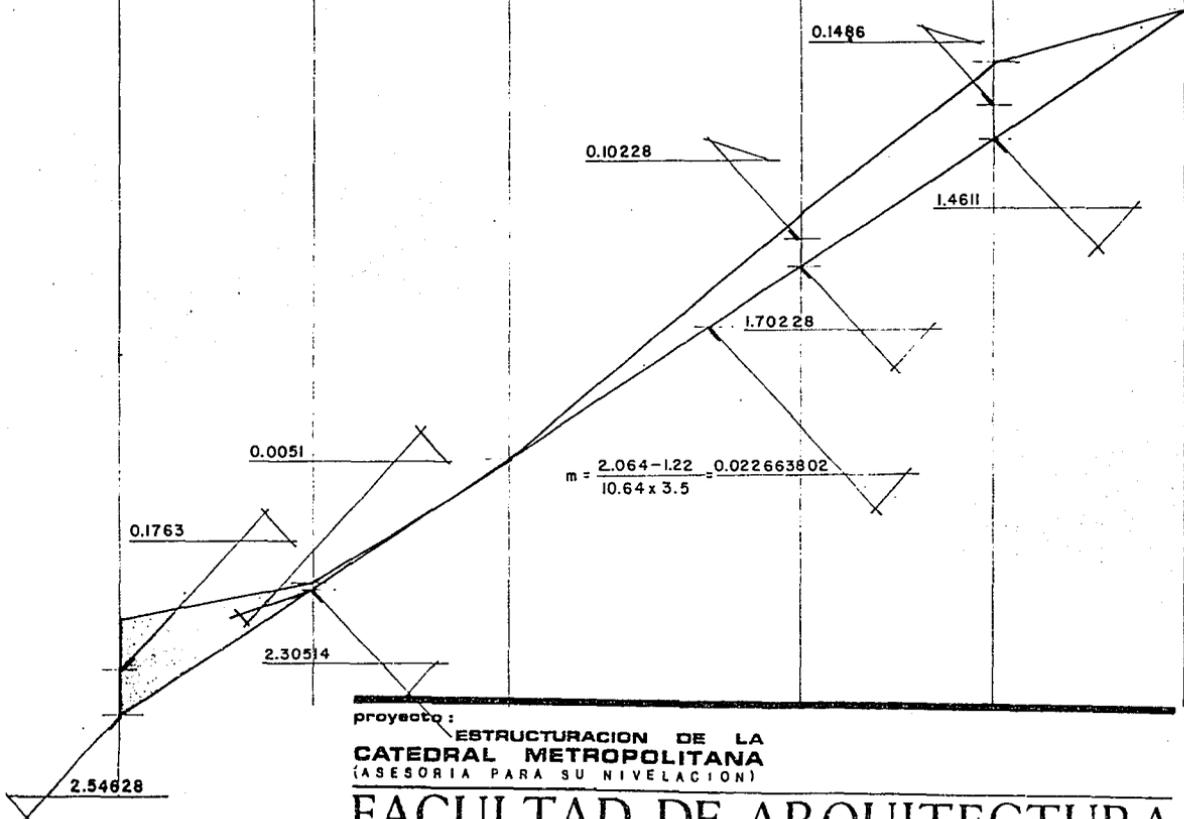
2.30

2.064

1.60

1.3125

1.22



$$m = \frac{2.064 - 1.22}{10.64 \times 3.5} = 0.022663802$$

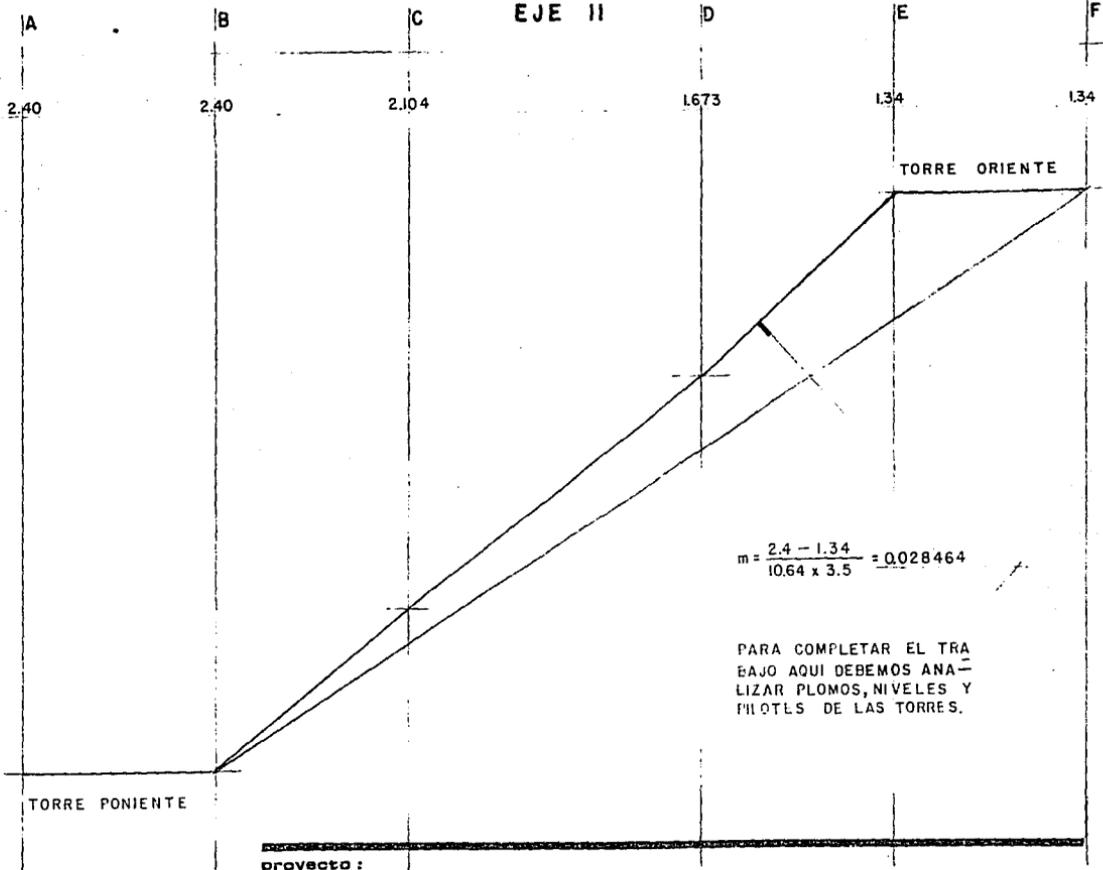
proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM

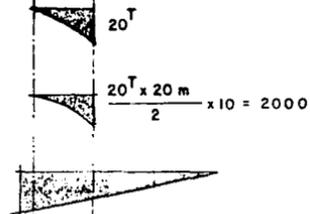
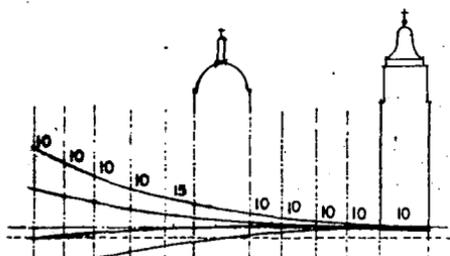
EJE II



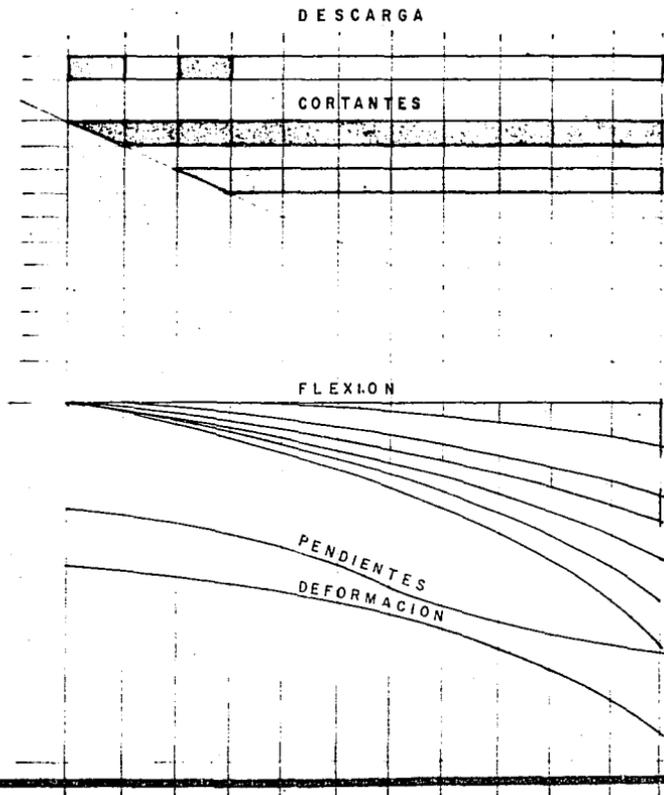
PARA COMPLETAR EL TRABAJO AQUI DEBEMOS ANILIZAR PLOMOS, NIVELES Y PIQUETES DE LAS TORRES.

proyecto: ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM



SECUENCIA PROGRESIVA
DE CORRECCION



proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ABSORBIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

2	A	B	C	D	E	F
						m
3	0	0.171	0.332	0.291	0.18	0 0.0072 (-)
	0.081	0.24	0.284	0.195	0.07	
4	0	0.153	0.304	0.209	0.10	0 0.0038 (-)
	0.0665	0.194	0.2245	0.0455		
5	0	0.13	0.207	0.178	0.082	0 0.0018
	0.04675	0.15025	0.17045	0.1205	0.040975	
6	0	0.074	0.207	0.15	0.072	0 0.0081
	0.039	0.0791	0.1126	0.0975	0.0455	
7	0.082	0	0.0354	0.058	0.11	0 0.0168
	0.10075	0.0331	0.0421	0.09	0.05675	
8	0.224	0.097	0	0.075	0.17	0 0.0223
	0.14275	0.02675	0.0295	0.080925	0.0538	
9	0.25	0	0.01	0.033	0.0982	0 0.0254
	0.10775	0.00375	0.03625	0.0938	0.06005	
10	0.176	0.005	0	0.102	0.149	0 0.0227
	0.04525	0.00125	0.0255	0.06279	0.03725	
11	0	0	0	0	0	0 0.0285
12	0	0	0	0	0	0

CATEDRAL DE S.

CUERDAS

REGISTRO DEL CAMBIO DE PENDIENTE TRANSVERSAL

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA (ASESORIA PARA SU NIVELACION)**

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

Relativo a la traducción a esfuerzos de las deformaciones se pueden mencionar los índices de precisión en plomadas y tensores y la instrumentación que se ha solicitado a "METRONIC".

En Catedral las plomadas en las impostas de la nave procesional estan a 10 mts. y se podrán leer - variaciones de 1/2 mm. lo que significa 1/20,000.

Los tensores de San Antonio están con longitud de 10 mts. y con 1/2 mm. de lectura, otra vez

$$\frac{0.5}{10000} = \frac{1}{20000} = 0.00005 \quad \frac{.21000}{2100000} = \frac{1}{1000}$$

Pero en Catedral, la catenaria hará dudosa la lectura de la elongación, por eso queremos leer el - cambio de esfuerzo para precisar mejor, y ésto - es lo que se le pide a "METRONIC".

Las observaciones y lecturas, que en forma cotidiana tendrán que llevarse a cabo en todo el Monumento, serán realizadas por un personal idóneo que - estará radicado en la Catedral, de preferencia en el taller de proyectos, ubicado en el Museo anexo a la Catedral.

Estos datos serán ordenados y compilados, para - que el cuerpo de asesores pueda interpretarlos y

disponer lo conducente, en el proceso correctivo de que se ha tratado anteriormente.

Toda la información deberá ser consignada en documentos claros y objetivos, para integrarse a los manuales de mantenimiento que quedará en la Catedral para facilitar los trabajos futuros de conservación del Monumento.

APUNTALAMIENTO

El apuntalamiento tubular que se instala en Catedral, multiplica el número de apoyos y su regimen de trabajo es fundamentalmente - a compresión. Al medir sus deformaciones, se volverá una labor imposible separar la rigidez que aporta la contratrabe y la que - aporta el arco ante un cambio de carga. Ade mes, para las fuerzas horizontales se presentan otra vez una multitud de piezas a medir.

Por todo ello, se pidió una estructura clásica contemporánea cuyo comportamiento se - conoce, cuyo análisis se domina, cuyo mate- tial cumple con las premisas de proyecto y análisis, para que a través de la instrumen- tación para medir sus esfuerzos, se puedan derivar las cargas que el arco al que apun- tala le aplica, y así conocer el efecto de subexcavación sobre esa zona.

La zona elegida es la más cercana al punto de máxima velocidad de hundimiento y también aquí es donde la rigidez local de las con- trabes ha conservado su geometría, aunque

TIMPANO DE MAMPOST. 1.4 M. ESPESOR
 O PESO VOL. 1.5 T/M³. ARQUIVERTA
 DE CHILUCA SECC. 0.718 M² PESO
 2 T/M³ CARGA VIVA 0.15 T/M²

CATEDRAL METROPOLITANA
 NAVES PROCESSIONALES (BOVEDAS DE PLATILLO)
 DETERMINACION DE CARGAS S/ARCO
 FDO. LOPEZ CARMONA 24/11/1980

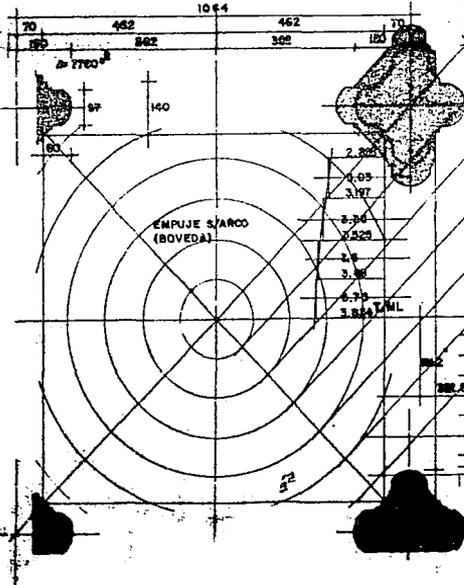
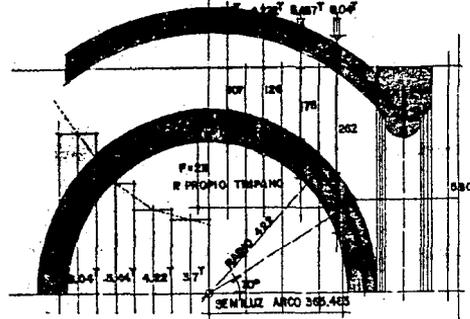
CARGAS	
7.8	7.7
0	7.5
0	3.78
0	3.78
SEMITA Y 1/2	
H=	27.0712 TM
S.R.H	27.0482 T
0	0.080
0	0.186
0	0.626
EMPUJE HORIZONTAL BOVEDA N.º 7	
3.78	3.8
0	3.78
0	1.88
0	1.88
ANCHO CORRIDAS VECTORIAL	
4.185	4.185
1.82	1.82
63.53°	63.53°
0.0697	0.0697
H=	27.05
	2.296
0	0.098
0	0.0695

2 BOVEDAS + 1 TIMPANO

20.7	18.7	12.9	11.2
80.9	31.8	36.1	8.2
0+V			

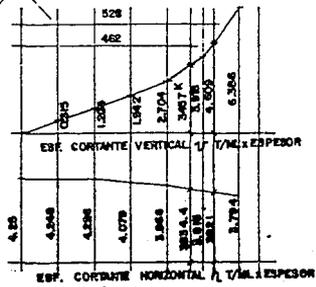
1 BOVEDA + 1 TIMPANO

28.7	7.7	10.8	14
0	25	8.2	20.6
0+V			



CARGA S/ARCO (1 BOVEDA)

3.48	T/M ²
3.78	4081.5
4.34	4610
4.83	4803
5.37	5180
6.00	6388
6.67	8617



LA CARGA UNITARIA SE OBTIVO MULTIPLICANDO EL ESPESOR MEDIO POR 1.5 T/M³ + 0.15 T/M² C. VIVA EL PESO DE CADA ANILLO SE CALCULO SACANDO EL AREA EN PROYCC. HORIZONTAL POR LA CARGA UNITARIA. LA FUERZA CORTANTE Y SE OBTIENE ACUMULANDO EL PESO DE LOS ANILLOS Y EL ESF. CORTANTE SE OBTIENE DE DIVIDIR LA FUERZA ACUMULADA ENTRE EL PERIMETRO EN QUE ACTUA.

LA COMPONENTE HORIZONTAL H SE CALCULA PARA HACER QUE LA FUERZA FLUYA TG AL CIRCULO.

ASI SE DALE DEL ARCO QUE ESTA ABAJO DE LA BOVEDA, SI LO PENSAMOS AL CENTRO DE LA BOVEDA NO SE BALDRA DE ELLA.

ANALISIS DE CARGAS PARA EL DISEÑO DEL ANDAMIAJE.

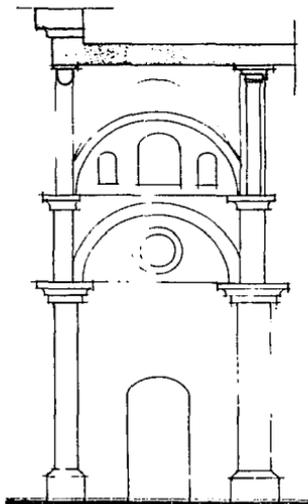
el desplazamiento relativo al total del edificio es muy grande, por lo que hace confiable la respuesta de empotramiento que necesita, además de permitir disociar la acción superior de la inferior, al permitir soportar toda la carga sobre dos postes extremos.

Mediante el empleo de pares de plomadas en los elementos arquitectónicos verticales se determinarán fenómenos como desplomos, torsión y flambeo, de la siguiente manera:

Considerando que arquitectónicamente la proyección del ábaco de los pilares y medias -muestras corresponde al perímetro del basamento, el análisis de las diferencias de orientación y posición de ambos elementos -determinará cuantitativamente las tres variables mencionadas.

CONSIDERACIONES

Se tomará como referencia básica, la alineación que determinan los basamentos de los elementos arquitectónicos, por ser ésta una clara trama ortogonal orientada sensiblemente según los puntos cardinales.



LA FUERZA MAXIMA SOBRE UNA PIEZA
ES 25540 Kg.

TIMPANOS

$$R = 5.00 \text{ m} \quad A = 39.27 \text{ m}^2 (3.6 \times 2.6) - (2 \times 2.6) - (9.36 + 5.20) = 24.71 \text{ m}^2$$

$$\text{ENJUTAS} = 60 \text{ m}^2 - 39.27 = 20 \text{ m}^2$$

$$\text{SOLO SON TOTAL} = 44.7 \text{ m}^2$$

PORQUE LOS ARCOS DE DESCARGA POR EL EXTERIOR SOPORTAN CORNISAS Y BALAUSTRADAS EN EL SISTEMA QUE CONCORRE @ LOS BOTARECES.

$$44.7 \text{ m} \times 0.84 \times 1.8 \text{ T/m}^3 = 67.6 \text{ T}$$

LOS ARCOS ANALIZADOS ANTES SON CAPACES DE

$$57 \text{ TON. (28.7} \times 2)$$

Y LOS MUROS SON DE TEZONTLE Y A LOS TUBOS LES QUEDAN (1477-1130) EL 23.5 % DE RESERVA. LUEGO

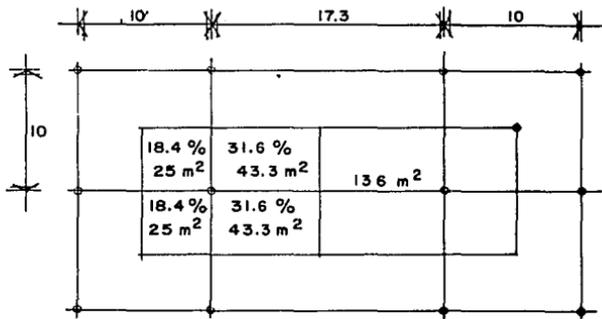
$$57.4 \times 1.235 = 70.88 \text{ T} > 67.6 \text{ T}$$

LUEGO EL DOBLE SISTEMA DE ARCOS ES CAPAZ.

LAS NAVES DEL CRUCERO DEBEN TOMAR LAS DEFORMACIONES

SEGUN ESTUDIO DEL ING. VICENTE GUERRERO Y GAMA SON 409.76 DE LOS CUALES EL 18.4 % ES 75.26 = 37.6 T C/U Y C/2

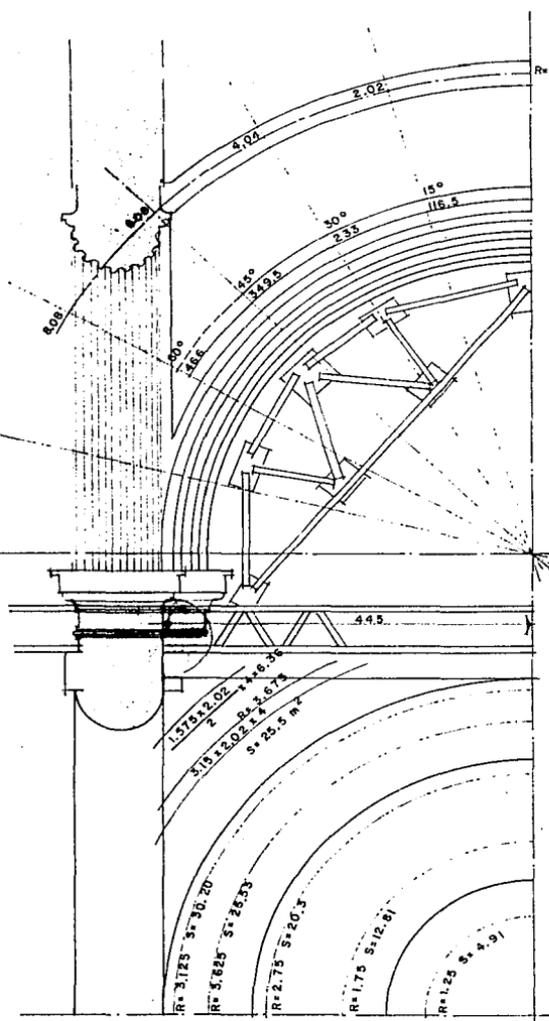
ARCOS DEBEN SOPORTAR



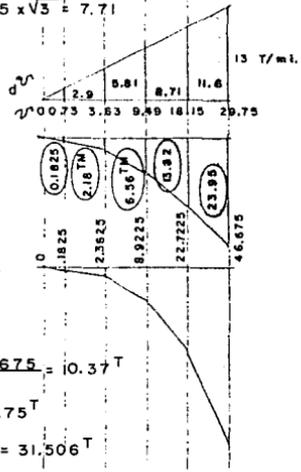
proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



$$R = 4.45 \times \sqrt{5} = 7.71$$



$$H = 46.675 = 10.37^T$$

$$V = 29.75^T$$

$$P_{max} = 31.506^T$$

$R = 3.175 \quad S = 40.30$
 ESPESOR x SUP. BOVEDA = $113.71m^2 \times 0.42^c = 47.76 m^3$
 JARSANTE = $\frac{2.12^c \times 3.75}{3} = 2.65 m^2$
 (4) TOTAL = $50.41 m^3$

ARQUIVOLTAS (2) $4.2 \times 2T \times (2) =$
 $= \frac{52.77 \times 1.32}{2} = 35 m^3$

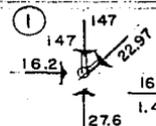
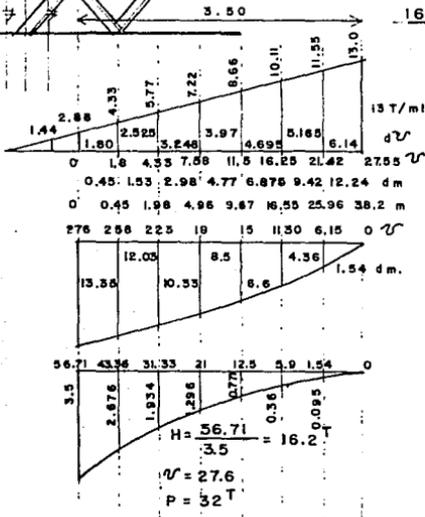
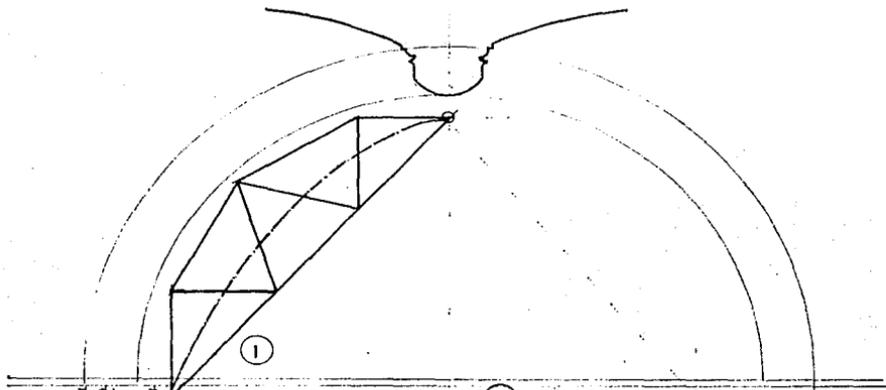
$R = 2.52 \quad S = 31.98$
 RELLENO $\frac{4.45^2 \times 3.5 \times (4)}{2 \times 3} = 69 m^3$

PESO TOTAL BOVEDA = $50.4 \times 1.8 = 90.7^T$
 ARCOS = $35 m^3 \times 2 = 70^T$
 RELLENO = $69 m^3 \times 1 = 69^T$
 $\frac{229.7^T}{2} \approx 230^T$

$R = 1.75 \quad S = 9.62 m^2 \quad CARGA \ S/SEMIARCO \ 28.75^T$
 COMO $\Delta = \frac{28.75 \times 2}{4.45} = 12.92 \text{ TON./ML.}$

proyecto :
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ALGORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



COMPRESION

$$\frac{16.2 \times 1.47}{1.47 \times \sqrt{0.5}} = 22.91$$

CORTANTE S/PASADOR 32^T @ DOBLE SECCION
 $R = 3/4$ $D = 1/2$

PLACA POR APLASTAMIENTO

$$\frac{32000}{1260 \times 3.81} = 6.66/2 = 3.33 \text{ cm}$$

LONG. DE PANDEO $1.47 \times \sqrt{2} \times 0.6 = 124 \text{ cm}$

$$\text{AREA} = \frac{3200}{1000} = 32^C$$

C/PARED DE 7mm. 45.7143^C DE PERIMETRO

DIAM. = 14.55cm. + 0.7 = 15.25 cm. = 6"

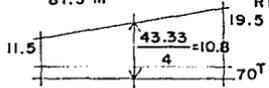
DIAGRAMA ALTERNATIVO

$$\frac{40.3 + 32.0 + 9.6}{81.9 \text{ m}^2}$$

$$\frac{81.9 + 25.4}{107.3} = 91^T \text{ ARCOS } 35$$

$$\frac{91^T + 69^T}{160^T}$$

CLAVE @ 2.25



Proyecto : ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

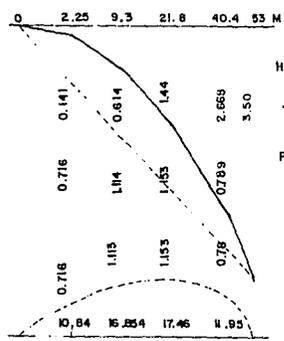
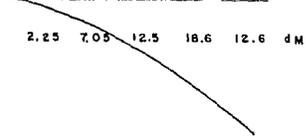
91 $w = 229.7 = 2.9$
 $\sigma = \frac{229.7}{8} = 28.7 \text{ T S/EL SEMIARCO}$

16 17.22 19.66 22.11 24.55 26.38

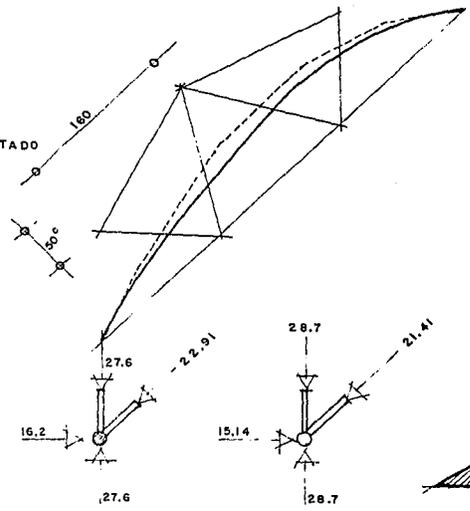
27 TOTAL = 120 T

3.98	4.56	5.09	5.60	6.07	dV
0	3.36	8.48	13.59	19.22	25.5 V
0	4.5	9.6	15.4	21.8	28.7 V

CORTANTE AJUSTADO



$H = \frac{53}{3.5} = 15.143 \text{ T}$
 $V = 28.7$
 $P = 52.46 \text{ T}$



AHORA LA FLEXION LOCAL OBTENIDA DE LA Y MON. DESDE LA CUERDA

$d = 1.85 \text{ m.}$
 $\frac{M}{T} = \frac{1745000}{185} = \bar{c} = \bar{T} = 5437.8 \text{ K}$

$\frac{3438}{180} \times \sqrt{50^2 + 180^2} = 24540 \text{ K}$

65
 SECCION PARA 24540 K
 $A_1 = \frac{24540}{1260} = 19.48 \text{ C}^2$

$L = 1.75 \text{ m}$
 LONG. DE PANDEO = $175 \times 0.6 = 105$
 - FLEXION LOCAL
 $P = 23.33 \text{ T/m}^2 \times 7.65 \text{ m} = 38.5 \text{ T}$
 $M = \frac{38.5 \times 1.65}{12} = 5.29348 \text{ TN}$

proyecto:
ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

En cada basamento y conforme a la correspondencia arquitectónica de ubicación de la plomada, ésta contará con su sistema de referencia individual.

Cada plomada constará de un basamento metálico de protección, al que se transportarán los ejes coordenados para realizar lecturas de desplazamientos.

Procedimientos para la obtención de información.

DESPLOMOS:

Con base a la salida (volado) de la varilla y el registro, de la plomada, se obtendrán analíticamente los desplomos en X, Y y resultante, con su dirección correspondiente.

TORSION:

El extremo de las varillas (soporte de plomadas) ubicadas en los ábacos de los capiteles, marcarán una dirección, la que comparada con la del basamento correspondiente indicará la torsión que sufre el elemento vertical en observación.

FLAMBEO:

La medición de distancias horizontales desde el hilo de la plomada y al elemento tratado, permitirán detectar las inflexiones sufridas.

Se han relacionado previamente sitios en los que se deberán colocar plomadas, lo cual se podrá observar en el plano correspondiente.

El mantenimiento después de la intervención inicial, para corregir los desplomos, será facilitado por un sistema de niveles de agua que indicará permanentemente, las deformaciones que el hundimiento general del suelo induzca en el edificio y por eso permitirá corregir periódicamente el fenómeno, para evitar que se acumule, usando las instalaciones que se usaron en la etapa inicial.

Los límites de deformaciones tolerables, quedaron establecidos en la etapa previa; así como métodos e información de procedimientos, para cuantificar primero y realizar después, las correcciones.

Todo ello consignado en un manual de procedimientos para mantener al monumento.

Relativo al sistema de niveles de agua, éste no es otra cosa que unos niveles de maniguera fijos y permanentes en las criptas de la Catedral. Decimos que es un sistema, para evitar pérdidas piezométricas por distancia y por codos en un edificio tan extenso, y para poder escalonar el sistema que debe medir desniveles de 2.4 mts. inicialmente, que aunque corregidos y aliviados al máximo siguen sin embargo, siendo difíciles de alojar en un local de 2.8 mts. de altura interior.

Por último como la cripta está ocupada y en uso permanente, alojar convenientemente el sistema aconseja dividirlo en un mínimo de tres subsistemas, pero quizá sean de seis a ocho segmentos, necesarios para poder relacionar el Sagrario y la Catedral en un solo sistema.

Detección de variaciones de nivel y deformación horizontal del edificio.

Los puntos de registro se ubicarán sobre el extrados de la bóveda principal en las partes correspondientes a los ejes transversales y al centro de cada tramo (entre ejes) en correspondencia con el centro de los lunetos.

Para la implantación de los puntos de registro, se utilizarán dispositivos que consistirán en lo siguiente:

PARA LOS EJES TRANSVERSALES:

Por coincidir estos ejes con los arcos formeros de la nave, se registrará el comportamiento del arco como de la bóveda en cinco puntos, los que permitirán un alto grado de comprensión de las deformaciones que se llegarán a producir.- El dispositivo para cada punto consiste en hincar en el seno de la bóveda un tubo (galvanizado o de FO. FO.) - de dos pulgadas de diámetro como mínimo, - hasta el extrados del arco formero y veinte centímetros fuera del extrados de la bóveda, roscado y con tapa removible para evitar entrada de agua.

Los registros de nivelaciones y distancias de las cabezas de estos tubos, menos la constante saliente, determinarán el perfil del extrados de la nave; enseguida, mediante un flexómetro (sonda) se registrará la distancia al extrados del arco, obteniendo parcialmente su geometría y sus posibles variaciones. La luz de los arcos anivel de impostas se medirá con distanciómetro, obteniéndose con esto, la totalidad de la sección del arco.

De los remates de los estribos de cada arco, se llevará un registro de alimetría y planimetría igualmente.

PARA LOS ENTRE-EJES (LUNETOS)

Se hincarán varillas corrugadas de 5/8" de diámetro en el seno de la bóveda hasta una profundidad de 45 cms., quedando un tramo de 10cms. fuera del extrados, el cual será protegido mediante una camisa a base del tubo empleado en el otro caso, según detalle en el plano.

PRUEBAS DE CARGA EN LAS TORRES DE APUNTALAMIENTO TUBULAR.

La prueba de aceptación del trabajo de apuntalamiento, debe satisfacer las condiciones siguientes:

(Si durante el desarrollo de la prueba aparecen anomalías, deberá suspenderse el trabajo y comunicar lo sucedido al director de la obra, después de corregirlas, se reiniciará la prueba).

PROCEDIMIENTO:

- A) Precarga hasta 70% F_y , para hacer perceptibles los acortamientos y acomodos iniciales del sistema, que deberá ser ajustados para volver a cumplir con la geometría de proyecto, operando los gatos.
- B) Una segunda carga al 70% F_y para verificar el ajuste inicial y aun completarlo si fuera necesario. Una vez alcanzado el nivel de carga, nuevamente se revisará la estructura y si no hay anomalías, se descargará después de dos horas de inspeccionada.

C) Se repetirá la prueba B) y se mantendrá car
gada durante 24 horas, manteniendo el nivel
de carga. Si al cabo de ese tiempo no hay
anomalías, el trabajo será aceptable.

Se deben registrar en bitácora todas y cada
una de las pruebas. La carga de prueba se-
rá de 133 Ton. a cada torre, que equivale a
8875 K a cada tubo y representa 8318 k. so-
bre los cables del polipasto de prueba. -
Las cargas se registrará mediante galgas de
deformación (Strain Gages) en el inicio y -
al final del cable del polipasto, que se es
tifica para la prueba.

ANEXOS:

I.	San Antonio Abad	1
II.	Capilla de Animas, anexa a la Catedral Metropolitana	43
III.	Resumen por la Dirección de las Obras de la Catedral Metropolitana y Sagrario Anexo.	69
IV.	Reuniones celebradas con el gabinete de asesores.	77
V.	Antecedentes y participación	78

Proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

ANEXO 1

ENSAYO EN EL TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD

Según lo acordado en la reunión de expertos, realizada en la Subsecretaría de Desarrollo Urbano - el 16 de febrero de 1990, en que se recomendó una experimentación previa para los trabajos de Subex cabación que se realizarán como corrección a los deterioros de la Catedral, se pensó en que el modelo para ensayar las técnicas idóneas, sería el Templo de San Antonio Abad.

En este pequeño edificio, que estaba restaurado - desde 1985 y desocupado, concurren aspectos similares a la estructura de la Catedral (bóveda de cañón corrido con lunetos, estructura de mamposte ría, subsuelo muy similar, y un desplomo de 35cms. hacia el sur). Por estas razones fue recomendado por la Comisión de Asesores como obra inducida de la Catedral, para instrumentarlo como modelo de laboratorio. El Director General ordenó precisar los aspectos contractuales y verificar los planos constructivos para proceder de inmediato (26 de febrero de 1990), en vista de la urgencia de las obras de la Catedral.

Por lo anterior, a partir de marzo se empezaron - los sondeos del subsuelo y los apuntalamientos -

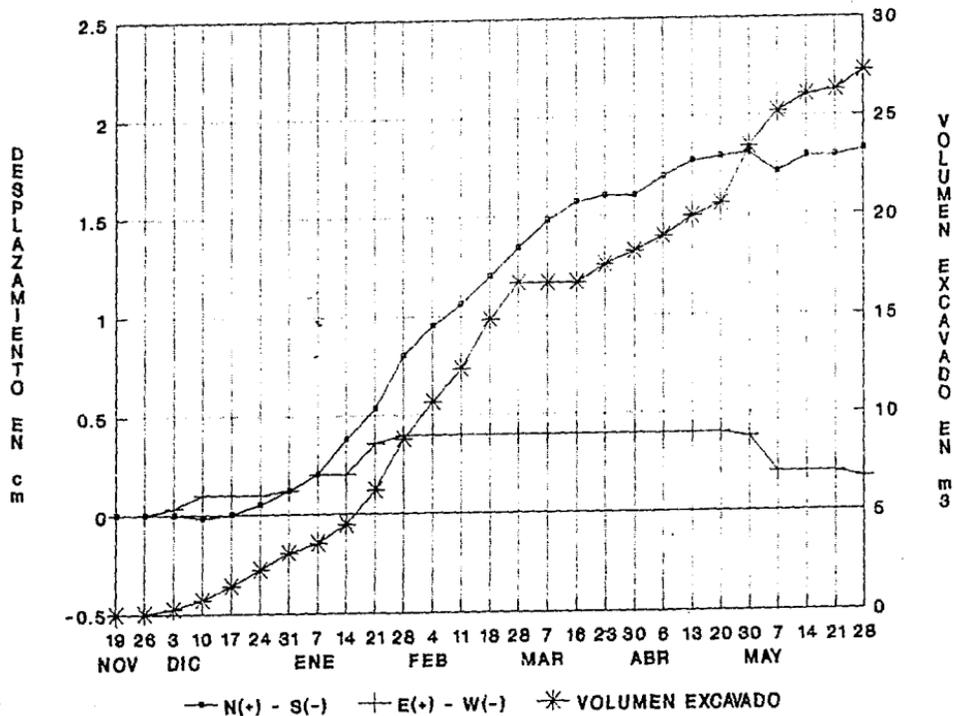
del edificio. En el mes de junio se iniciaron las tres lumbreras colocadas al lado norte, desde donde se harían las subexcavaciones y se terminaron en septiembre, lo cual permitió empezar la operación en el mes de noviembre.

Para enero de 1991 el edificio se había movido como cuerpo rígido y además de los datos técnicos registrados, se decidió la operación de frenado del movimiento, para posteriormente iniciar los giros de torsión.

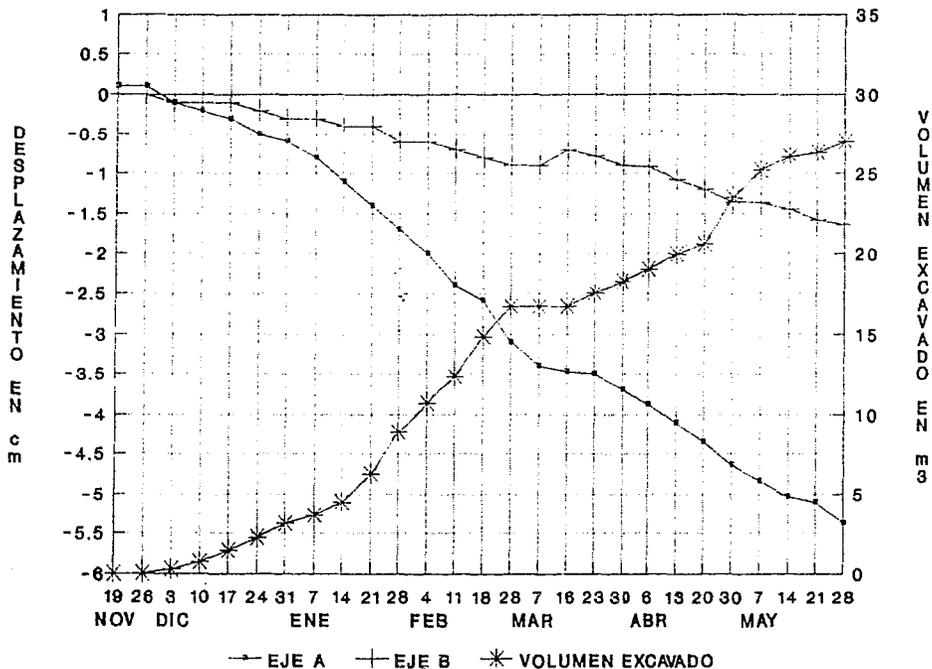
En resumen se ha llevado a cabo una operación que arroja resultados favorables y una copiosa información técnica, que resultará muy útil para su aplicación en la Catedral.

A continuación se anexa la representación gráfica de los resultados de la instrumentación existente elaborada por TGC Geotecnia, S.A., en San Antonio Abad, correspondiente al período comprendido entre el 19 de noviembre de 1990 y el 28 de mayo de 1991.

TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD
 VOLUMEN SUBEXCAVADO vs. DESPLOSOS
 EJE B

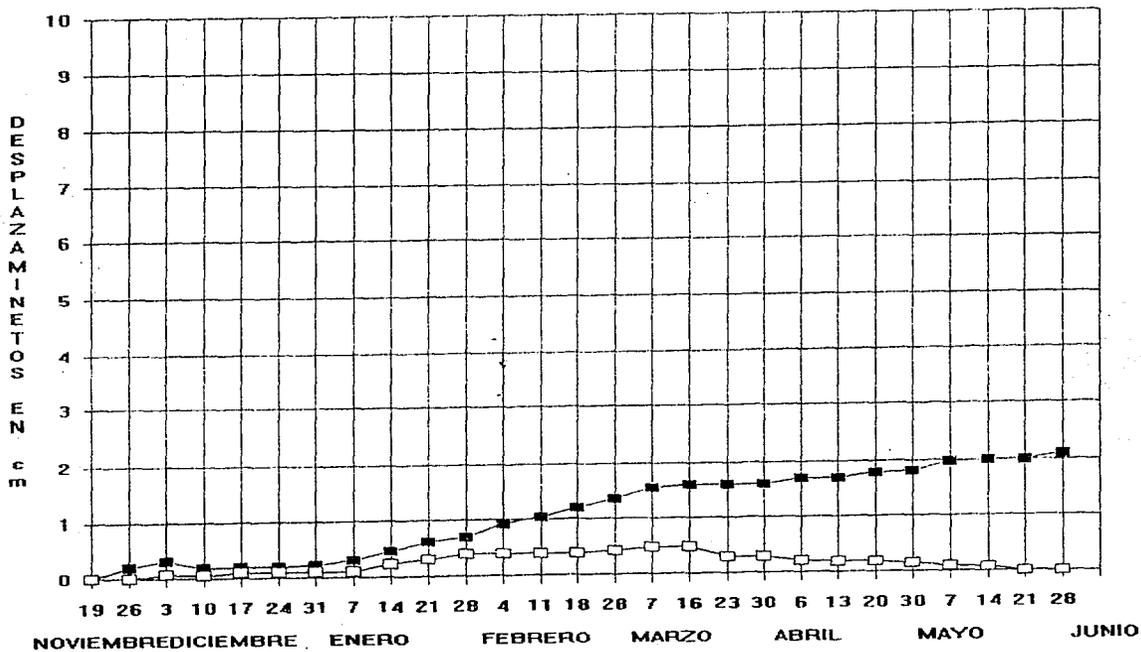


TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD
VOLUMEN SUBEXCAVADO vs. DESPLAZAMIENTO
VERTICAL



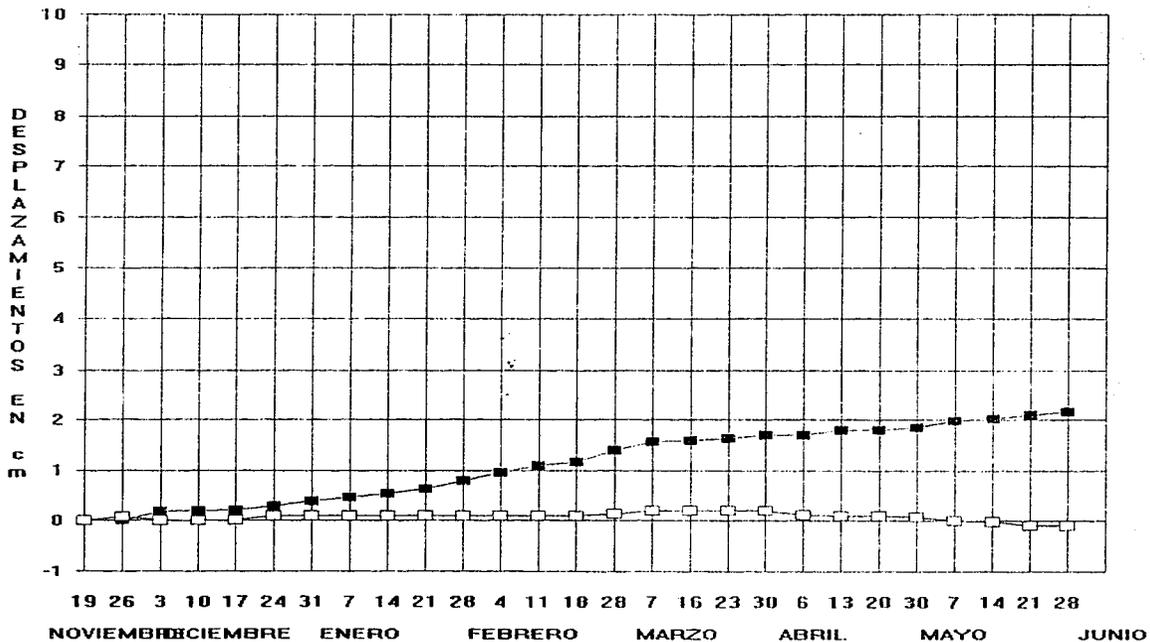
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOMOS MEDIOS COLUMNA 1-A

■ N(+) · S(-) □ E(+) · W(-)



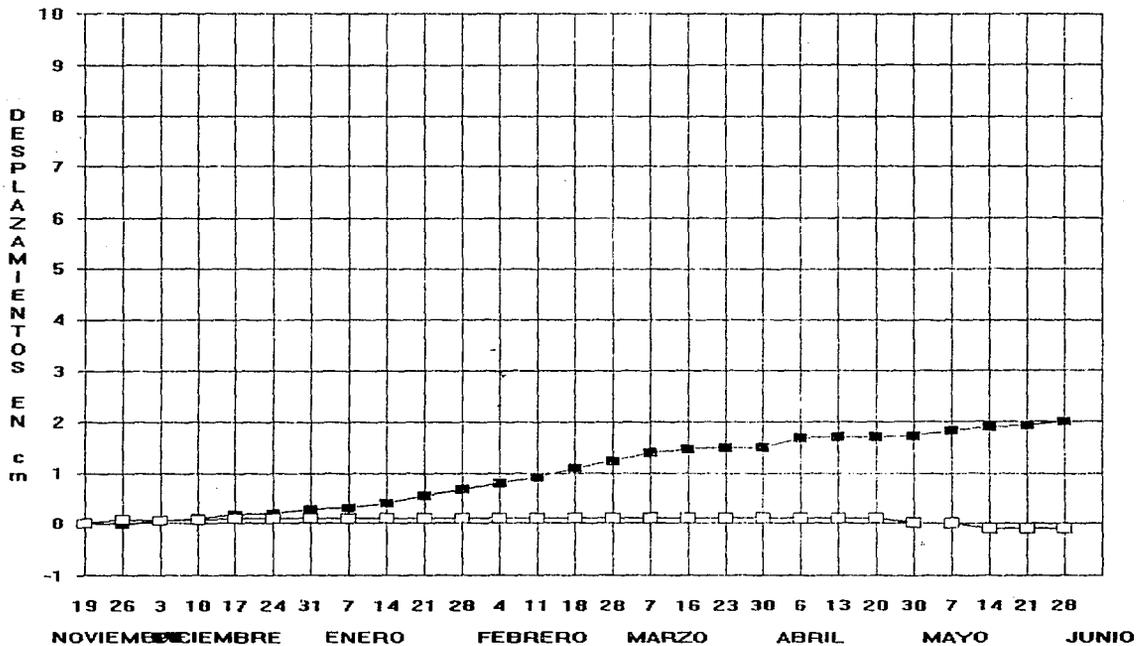
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOSOS MEDIOS COLUMNA 2-A

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



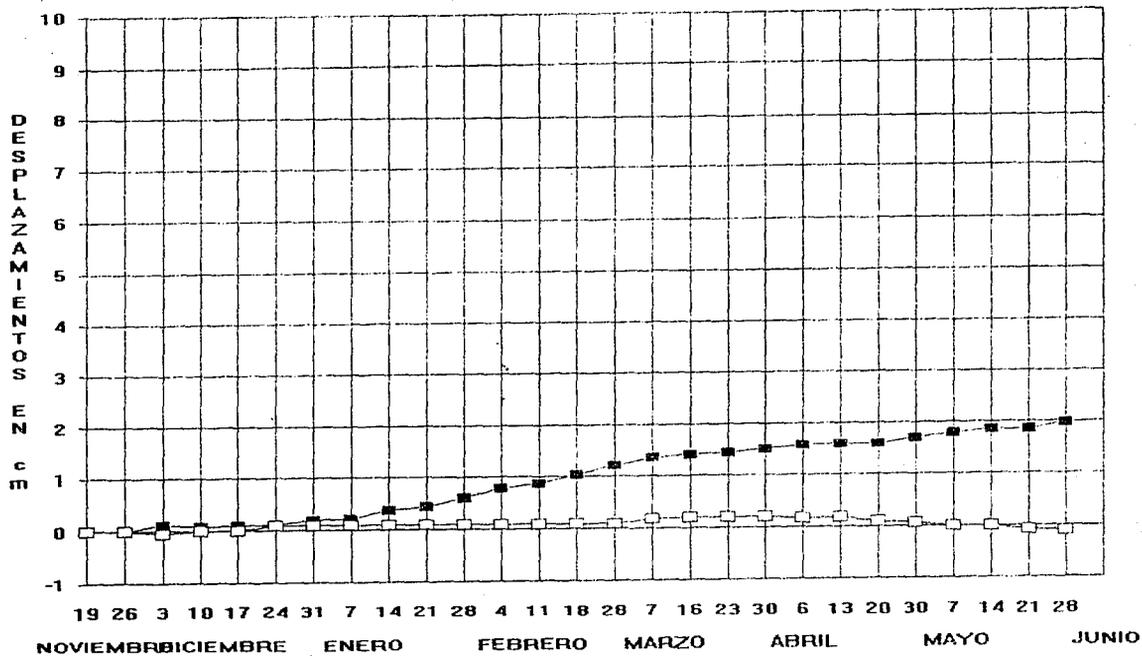
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 3-A

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



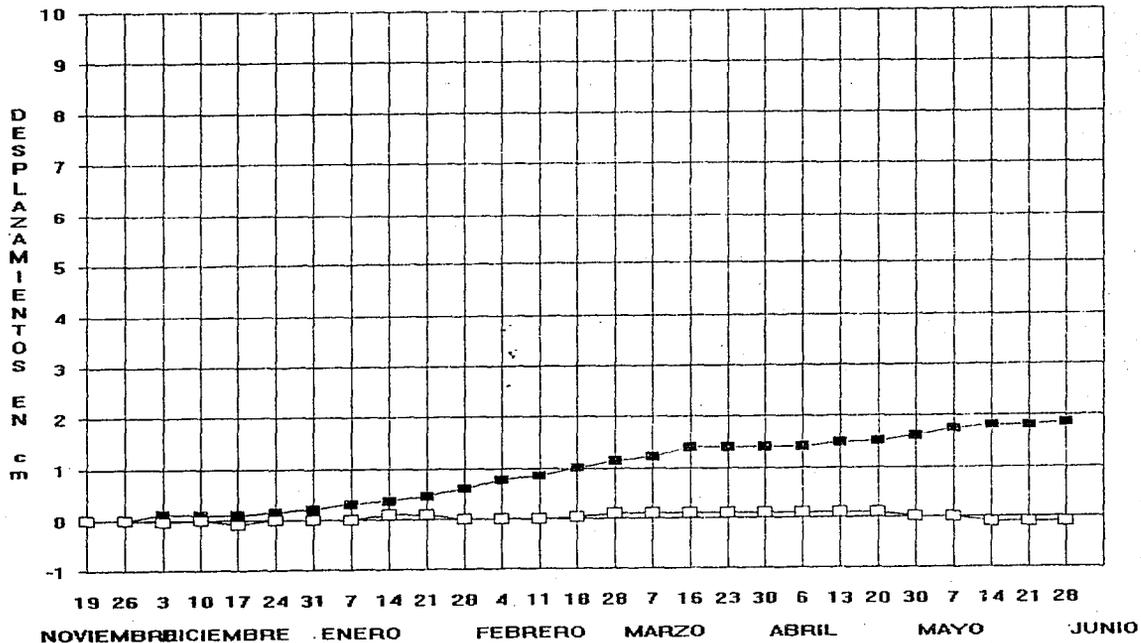
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOSOS MEDIOS COLUMNA 4-A

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



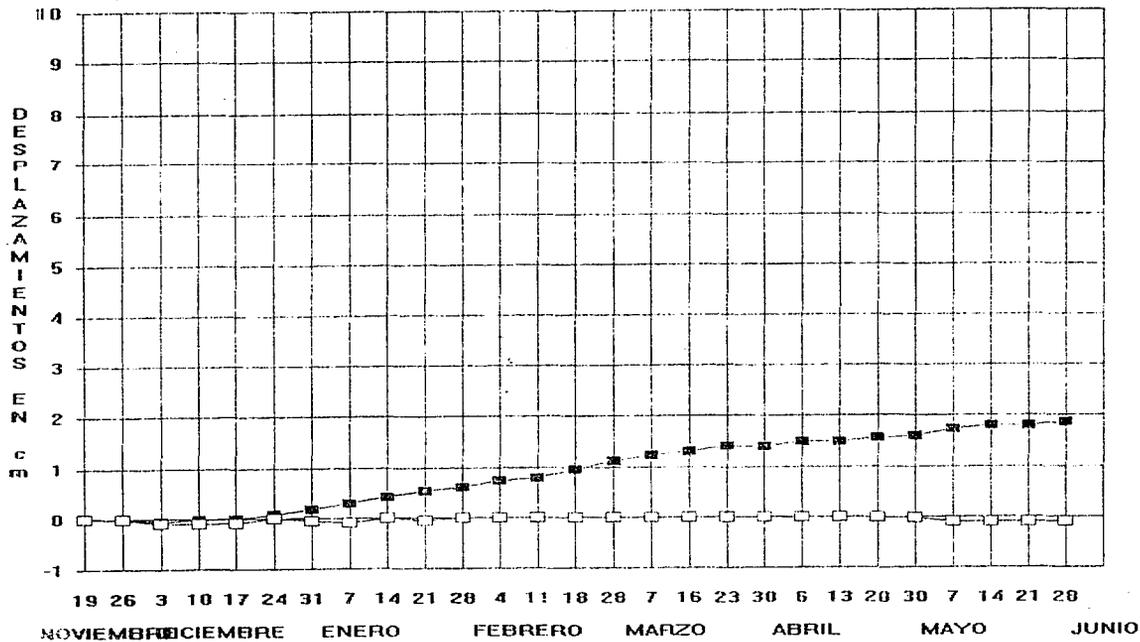
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 5-A

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



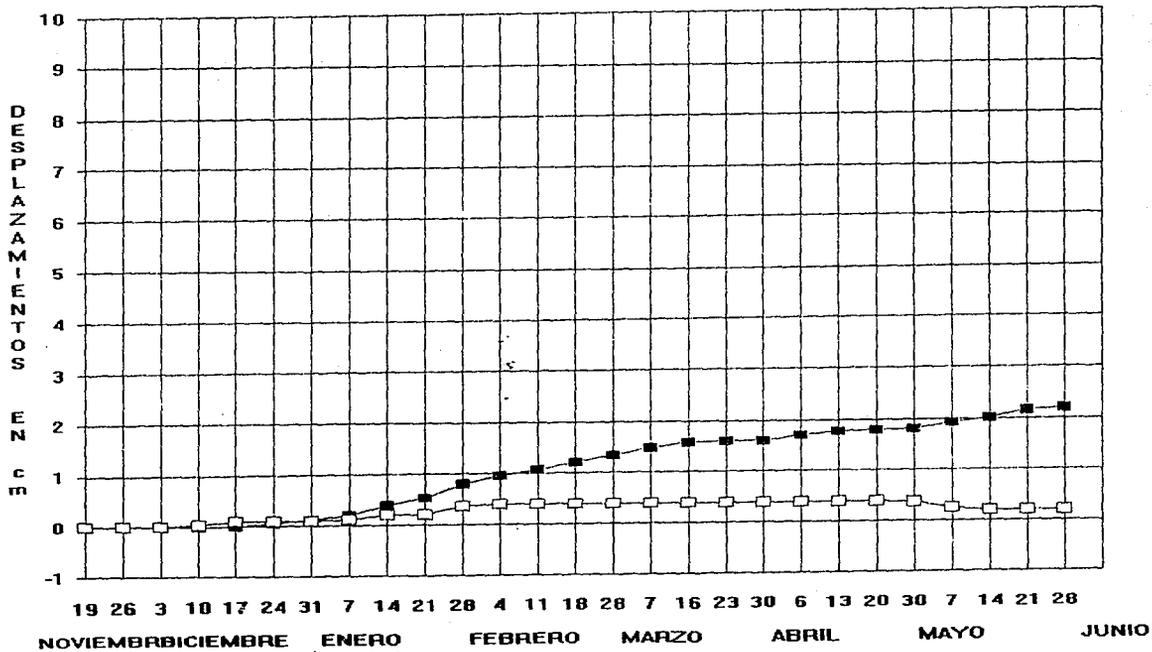
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOSOS MEDIOS COLUMNA 6-A

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



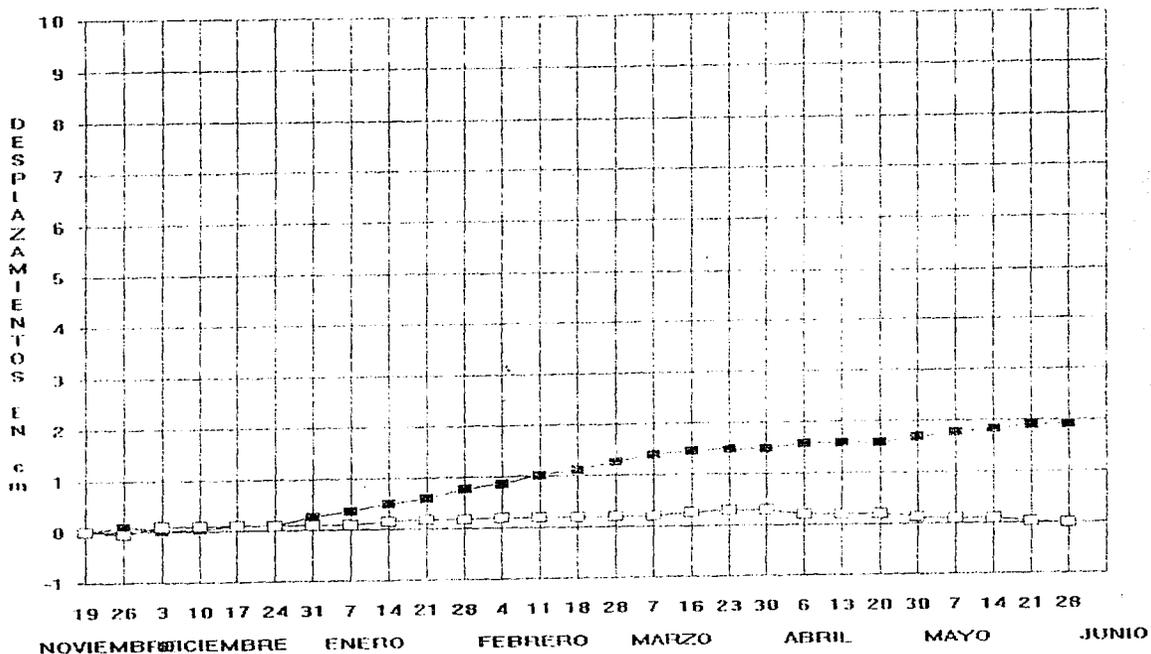
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 7-A

■ $N(t) - S(t)$ □ $E(t) - W(t)$



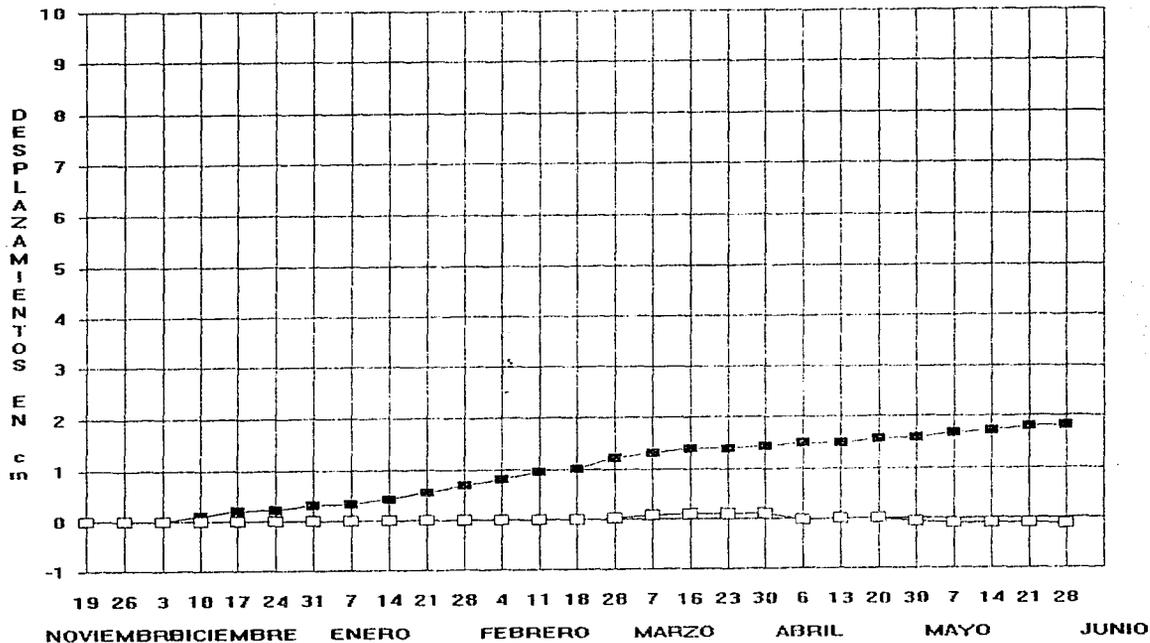
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 1-B

■ N(+)-S(-) □ E(+)-W(-)



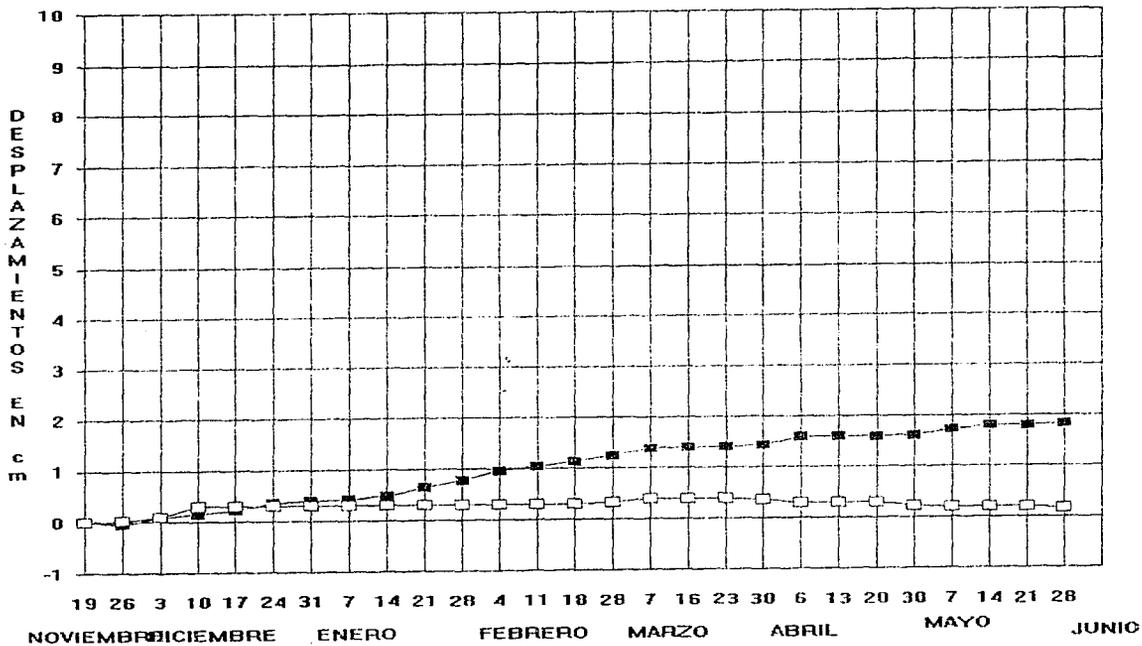
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOMOS MEDIOS COLUMNA 2-B

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



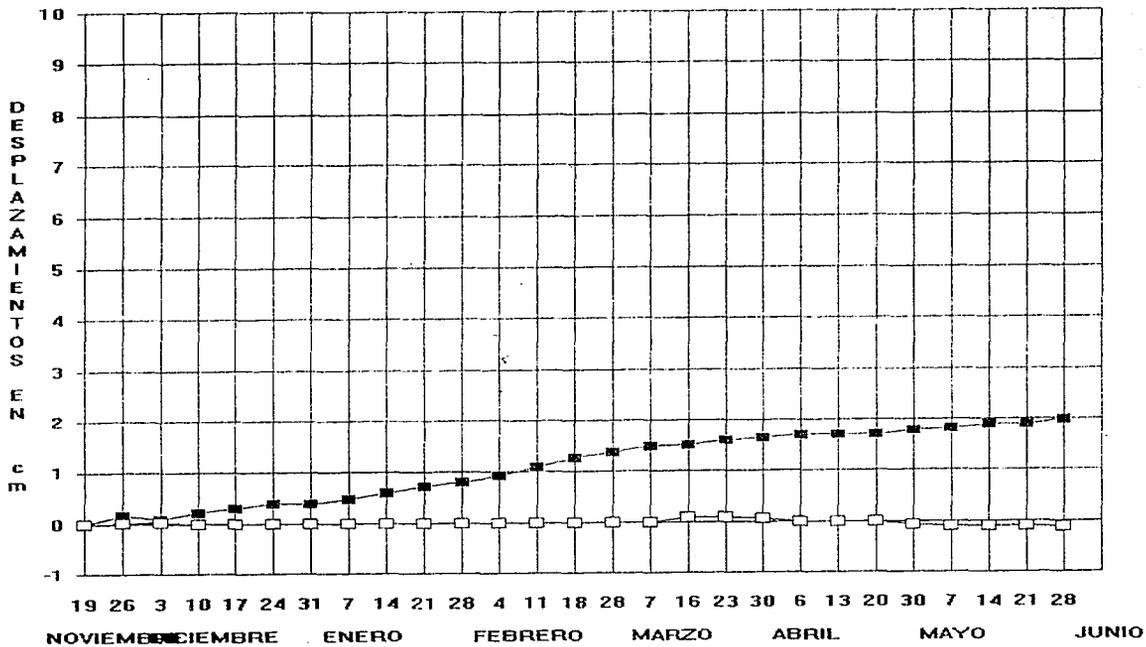
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOMOS MEDIOS COLUMNA 4-B

■ N(+)-S(-) □ E(+)-W(-)



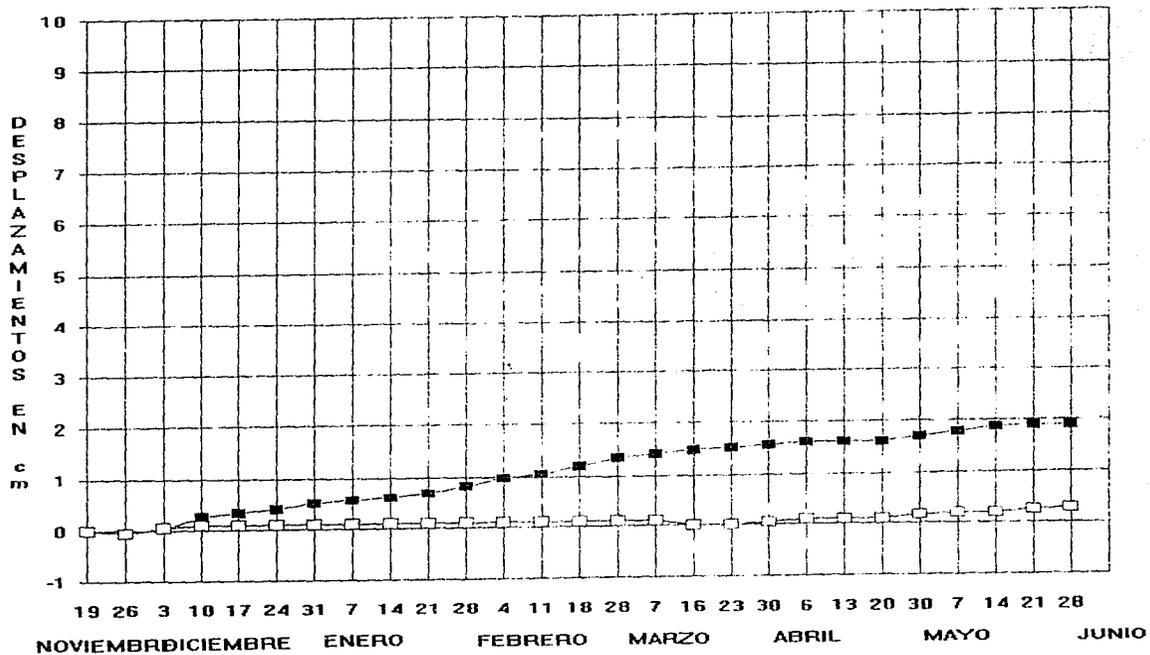
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 3-B

■ N(+)-S(-) □ E(+)-W(-)



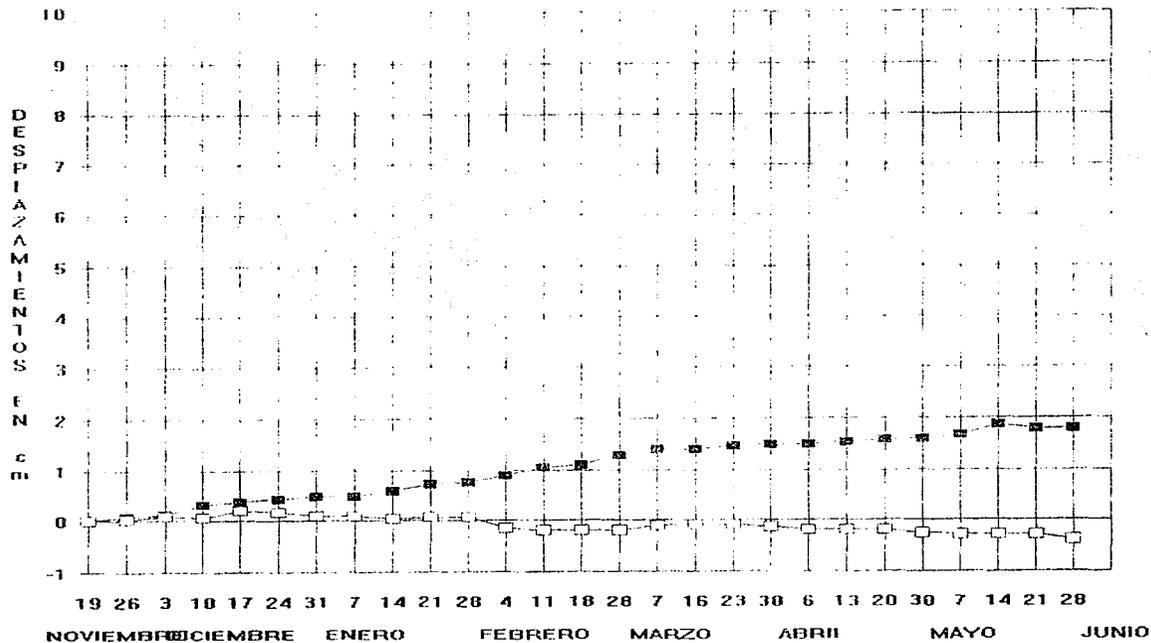
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOSOS MEDIOS COLUMNA 5-B

■ N(+)-S(-) □ E(+)-W(-)



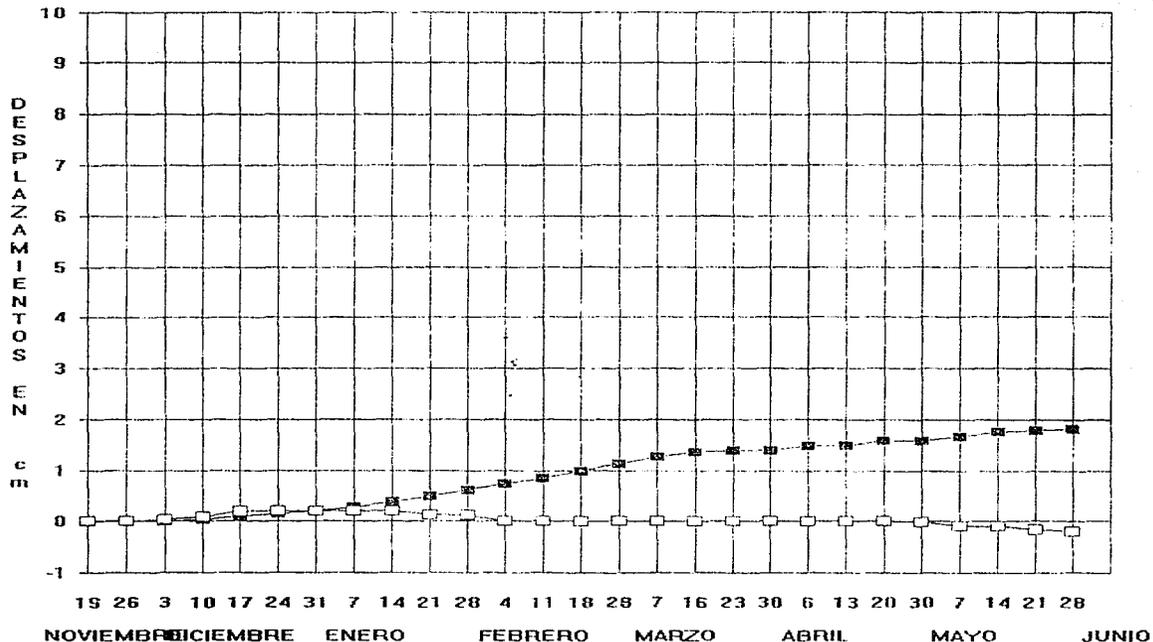
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLOMOS MEDIOS COLUMNA 6-B

■ N(°) S(°) T(°) W(°)



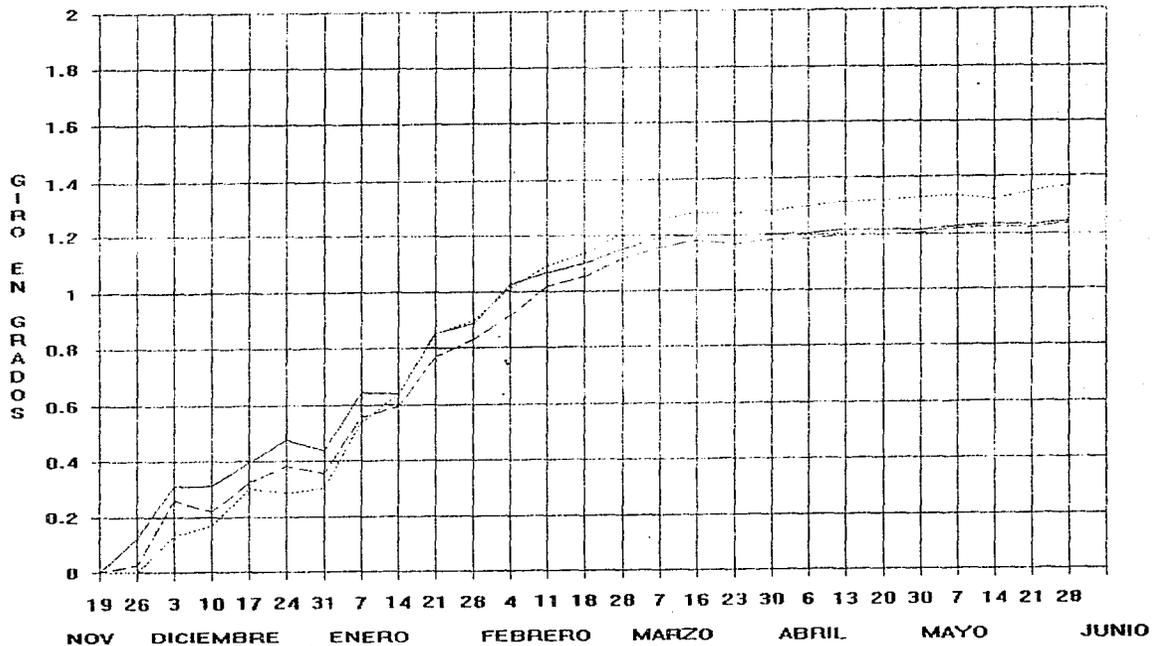
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, DESPLAMOS MEDIOS COLUMNA 7-B

■ N(+) - S(-) □ E(+) - W(-)



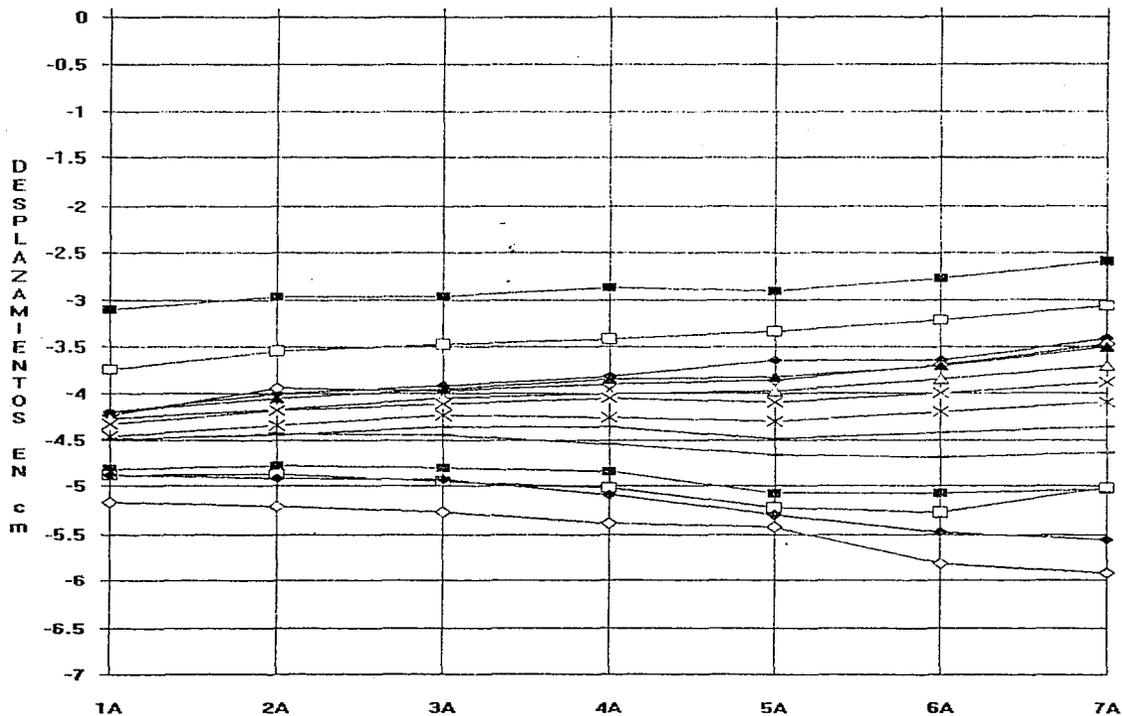
TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD

- 1A-1B 4A 4B 7A-8B



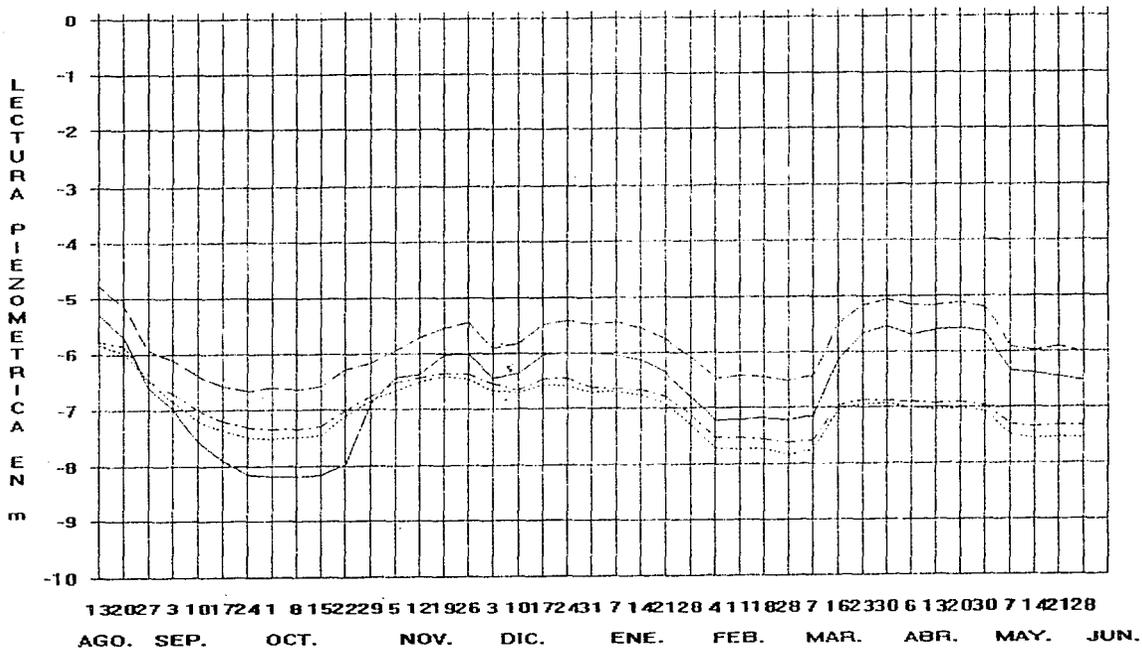
DESPLAZAMIENTOS VERTICALES RELATIVOS A LA 1ª NIVELACION (19-NOV-90) EJE A

- 18/FEB/91 □ 28/FEB/91 ◆ 7/MAR/91 ◇ 16/MAR/91 ▲ 23/MAR/91
 △ 30/MAR/91 × 6/ABR/91 * 13/ABR/91 - 20/ABR/91 - 30/ABR/91
 ■ 7/MAY/91 □ 14/MAY/91 ◆ 21/MAY/91 ◇ 28/MAY/91

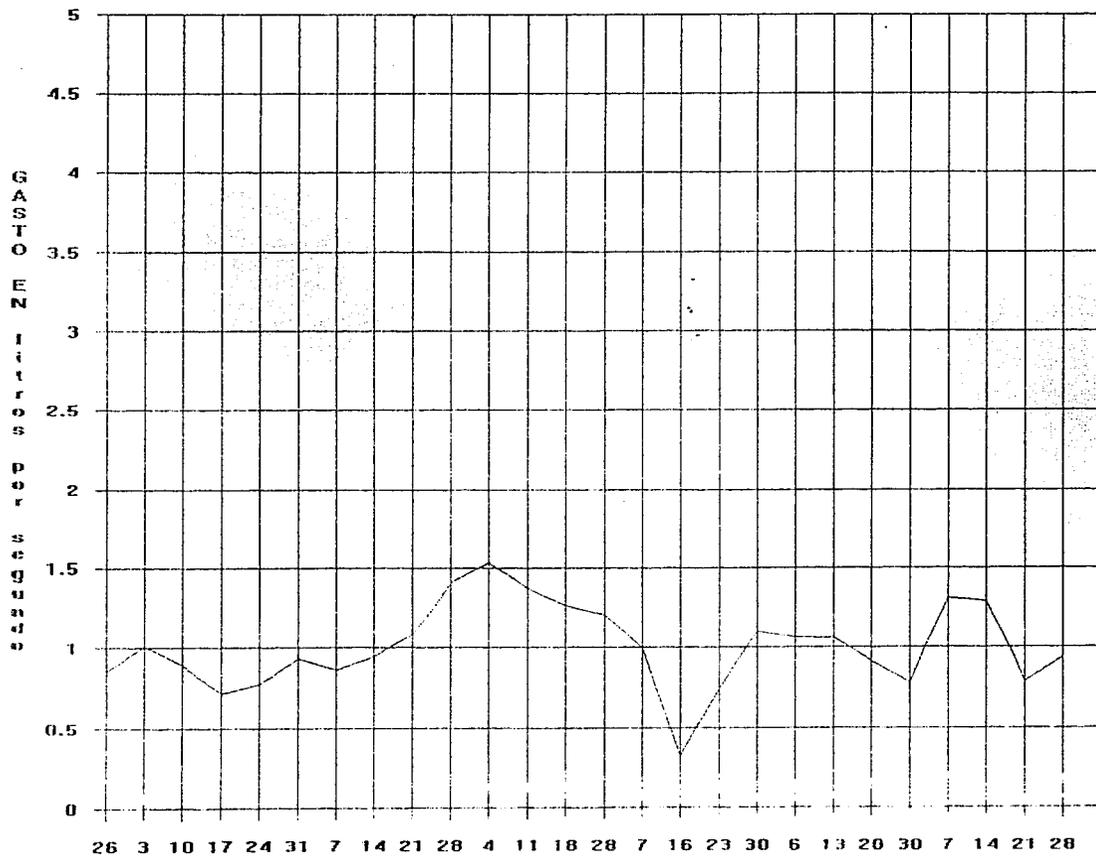


TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, NIVELACION PIEZOMETRICA

- Estación 1 - Estación 2 - Estación 3 - Estación 4



TEMPLO DE SAN ANTONIO ABAD, GASTOS DE BOMBEO



ACLARACIONES A LAS GRAFICAS COMPLEMENTARIAS AL ES-
CRITO SOBRE SAN ANTONIO ABAD. (ING. E. TAMEZ)

Los esquemas ilustran "reglas prácticas" para manenas el fenómeno. En ellos se ilustra una simplificación de los volúmenes de arcilla que se deforman cuando se extrae una cantidad conocida de suelo, - de un estrato abajo de la superficie que nos interesa.

Se establece un volumen cónico con el vertice en - el punto donde se extrae el suelo y cuya generatrices hacen un ángulo de 45° con la vertical, para determinar así la zona de influencia en la superficie, como una circunferencia de radio igual a la - altura del cono.

La depresión que se producirá en el suelo, será - una "cazuela" de perfil sinusoidal que también pue de asimilarse a otro cono, cuyo eje coincide con - el anterior y su volumen es el mismo que se extrajo abajo.

De las dos condiciones anteriores se puede determinar la profundidad del cuenco y/o cono, como función del volumen extraído y la profundidad.

La adición de una serie continua de extracciones iguales a distancias iguales a la profundidad de extracción, produce por la superposición de los cuencos, un surco continuo en la superficie, de perfil y profundidad constantes.

La extracción en volúmenes crecientes o decrecientes permitirá producir hundimientos variables en la superficie. Y así inducir los efectos buscados sobre la estructura.

Si ahora consideramos el efecto de apuntalar, se lectivamente, zonas de la estructura, podremos comprender cómo canalizar los efectos de la subexcavación a los lugares que deseamos corregir.

La capacidad de hacer rígidas y/o frágiles, zonas en las estructuras del Patrimonio Histórico, exige combinar el conocimiento del patrón de comportamiento de las formas construidas en mampostería, frente a las sollicitaciones inducidas en la cimentación, con el del método de inducir esos efectos y con la respuesta de la mampostería.

Podemos disociar el fenómeno en dos aspectos y en el primero, operar todo un segmento como cuerpo rígido y por tanto sin deformación y sin consecuencias en el edificio; los cambios se inducen

y actúan únicamente en el suelo y con ellos se replomean los edificios como conjunto.

La segunda faceta del fenómeno busca corregir las deformaciones que el tiempo y las circunstancias han impuesto a los edificios; aquí es pertinente recordar que es inherente al material, la incapacidad de resolver tracciones de magnitudes significativas, por eso es que hablamos de conducta "frágil" y no pensamos en corregir formas sino condiciones de estabilidad; todo ello a través de más deformación, pero en la dirección adecuada.

La práctica tradicional repara las grietas en los edificios del pasado, retacándolas con el mismo material y aun acuñado con rejones de piedra, el mortero fresco dentro de las grietas; los restauradores contemporáneos reinyectan morteros de fraguado sin contracciones y aun expansivos, en las grietas.

En todo caso se busca reponer el contacto completo entre las superficies fracturadas, para evitar que las presiones ejercidas sobre áreas reducidas por las fracturas, alcancen niveles peligrosos. Pero también estas superficies reducidas y con niveles altos de esfuerzo, definen los puntos a traves de los cuales se transmiten las presiones y -

se pueden considerar como "rótulas frágiles".

Contemplar así, un arco fracturado, permite hablar de un arco de tres articulaciones, prototipo de estructura isostática; y contemplar así la totalidad del edificio, hace del mismo un problema determinado y puramente estático.

Si además tenemos el testimonio de las deformaciones que presenta el edificio y las podemos fechar, si conocemos la geometría de las bóvedas y los efectos de rigidización por forma, que inducen en el comportamiento del edificio y también podemos estimar si son o no perceptibles las deformaciones que existen y las nuevas, que la corrección de los plomos van a inducir, podremos resolver el problema de reponer plomos y preservar las bóvedas sin dañar el aspecto del Monumento.

Inducir giros al renivelar un cuerpo rígido es inevitable; esto produce desplazamientos verticales y horizontales y combinando los giros de dos cuerpos rígidos y opuestos, podremos abrir o cerrar la luz de una bóveda; podemos hacer girar más un cuerpo que otro y así corregir deformaciones asimétricas; esto puede ser simultáneo o con

un sólo cuerpo girando y el otro en reposo.

Cerrar la luz de una bóveda implica que toda la zona del contrarresto de un lado gira ángulos variables según se ha deformado antes y según se desee corregir y también producir fracturas en la clave y en los riñones de la bóveda.

La geometría peculiar de estos monumentos permite definir zonas rígidas y frágiles y determina los puntos de fractura. Conocido lo anterior deberán considerarse los efectos que esta conducta esperada en la bóveda tenga en adiciones al esquema original.

Aquí hay otra coincidencia entre San Antonio y Catedral; en los tensores adicionales introducidos en el pasado por sobre las bóvedas.

¿Qué buscamos verificar en San Antonio?

- A) En qué estrato debe actuarse por plasticidad de la arcilla, por profundidad y por - eso, espesor de colchón y compacidad del - mismo.
- B) Cómo se dispersa en la estructura la acción inducida en el suelo.
- C) Qué tanto responden los apuntalamientos?.

A) La condición de plasticidad en la arcilla y la profundidad del estrato, interactúan en el proceso que se proyecta.

Existen varios estratos para actuar, en general podrán usarse los profundos para actuar de manera más uniforme sobre grandes segmentos de edificios, y los más superficiales para lograr acciones localizadas y específicas. En el primer caso, además de la dispersión de la reducción del volumen que vemos en función de la profundidad, también intervendrá la rigidez de los estratos duros y gruesos que se interponen entre la subexcavación y los cimientos; en contraste, cuanto más cerca del cimiento se extraiga el volumen, menor la dispersión de su efecto y más eficaz la acción.

B) También es necesario considerar que las deformaciones que hay en las estructuras tienen una geometría ya establecida y que no es igual en toda la longitud del Monumento.

La capacidad de dosificar la acción cuantitativa y cualitativa por zonas, es la más importante experiencia que debemos obtener en San Antonio.

C) Correlativamente, verificar la interacción entre estructura y apuntalamiento, debe ser considerada.

CONCLUSIONES DE LA PRUEBA DE SUBEXCAVACION EN SAN ANTONIO ABAD

Del reporte de TGC en las láminas Vol. Excavado - VS Desplomos, Vol. Subexcavado VS Desplazamiento Vertical, se deriva que es posible hacer girar como cuerpo rígido al edificio. Esta afirmación la comprueban las gráficas de los desplomos de las pilastras (columnas en el reporte) de los muros que son sensiblemente iguales.

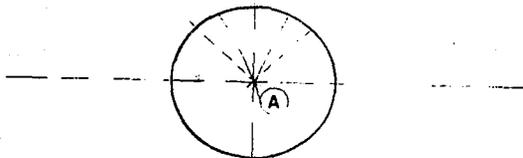
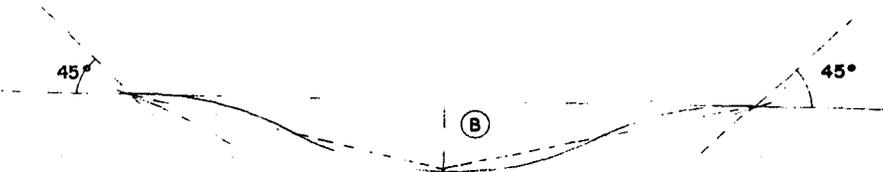
Las gráficas de desplazamientos verticales relativos en los muros hace pensar en la influencia que la rigidez del muro pudo haber tenido para mantener sensiblemente uniforme el descenso y por consecuencia la necesidad de considerar esa rigidez en el plano de los grandes muros de las crujías exteriores de Catedral, en contraste con la sujeción de pilares de la Nave Central.

Las torsiones que estas rigideces, laterales, pueden inducir en las naves interiores, piden cono-

cer los límites de la deformación posible antes -
de fracturarse, tanto en torsión cuanto, en des-
plazamientos verticales y coplanares a los muros.

Esta información útil para el proyecto de subex-
cavar en Catedral, deberá obtenerse aquí, antes -
de dar por terminados los trabajos.

Se deriva de lo anterior, que es factible contro-
lar a través la extracción de la arcilla en los vo
lúmenes y lugares adecuados, las acciones que el
suelo ejerce sobre la cimentación del monumento -
y que la rigidez de los elementos del edificio in
fluye, debe ser considerada y aprovechada para ob
tener los cambios necesarios en la geometría del
edificio.



VOL. (A) = VOL. (B)

LAS CURVAS TEORICAS SE
ASIMILAN A LAS RECTAS DE PUNTOS.

ESQUEMA 1

REGLA PRACTICA PARA ESTIMULAR EL EFECTO EN LA SUPERFICIE DE LA
EXTRACCION DE UN VOLUMEN CONOCIDO DE ARCILLA.

SE ESTABLECE UN VOLUMEN CONICO CON EL VERTICE EN EL PUNTO DONDE SE
EXTRAE EL SUELO Y CUYAS GENERATRICES HACEN UN ANGULO DE 45° CON LA
VERTICAL, PARA DETERMINAR ASI LA ZONA DE INFLUENCIA EN LA SUPERFICIE,
COMO UNA CIRCUNFERENCIA DE RADIO IGUAL A LA ALTURA DEL CONO.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

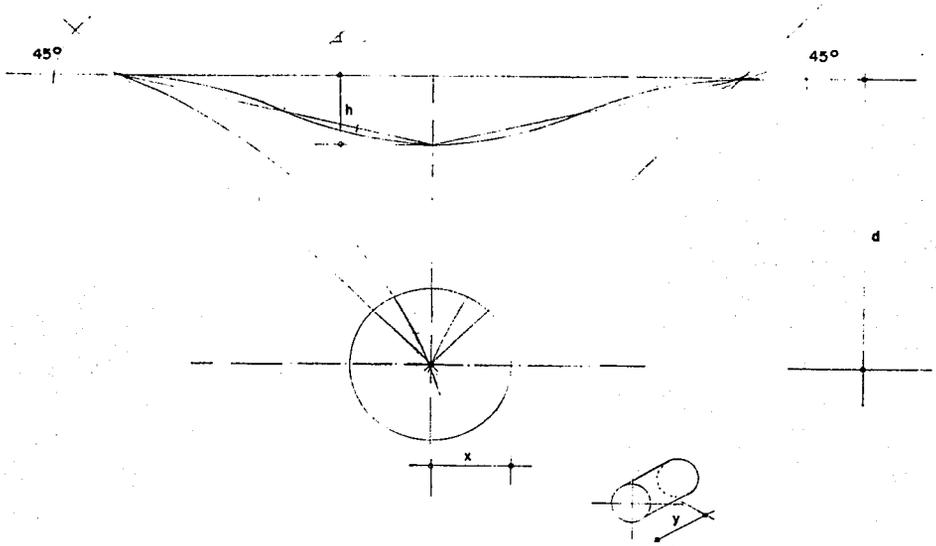
FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

$$\text{VOLUMEN DE LA CUENCA} = \frac{\pi d^2 h}{3}$$

VOLUMEN EXTRAIDO = VOLUMEN DE LA CUENCA

$$\pi x^2 dy = \frac{\pi d^2 h}{3}$$

$$h = \frac{3 x^2 y}{d^2}$$



$$\text{VOLUMEN EXTRAIDO} = \pi x^2 y$$

ESQUEMA 1

REGLA PRACTICA PARA ESTIMAR LA PROFUNDIDAD DE LA CUENCA QUE PRODUCE LA EXTRACCION DE UN VOLUMEN CONOCIDO DE ARCILLA.

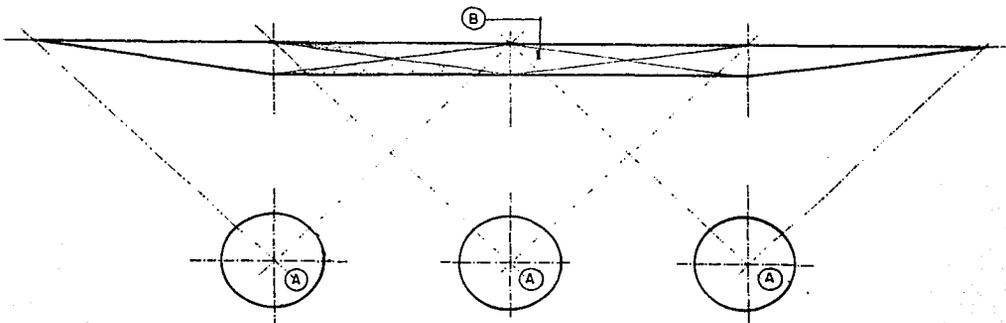
LA DEPRESION QUE SE PRODUCIRA EN EL SUELO SERA UN CAZUELA DE PERFIL SINUSIDAL QUE TAMBIEN PUEDE ASIMILARSE A OTRO CONO, CUYO EJE COINCIDE CON EL ANTERIOR Y SU VOLUMEN ES EL MISMO QUE SE EXTRAJO ABAJO.

proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM



VOLUMEN B = 3 VOLUMEN A

LA SUPERPOSICION DE AREAS
(GRISES) EXPLICA LA HORIZONTAL
CENTRAL.

ESQUEMA 2

METODO PARA DEPRIMIR UNA ZONA CONTINUA.

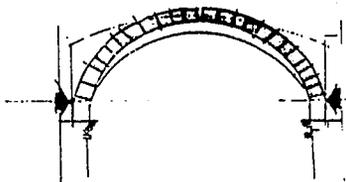
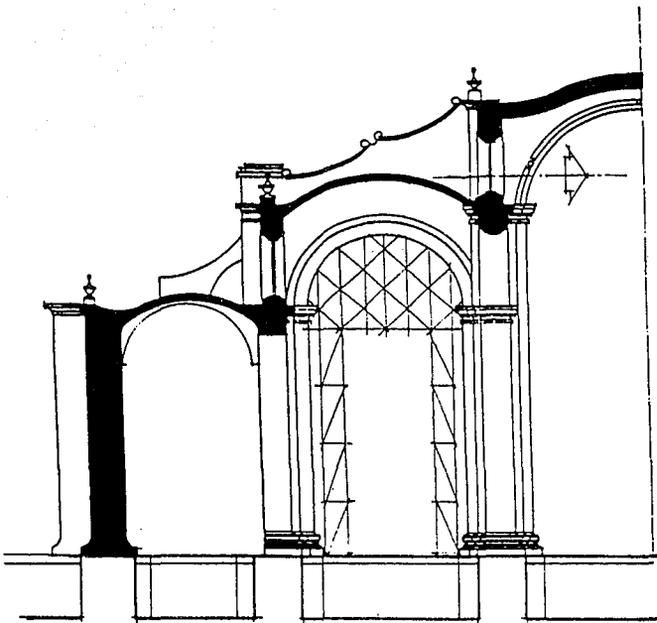
LA ADICION DE UNA SERIE CONTINUA DE EXTRACCIONES IGUALES A DISTANCIAS IGUALES A LA PROFUNDIDAD DE EXTRACCION, PRODUCE POR LA SUPERPOSICION DE LOS CUENCOS UN SURCO CONTINUO EN LA SUPERFICIE, DE PERFIL Y PROFUNDIDAD CONSTANTES.

Proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

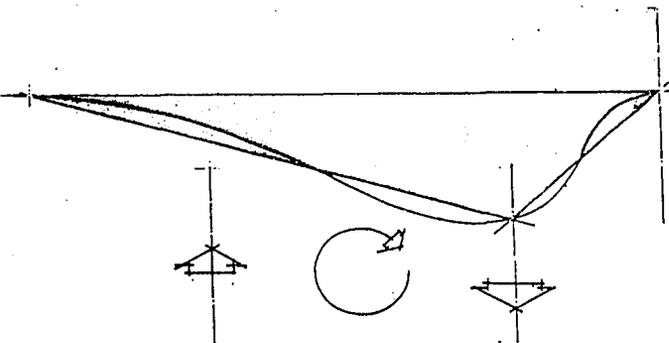
FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM



AL PRODUCIR UNA DEPRESION CONTROLADA ABAJO DE LAS PILASTRAS ENTRE LA NA--
VE PRINCIPAL Y LAS NAVES PROCESSIONA--
LES SE PRODUCIRA EL EFECTO BUSCADO--
DE UN GIRO HACIA DENTRO DE LAS NAVES--
DE CONTRARRESTO QUE JUNTO CON LAS NA--
VES PROCESSIONALES APUNTALADAS ACTUA--
RAN SOLIDARIAS Y COMO CUERPO RIGIDO--
LA BÓVEDA CENTRAL ACTUARA COMO ARCO--
FRAGIL E ISOSTÁTICO.

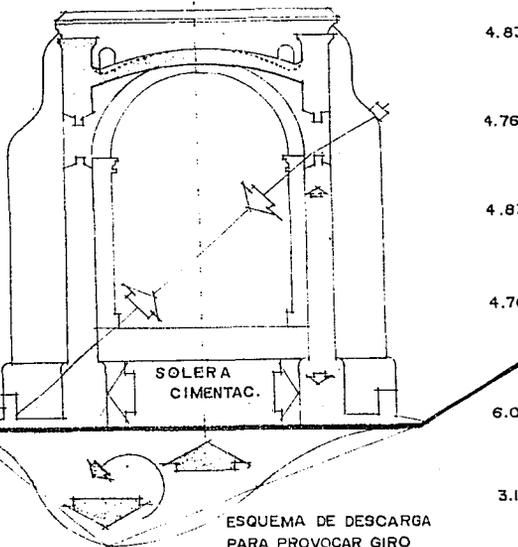
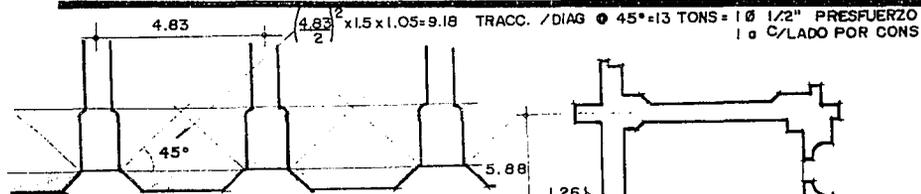
SI AHORA CONSIDERAMOS EL EFECTO DE --
APUNTALAR SELECTIVAMENTE ZONAS DE LA--
ESTRUCTURA, PODEMOS CONSIDERAR COMO--
CANALIZAR LOS EFECTOS DE LA SUBCA--
VACION A LOS LUGARES QUE DEBEAMOS CO--
REGIR.



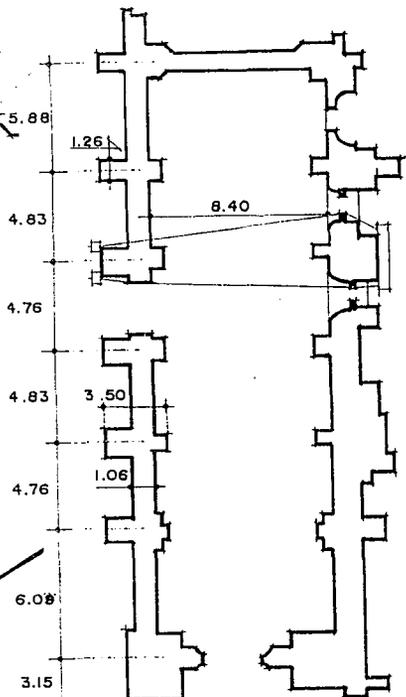
proyecto | **RESTRUCTURACION DE LA**
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

ANÁLISIS DE CANALIZACIÓN DE LOS
EFECTOS DE LA SUBCAVACION

FACULTAD DE ARQUITECTURA



ESQUEMA DE DESCARGA
PARA PROVOCAR GIRO
COMO CUERPO RIGIDO



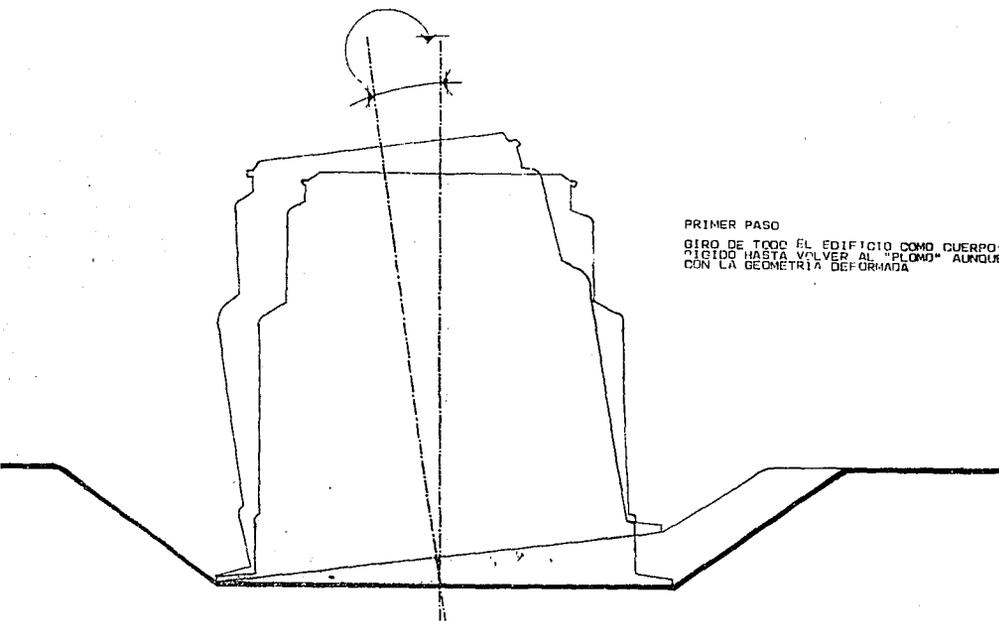
E S Q U E M A 5

APUNTALAMIENTO PARA QUE ACTUE COMO CUERPO RIGIDO.

LA CAPACIDAD DE HACER RIGIDOS Y/O FRAGILES ZONAS EN LAS ESTRUCTURAS DEL PATRIMONIO HISTORICO, EXIGE COMBINAR EL CONOCIMIENTO DEL PATRON DE COMPORTAMIENTO DE LAS FORMAS CONSTRUIDAS EN MAMPOSTERIA, FRENTE A LAS SOLICITACIONES INDUCIDAS EN LA CIMENTACION, CON EL DEL METODO DE INDUCIR ESOS EFECTOS Y CON LA RESPUESTA DE LA MAMPOSTERIA.

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



PRIMER PASO

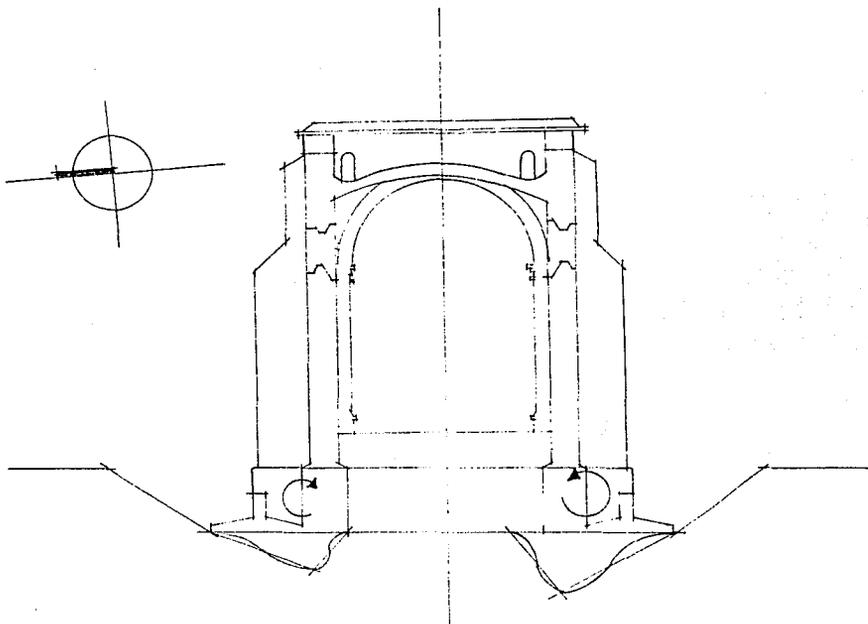
GIRO DE TODO EL EDIFICIO COMO CUERPO RIGIDO HASTA VOLVER AL "PLANO" AUNQUE CON LA GEOMETRIA DEFORMADA

ESQUEMA 5

PODEMOS DISOCIAR EL FENOMENO EN (2) ASPECTOS Y EN EL PRIMERO, OPERAR TODO UN SEGMENTO COMO CUERPO RIGIDO Y POR TANTO SIN DEFORMACION Y SIN CONSECUENCIAS EN EL EDIFICIO ; LOS CAMBIOS SE INDUCEN Y ACTUAL UNICAMENTE EN EL SUELO Y CON ELLOS SE REPTOMEAN LOS EDIFICIOS COMO CONJUNTO.

proyecto : **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



PRODUCIR GIROS ENCONTRADOS Y DESIGUALES PUEDE "CERRAR" LA APERTURA ASIMETRICA QUE REGISTRAN LAS MEDICIONES PUEDE SER SIMULTANEO O BIEN EN PASOS - SUSESIVOS. EN ESTE CASO DEBE ACTUAR COMO ESTRUCTURA FRAGIL.

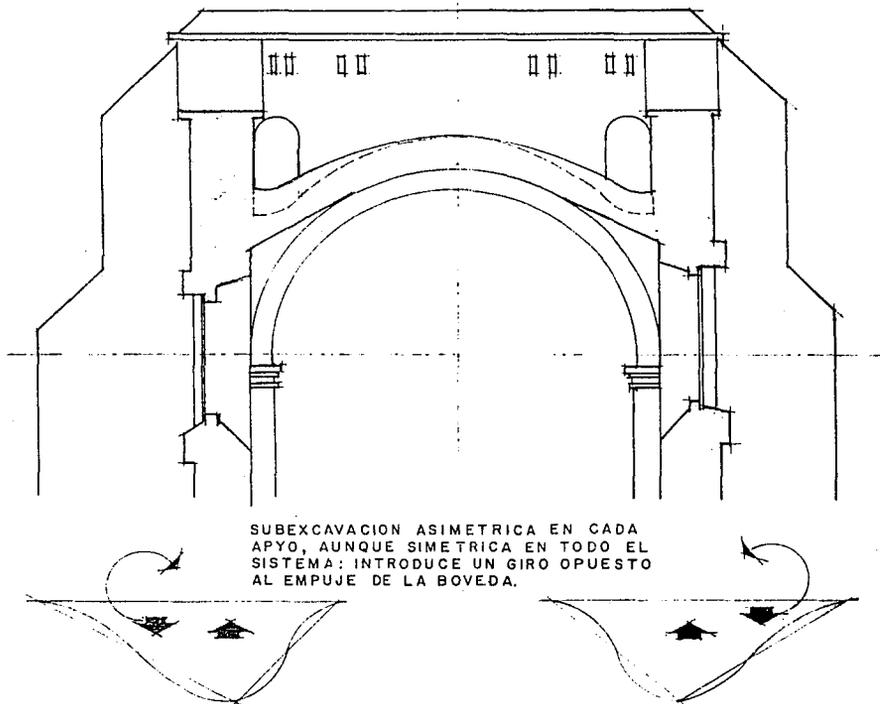
ESQUEMA 6

SUBEXCAVACION PARA CORREGIR DEFORMACIONES EN LA GEOMETRIA DEL TEMPLO.

LA SEGUNDA FACETA DEL FENOMENO BUSCA CORREGIR LAS DEFORMACIONES QUE EL - TIEMPO Y LAS CIRUCUNSTANCIAS HAN IMPUESTO A LOS EDIFICIOS; AQUI ES PERTINENTE RECORDAR QUE ES INHERENTE AL MATERIAL, LA INCAPACIDAD DE RESOLVER - ACCIONES DE MAGNITUDES SIGNIFICATIVAS, POR ESO ES QUE HABLAMOS DE CONDUCTA "FRAGIL" Y NO PENSAMOS EN CORREGIR FORMAS SINO CONDICIONES DE PROBABILIDAD; TODO ELLO A TRAVES DE MAS DEFORMACION PERO EN LA DIRECCION ADECUADA.

proyecto : ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

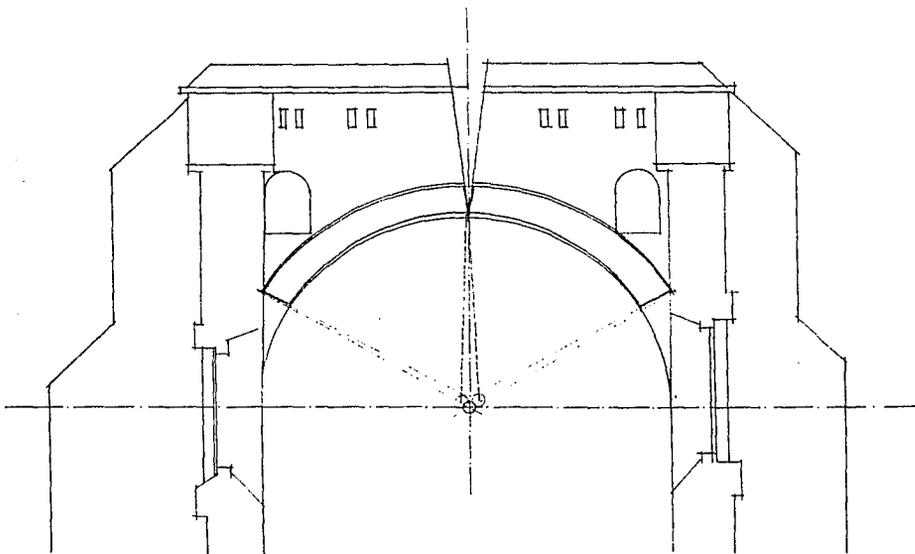


ESQUEMA 6'

INDUCIR GIROS AL RENIVELAR UN CUERPO RIGIDO ES INEVITABLE, ESTO PRODUCE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES Y HORIZONTALES Y COMBINANDO LOS GIROS DE (2) DOS CUERPOS RIGIDOS Y OPUESTOS, PODREMOS ABRIR O CERRAR LA LUZ DE UNA BOVEDA: PODEMOS HACER GIRAR MAS UN CUERPO QUE OTRO Y ASI CORRIGIR DEFORMACIONES ASIMETRICAS, ESTO PUEDE SER SIMULTANEO O CON UN SOLO CUERPO GIRANDO Y EL OTRO EN REPOSO.

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



LA REDUCCION DE LA LUZ DE LA BOVEDA
PRODUCIRA (3) TRES ROTULAS FRAGILES
POR LA INCAPACIDAD DE LA MAMPOSTERIA
PARA TOMAR TRACCIONES.
LOS TENSORES ADICIONALES SUPERIORES
DEBEN PERMITIR EL MOVIMIENTO ESPERADO

ESQUEMA 7

CERRAR LA LUZ DE LA BOVEDA IMPLICA QUE TODA LA ZONA DEL CONTRA--
RESTO DE UN LADO GIRA ANGULOS VARIABLES SEGUN SE HA DEFORMADO AN--
TES Y SEGUN SE DESEE CORREGIR, Y TAMBIEN PRODUCIR FRACTURAS EN LA -
CLAVE Y EN LOS RIÑONES DE LA BOVEDA.

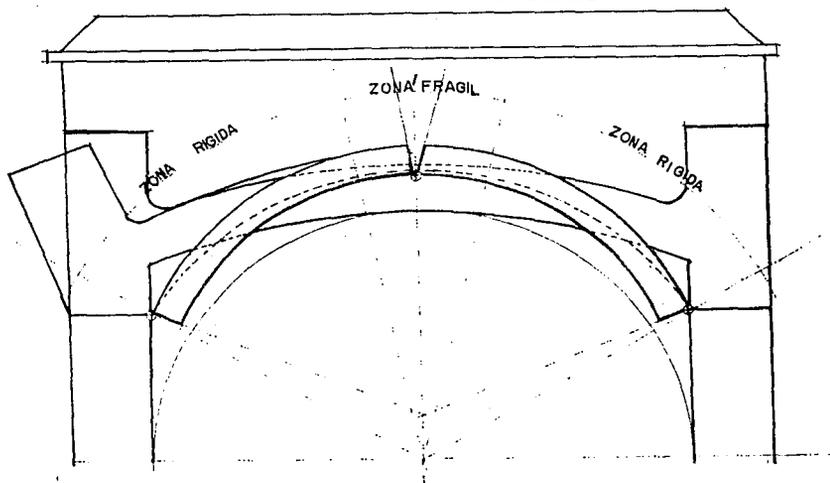
proyecto :
**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

AQUI HAY OTRA COINCIDENCIA ENTRE SAN ANTONIO Y CATEDRAL. EN LOS
LENSORES ADICIONALES INTRODUCIDOS EN EL PASADO POR SOBRE LAS
BOVEDAS.

ELONGACION

HAY QUE PERMITIR
QUE LA BOVEDA
SE REUBIQUE



EN LAS ROTULAS EL AREA DE CONTACTO SE REDUCE
Y POR

DEBERA RETACARSE LA FRACTURA PARA RECUPERAR
UN NIVEL DE ESFUERZO TOLERABLE Y REINICIAR EL
PROCESO CUANDO SE VUELVA A TENER UN ESFUERZO
SEGURO.

E S Q U E M A 8

LA GEOMETRIA PECULIAR DE ESTOS MONUMENTOS PERMITE DEFINIR ZONAS RIGIDAS
Y FRAGILES Y DETERMINA LOS PUNTOS DE FRACTURA. CONOCIDO LO ANTERIOR DE-
BERAN CONSIDERARSE LOS EFECTOS QUE ESTA CONDUCTA ESPERADA EN LA BOVEDA,
TENGA EN ADICIONES AL ESQUEMA ORIGINAL.

proyecto :

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

ANEXO II

CAPILLA DE ANIMAS, ANEXA A LA CATEDRAL METROPOLITANA

DICTAMEN SOBRE RECIMENTACION DE LA CAPILLA DE ANIMAS

Esta Capilla ubicada al extremo norte del predio que ocupan la Catedral Metropolitana y el Sagrario, data de mediados del Siglo XVIII y en un tiempo fue utilizada como Museo de Arte Religioso. Actualmente funciona como Sala de Actos, anexa al Museo Introdutorio de la Catedral.

Por su ubicación, está sumamente próxima (1.50), al cajón de la Línea-2 del Metro, que pasa en subterráneo por la calle de Guatemala, para seguir a Tacuba.

Desde principios del año pasado empezó a mostrar deterioros que para fines de agosto decidieron una seria inspección por parte del Comité Técnico de Asesores. En vista de la aceleración que presentaban los daños y de los estudios previos realizados, se tomó la decisión de recimentar esta capilla con 10 pilotes de concreto enfundados

y los refuerzos de concreto necesarios. De esta manera, la construcción quedará protegida contra los efectos del cajón del Metro y aun contra lo que pudiera afectarle por la subexcavación que se llevará a cabo en la Catedral y que se iniciará precisamente en la parte norte de ese Monumento, o sea en las proximidades de la Capilla de Animas.

Se aclara que, estructuralmente, la Capilla está desligada del edificio de la Ex-curia, actualmente Museo de la Catedral, por lo cual la solución adoptada para su recimentación es la más adecuada, ya que su estructura estará libre y apoyada en el suelo, pero nivelada por los pilotes que evitarán los desplomos que la pondrían en grave riesgo.

También es conveniente aclarar que este tipo de pilotes evita la fricción negativa y mejora el trabajo del mismo, aspectos muy interesantes para tomarse en cuenta en el caso de que la Catedral o el Sagrario requirieran este tipo de apoyos.

A continuación se transcribe el Proyecto de Recimentación ejecutado por TGC Geotecnia, a partir de las consideraciones expresadas antes y con base en la información que se les proporcionó de cargas.

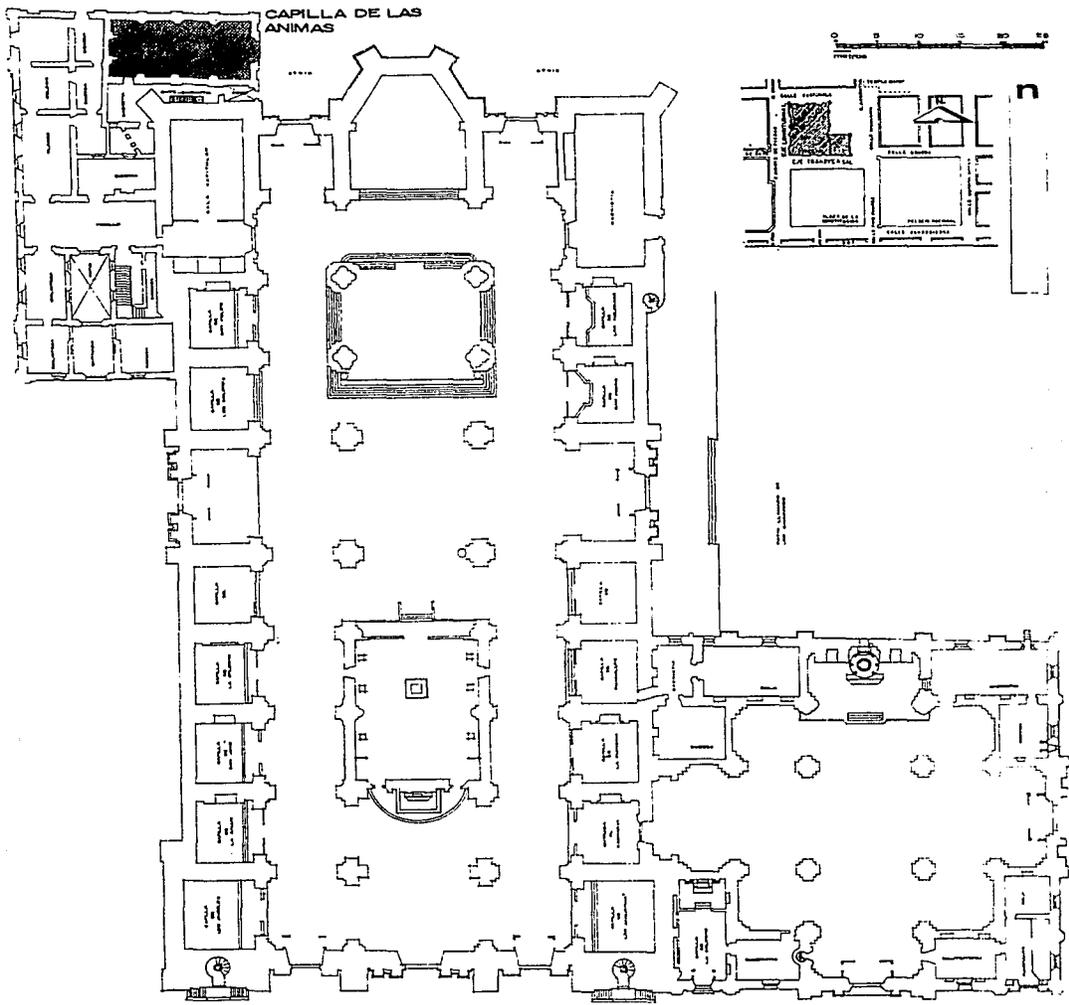
PLANTA Y CORTE DE LA CAPILLA DE ANIMAS Y UBICA-
CION EN EL CONJUNTO

I INTRODUCCION

La Capilla de Animas es una estructura de mampostería que forma parte del conjunto de la Catedral Metropolitana y que se encuentra ubicada en la parte noroeste de la misma (fig. 1).

Recientemente en el costado sur de la Capilla se ha generado un área de fisuramiento del muro, producida seguramente por el asentamiento diferencial entre el apoyo del contrafuerte central de la Capilla y los laterales, lo que ha inducido a la formación de una zona de tensión delimitada por el prisma de mampostería que se presenta en la figura 2.

Por otra parte, teniendo en consideración que los trabajos para corregir el comportamiento de la cimentación de la Catedral que se llevan a cabo actualmente, provocarán en la Capilla asentamientos diferenciales que pueden afectarla en su seguridad estructu-



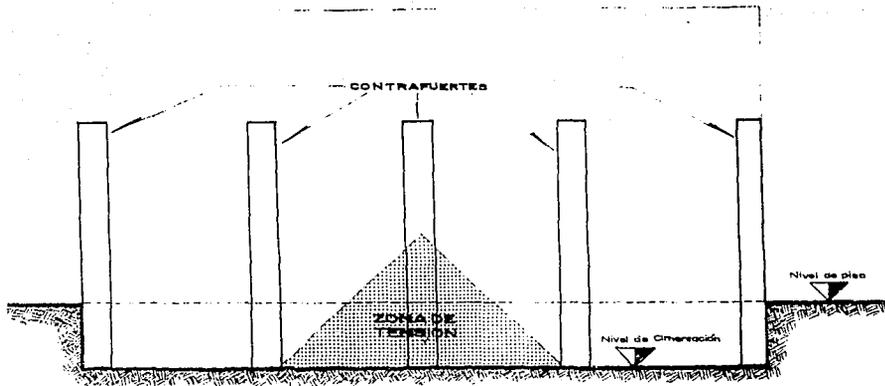
CAPILLA DE LAS ANIMAS

LOCALIZACION

Proyecto :
**ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA**
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

**CAPILLA DE
 LAS ANIMAS**

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM



MURO SUR DE LA CAPILLA DE LAS ANIMAS
ZONA DE TENSIONES

ESCALA 1:150

FIG. 2

ING. SECTECNIA, S.A.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CAPILLA DE
LAS ANIMAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

ral, es necesario habilitar a la cimentación de la Capilla con un sistema que tenga la capacidad para controlar a voluntad los movimientos verticales de la estructura, independientemente del comportamiento de la Catedral y del hundimientos general del Valle de México.

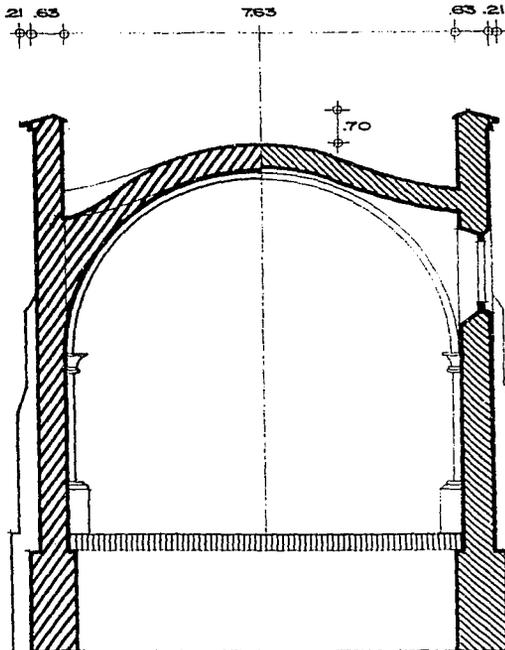
II. DETERMINACION DE CARGAS

La Capilla de Animas está formada por una nave de mampostería de 19.54m. de longitud 9.30 m. de ancho y 9.25m. de altura medida a partir del nivel de banqueta, cimentada con zapatas corridas, también construídas de mampostería.

De acuerdo con el trabajo realizado, el peso total de la estructura es de 1002 toneladas. (Figs. 3 y 4.

III. CARACTERISTICAS DE LA RECIMENTACION

Para recimentar la Capilla se propone emplear un tipo novedoso de pilotes apoyados en la capa dura, provistos de una fundación metálica que evite la generación de fricción



DEARRUOLLO CONOIDE LINEATO
 3 LUNETOS=43 TONS
NAVE CENTRAL
 R = 3.610
 PERIMETRO
 3.610 x π = 11.365 x 12 M
 SUPERFICIE
 10.84 x 12 = 226 m²

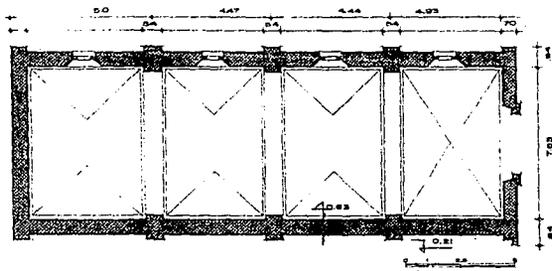
PENETRACION
 10.84 x 12 / 3 x 1 / 2 x 2 = 70.36 m³
 SUPERFICIE TOTAL
 15 m² x 0.7 m = 105.0 m³ x 1.8 T / m³ = 189.0 T
 más LUNETOS = 60.0 T
249.0 T

9.25

MUROS (NORTE Y SUR)
 19.84 x 9.25 x 0.63 x 2 = 227.6 x 1.8 T = 349.6 T
MUROS (ORIENTE-PONIENTE)
 9.34 x 9.25 x 0.63 x 2 = 106.5 m³ x 1.8 T / m³ = 172.7 T
TOTAL 522.3 T
 W = 620 T - MEDIAS AJUSTRAS
 64 x 0.84 x (0.81 x 4.2)
 6 x 3.36 m³ x 2 = 40.6 T
609.4 T

ESC. 1/100

UNA PILASTRA C/4.45



MEMORIA DE CALCULO I

LEVANTAMIENTO CON MEDIDAS GENERALES EN ALZADO Y DETALLES "a preparación"

FERNANDO LOPEZ CARMONA APO 3/8/1990

FIG. 3

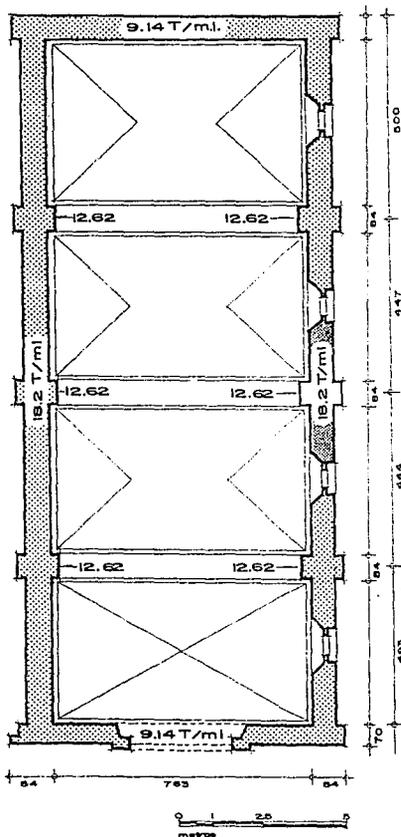
TCC. GEOTECNIA, S.A.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CAPILLA DE LAS ANIMAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM



BOVEDAS+MUROS NORTEYSUR = 560T
 25.25 T
 7.63 = 3.31 T/m.l

$$\frac{560}{18.84 \times 2} = 14.86 \text{ T/m.l.} + \text{CIMENTACION}$$

CIMENTACION

1.05m x 2.1m x 75 T/m³ = 3.31 T/m.l. = 18.2 T/m

MUROS FACHADA Y ABSIDE

1085
 9.71x2 = 5.827 T/m.l. + 3.31 = 9.14 T/m.l

SUPERFICIE DE CIMENTACION (solo las soleras)

8.47 x 5 x 1.05 = 44.4675 m²

19.68 x 2 x 1.05 = 41.338 m²

85.7955 m²

PRESION DE CONTACTO = 11.7 T/m²

(Similar a la de Catedral)

PESO TOTAL

BOVEDAS 218.25 T

MUROS 214.36 T = 732.61 T

CIMENTACION

SOLERAS LONGITUDINALES

19.68 x 2 x 3.31 T/m.l. = 130.28 T

SOLERAS TRANSVERSALES +

8.47 x 5 x 3.31 T/m.l. = 140.18 T

270.46 T

732.61 + 270.46 = 1003.1 T

PESO S/M² = $\frac{1003.1 T}{2052 \times 9.31} = 5.25 \text{ T/M}^2$

NOTA: No existen datos de cimentacion

FIG. 4

MEMORIA DE CALCULO II

DIMENSIONES PARA ESTIMAR CARGAS
 LEVANTAMIENTO CON
 MEDIDAS GENERALES EN PLANTA
 FERNANDO LOPEZ CARMONA, ARG.
 3/8/1960

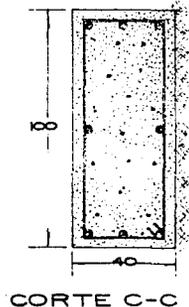
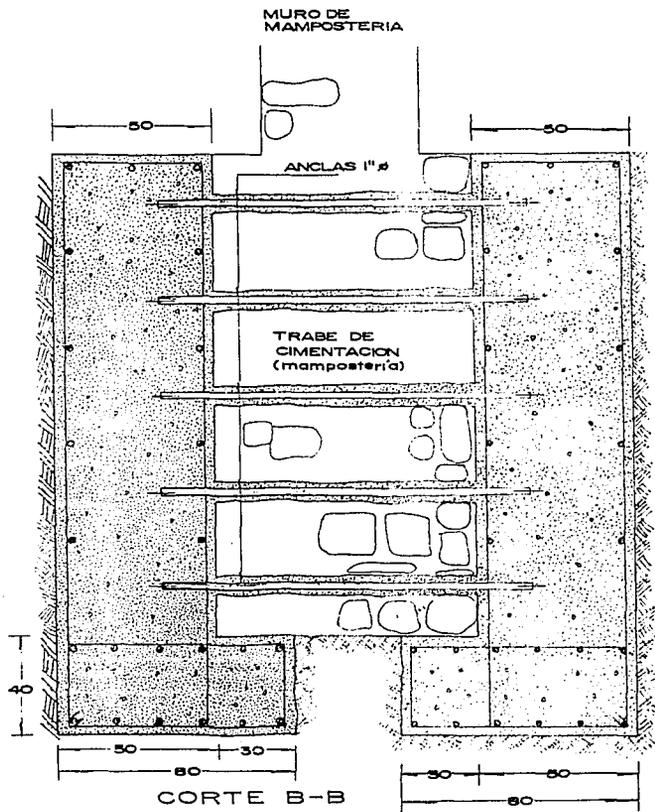
FIG. 4

ISEO GEOTECNIA, S.A.

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

**CAPILLA DE
LAS ANIMAS**

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



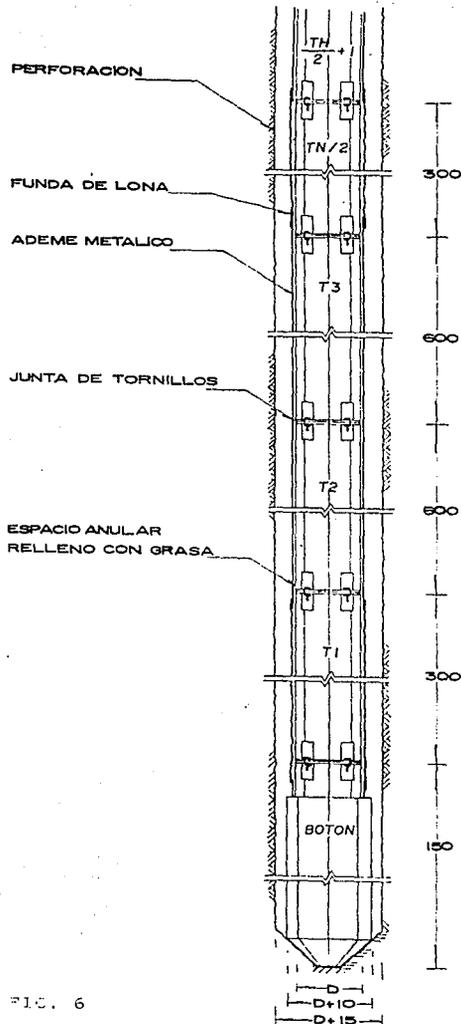
CORTES DE
TRABES DE LIGA
CIMENTACION

ESTUDIO DE EDIFICACION, S.A.

proyecto:
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CAPILLA DE
LAS ANIMAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



CONJUNTO

FIG. 6

ING. GEOLOGIA, S.A.

proyecto : ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO
PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

negativa; con ellos se soportará la totali
dad del peso de la estructura y estarán -
además equipados con mecanismos que permi-
tan el control total de los desplazamien-
tos verticales asociados al hundimiento re
gional del Vallde de México.

3.1. Descripción de los pilotes. (Fig. 5).
Estos pilotes serán precolados, de -
concreto reforzado y de sección octa-
gonal. Estarán integrados por un -
tramo inicial denominado PUNTA O BO-
TON de 40 cm de diámetro del círculo
inscrito y 1.5 m de longitud; los -
tramos siguientes que conformarán el
fuste, serán de 30 cm. de diámetro y
6.0 de longitud. (Fig. 6, 7 y 8).

3.2. Uniones.

Cada uno de los tramos de los pilo-
tes se unirán entre sí por medio de
juntas rápidas que permitan que la
operación para unir los tramos se -
ejecute en un tiempo corto; esta -
junta además le proporcionará la con
tinuidad estructural requerida en es
te tipo de elementos. (Fgis. 9 y 10).

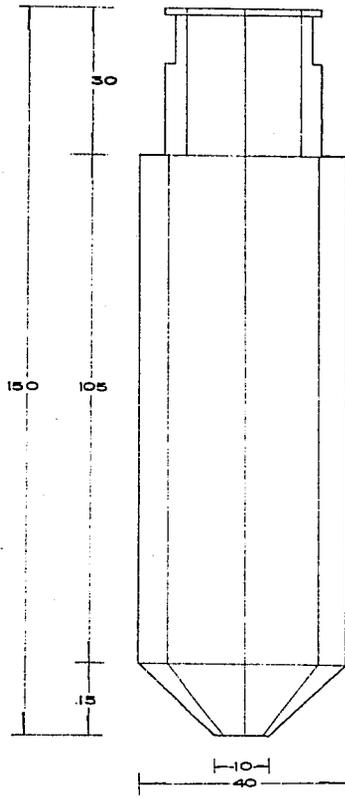


FIG. 7

BOTON
ESCALA 1/10

TGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto: **ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

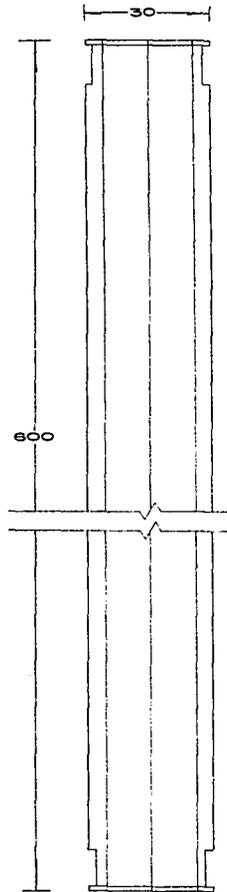


FIG. 9

TRAMO DE FUSTE
ESCALA 1:12.5

IGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto:
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

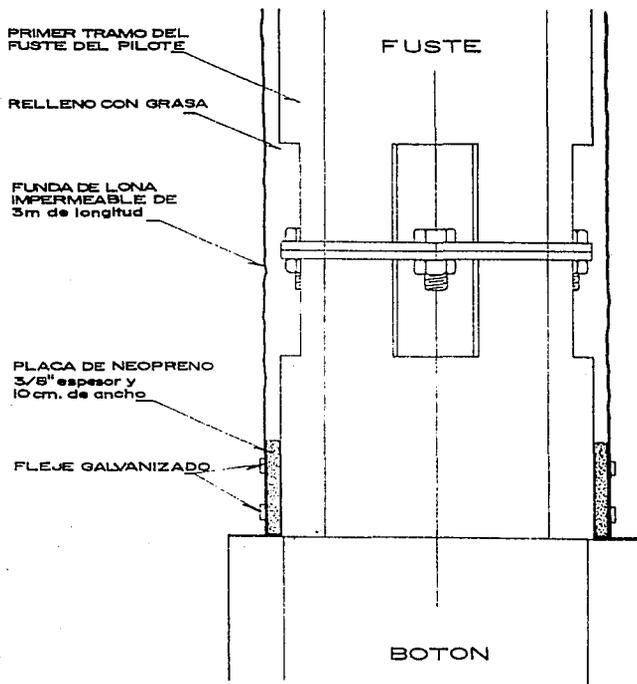


FIG. 9

FUNDA

EGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

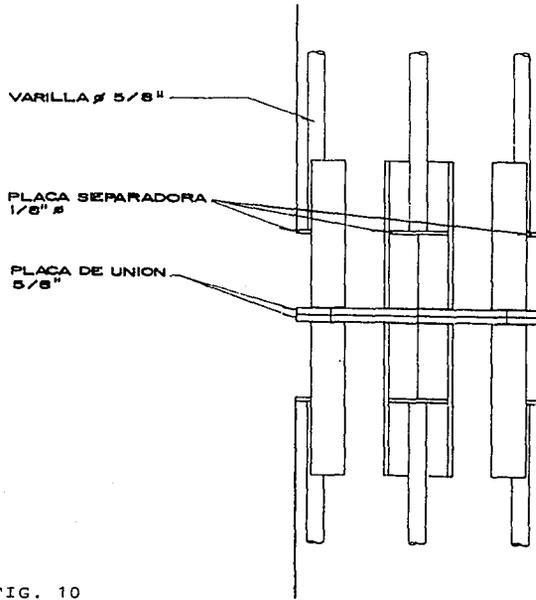
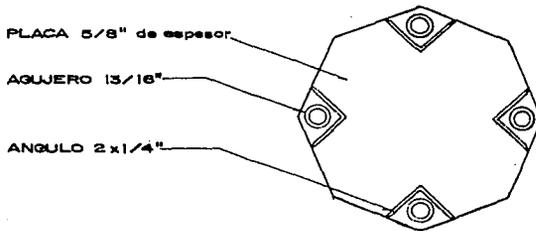


FIG. 10

JUNTAS

TGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto :
**ESTRUCTURACION DE LA
 CATEDRAL METROPOLITANA**
 (ASESORIA PARA SU NIVELACION)

**DETALLE CONSTRUCTIVO
 P I L O T E**

FACULTAD DE ARQUITECTURA
 UNAM

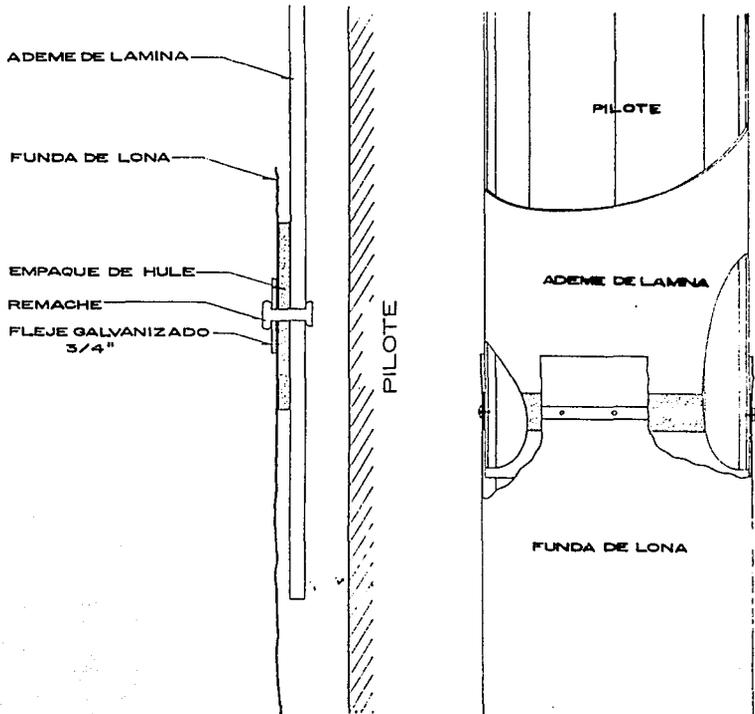


FIG. 11

**UNION FUNDA DE LONA
Y ADEME METALICO**

TCC GEOTECNIA, S.A.

proyecto:

**ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA**
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM

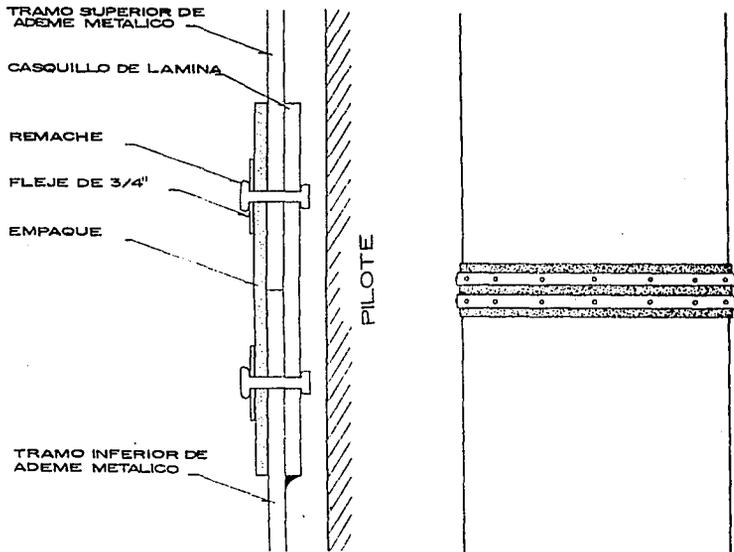


FIG. 12

UNION ADEME METALICO
Y ADEME METALICO

TGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto:

ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA

UNAM

3.3 Funda.

A excepción del tramo inicial o botón, el resto del fuste del pilote tendrá una funda en forma de un ademe, con capacidad para deformarse verticalmente, formada por tramos de lámina alternados con tramos de lona impermeable. El espacio anular entre el pilote y la funda estará relleno con una grasa mineral que elimina la fricción entre ambas piezas. (Figs. 11 y 12).

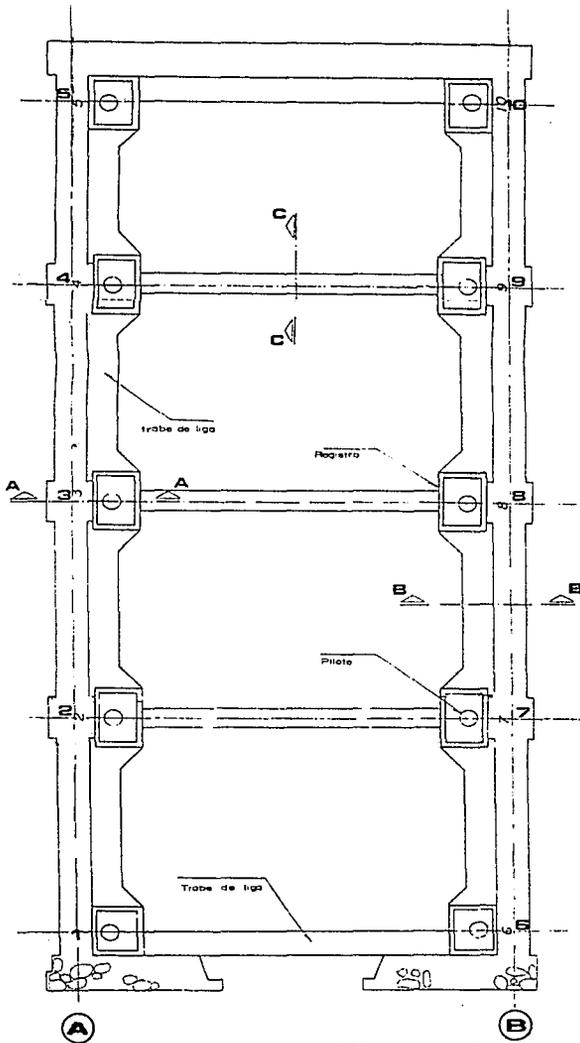
3.4. Capacidad de Carga.

Del estudio Geotécnico realizado para la Catedral Metropolitana, se tiene que para la zona que ocupa la Capilla de Animas, la resistencia de la capa dura la penetración del cono eléctrico (qc) en promedio vale:

$$q_c = 2,100 \text{ ton/m}^2 \frac{210 \text{ (ooo) } \phi\phi\phi\phi}{1\phi\phi\phi\phi} 210 \text{ k/c}^2$$

La capacidad de carga admisible de los pilotes se determinó con la expresión siguiente:

$$Q_{ac} = Q_{ap} = A_p q_c / F_s$$



PLANTA DE
CIMENTACION

METROS

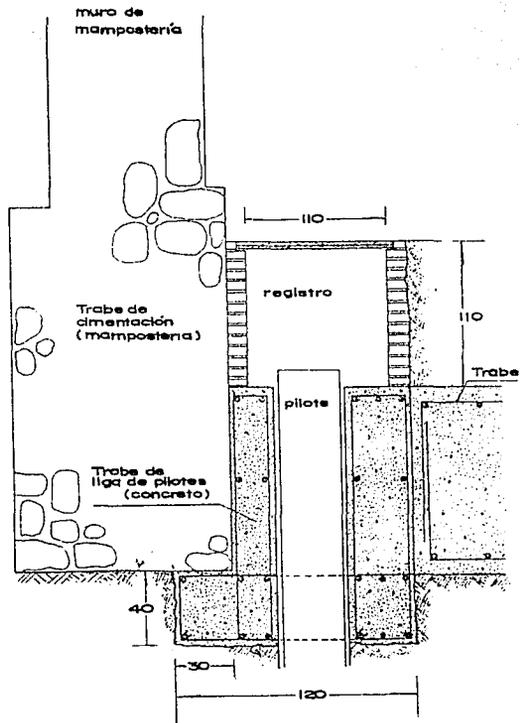
TCC GEOTECCNIA. S. A.

proyecto :

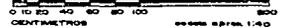
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

CAPILLA DE
LAS ANIMAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM



CORTE A-A



TGC GEOTECNIA, S.A.

proyecto :
ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

DETALLE CONSTRUCTIVO

PILOTE

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

En donde:

Qac Capacidad de carga admisible en la cabeza de los pilotes.

Qap Capacidad de carga admisible en la punta de los pilotes.

Ap Area de la punta = 0.136 m²

qc Resistencia promedio de la capa dura a la penetración del cono eléctrico = 2100 ton/m².

Fs Factor de seguridad = 2

Sustituyendo, se obtuvo una capacidad de carga admisible por pilote de 142 toneladas.

3.5 Revisión estructural.

Tomando como base que los pilotes serán fabricados con concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, con un refuerzo longitudinal integrado por 8 varillas del No. 5, se pueda obtener la resistencia estructural del pilote de la siguiente expresión:

$$Rep = 0.80 (Ac f'c + As Fy)$$

En donde:

Rep Resistencia estructural del pilote

Ac Area de concreto = 770 cm²

f'c = 300 kg/cm²

As Area de acero de refuerzo = 9.95 cm²

Fy = 400 kg/cm²

Sustituyendo resulta que la resistencia estructural del pilote al límite es de 218 toneladas, con lo cual se obtiene un factor de seguridad de 2.2.

3.6 Distribución de pilotes.

Tomando en cuenta la estructuración de la Capilla de Animas, que consta de 5 ejes transversales que rematan en contrafuertes laterales, resulta conveniente instalar un pilote bajo cada contrafuerte y uno más en cada una de las esquinas de la Capilla. (fig. 5).

IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para realizar la recimentación propuesta, se deberá seguir el procedimiento constructivo que a continuación se detalla:

4.1. Fabricación de pilotes.

Se propone se fabriquen en alguna área

de los atrios de la Catedral, para -
evitar los riesgos de fracturamiento
por las maniobras de carga y trans-
porte.

4.2 Perforación previa.

Se realizarán perforaciones por batido, de 45 cm de diámetro hasta la -
profundidad de desplante de los pilotes
agragándole agua a la perfora- -
ción para adelgazar el lodo generado.

4.3. Limpieza de las perforaciones.

Por medio de una aspiradora neumática
(Air Lift) se extraerá el lodo de
las perforaciones, siendo sustituido
por lodo bentonítico limpio.

4.4. Instalación de los pilotes.

Dentro de las perforaciones con el -
lodo limpio, se procederá a introdu-
cir cada uno de los tramos de pilote
y de funda, hasta llegar a la profunda
da de desplante.

4.5 Relleno final.

Una vez instalado el pilote, el espacio anular entre el suelo y la funda será relleno con una mezcla de bentonita-cemento, colocada a partir del fondo por medio de una tubería de inyección. La mezcla será elaborada con la siguiente dosificación.

1ª Fabricar el lodo con 100kg de bentonida por cada m³ de agua.

2ª A cada m³ de lodo bentonítico -- agregarle 200 kg de cemento.

V. LIGADO DE LOS PILOTES A LA ESTRUCTURA

Para ligar los pilotes a la estructura, se construirán contratraveses perimetrales adosadas a las zapatas de mampostería de la cimentación original además de tres traveses de liga perpendiculares al eje de la Capilla sobre los ejes 2, 3 y 4. En cada sitio de los pilotes se construirá un dado que tendrá la finalidad de permitir el anclaje del marco de carga de los mecanismos de control; en estos mismos lugares se dejarán los registros necesarios para las vi

sitas de inspección y mantenimiento.

VI. MECANISMOS DE CONTROL AUTOMATICO

Los mecanismos de control estará integrados por celdas hidráulicas calibradas para mantener una carga constante y al mismo tiempo permitir el desplazamiento automático de la cabeza de los pilotes; de esta manera los trabajos y costos de mantenimiento se reducirán sustancialmente.

ANEXO III

RESUMEN POR LA DIRECCION DE LAS OBRAS DE LA CATEDRAL METROPOLITANA Y SAGRARIO ANEXO.

Diagnóstico correcto, después de 2 años de estudios e investigaciones.

El problema es regional y no particular de la Catedral, - por lo cual el enfoque se debe ampliar al área urbana circundante.

No es posible, ni deseable, frenar los hundimientos de ambos Monumentos. Lo que si se debe lograr, es corregir los desplomos preocupantes en muros y columnas, y colocar a estos elementos dentro de rangos de seguridad estructural.

Después de haber analizado las alternativas posibles (pilototes, pilas y subexcavación), y habiendo ensayado en el Templo de San Antonio Abad, con muy buenos resultados, la Subexcavación controlada, se ha pensado que es la solución más aconsejable.

Se ha expuesto ante grupos de expertos y en varias ocasiones éstas ideas, y no se han manifestado opiniones contrarias. Por lo mismo, se prolongará el experimento en San Antonio Abad, con objeto de afinar y perfeccionar la Técnica, para poderla aplicar en Catedral con más seguridad.

Las obras preventivas en Catedral (Tensores, Apuntalamien

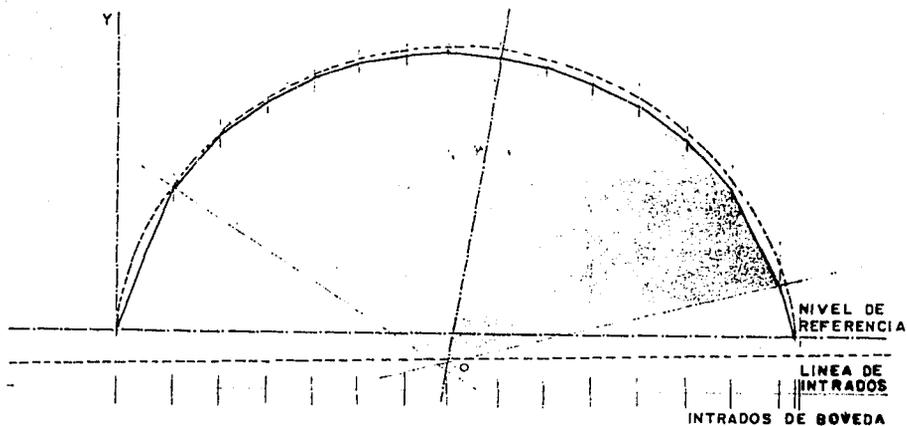
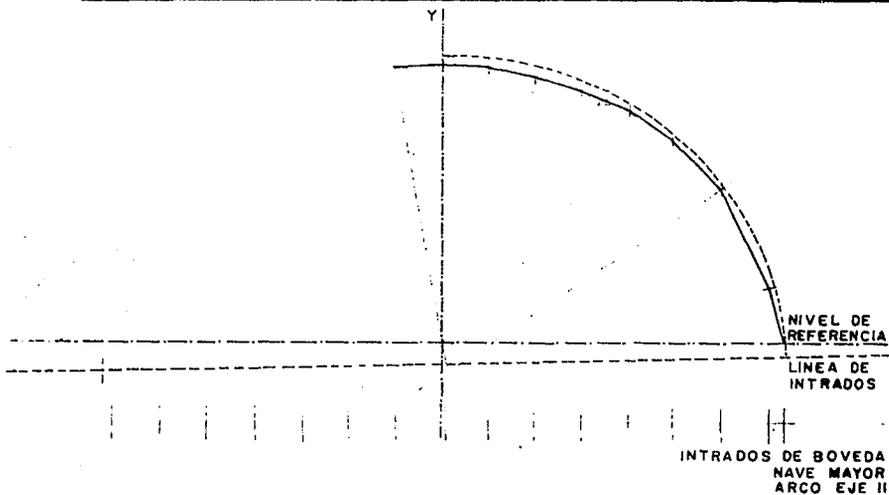
tos Metálicos y los Pilotes de Fricción Complementarios) -
ya se han implementado, y permitirán iniciar los trabajos
correctivos en fecha próxima. Además, la Catedral estará
protegida contra un eventual sismo.

La investigación sobre la forma construida ha permitido -
deducir el proceso de hundimientos que han afectado al Mo
numento.

De la comparación entre las medidas reales en el Edificio
y las ideales del proyecto se ha podido configurar el pi-
so de Feligresía en 1667, cuando se cierran las Bóvedas,
también el perfil de los hundimientos entre 1667 y 1805
en que Tolsá colocó las Balastradas, se registró en las
correcciones que para nivelarlas hizo en los pretilos so-
bre los arcos formeros de las bóvedas; a su vez esas ba-
laustradas, a nivel en 1805, registran la deformación de
des ese tiempo a 1991.

Estos hallazgos no son tan obvios como se podría suponer
ahora que ya se han logrado, exigen medir cuidadosa y --
exhaustivamente los elementos del Edificio, compara con la
medida ideal y encontrar en dónde se diluyó la discrepan-
cia para que no sea perceptible. Sólo la experiencia di-
recta del constructor y la formación de arquitecto son -
los argumentos que guían en ese trabajo.

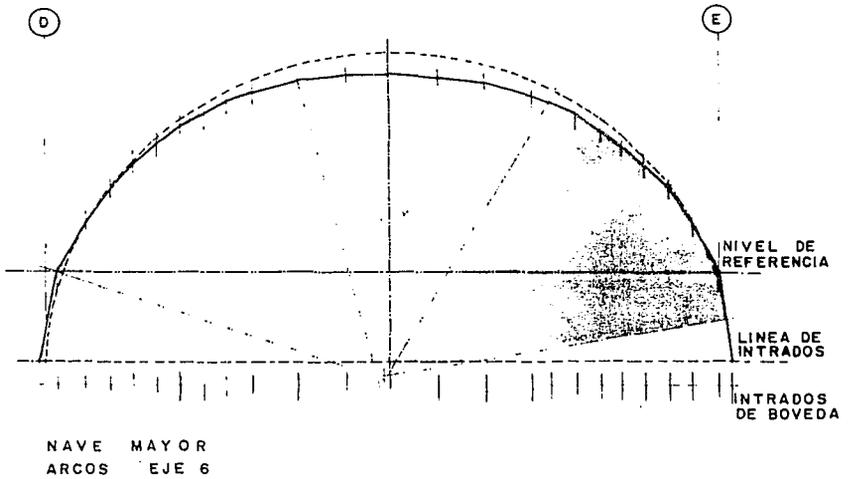
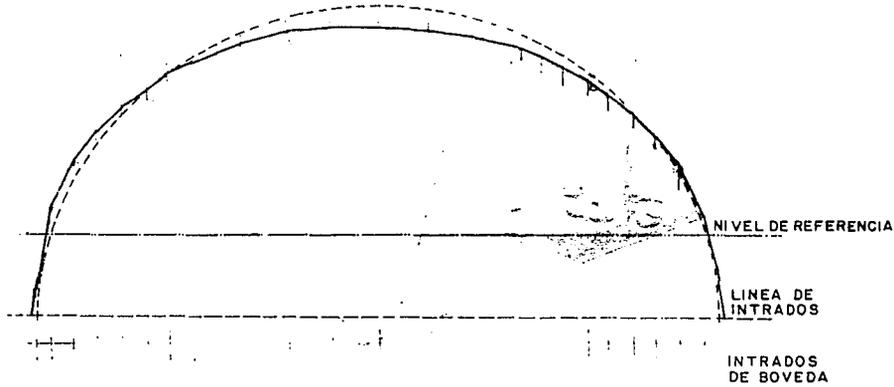
Interpretar el significado de esas correcciones incorpora



proyecto: ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
(ASESORIA PARA SU NIVELACION)

FACULTAD

ARQUITECTURA
UNAM



proyecto: ESTRUCTURACION DE LA
CATEDRAL METROPOLITANA
 (ASESORIA PARA S ILACION)

FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNAM

das a la fábrica misma del Edificio, trasciende las cuestiones de aspecto, son documentos descriptivos de un proceso geológico y son también los límites del proceso de las deformaciones.

En cuanto al proceso geológico se ponen los datos a la disposición de los interesados y por lo que se refiere a la corrección de la geometría, ilustran como podremos reponer la imagen del Edificio, a pesar de que no podremos recuperar la geometría ideal.

Esta información además se ha de interpretar en relación a las condiciones de estabilidad que se incluyeron antes, en sus dos aspectos, como condición de programa por lo dilatado del tiempo de ejecución y como precondition de la necesaria capacidad de corrección sin poner en peligro la estabilidad.

En el documento que consigna la trayectoria de las fuerzas de equilibrio hasta su contrarresto, se demuestra que los botareles exteriores no son necesarios para la estabilidad del Templo y esto explica que no existan en el costado -- oriente de la Nave Central a la altura del Coro y se construyeron por otras razones los que existen.

También la presencia de Tensores por arriba de la Bóveda, sobre la zona del Altar Mayor, confirma que este fenómeno de los hundimientos diferenciales ha estado presente desde

hace mucho tiempo, pero el conocimiento explícito del mismo sólo se alcanzó cuando la mecánica de suelos y la geometría alcanzaron mayoría de edad.

Ahora mismo y entre geotécnicos hay gran dispersión de criterios en cuanto a cómo enfrentarlo, pero el testimonio - del Edificio, las medidas correctivas que se han aplicado confirma la tesis que hemos sostenido de que solamente deben combatirse los hundimientos diferenciales, que la cimentación capaz es la de superficie, que el proceso de consolidación es inevitable en las condiciones urbanas actuales y que conlleva en sí los hundimientos diferenciales y aunque estuviera equivocada la idea de la preconsolidación por la historia de carga, subsiste la evidencia de que es el fenómeno cuyas consecuencias dañinas deben combatirse y que si no lo podemos frenar, sí podemos en cambio uniformar la velocidad del descenso en todo el Monumento.

Los resultados del ensayo en San Antonio Abad son alentadodo res. Por todo ello es razonable e indispensable aplicar - la subexcavación para controlar los daños al Monumento.

La subexcavación en sí es un proceso típico de ingeniería para corregir en el edificio de Catedral los daños del cambio de forma en la cimentación, respetando las exigencias que la estabilidad del mismo, el criterio de corrección de

daños a la superestructura y el manejo de la forma arquitectónica y estructural que en este caso establecen.

Las especificaciones generales que para el concurso de contratación se elaboraron son el Programa Arquitectónico para subexcavar con métodos ingenieriles.

El trabajo de levantamiento, dibujo e interpretación de la forma construida se realizó con la valiosa colaboración del Taller de Apoyo Técnico de la Dirección de la Obra de Catedral.

A quienes expreso mi agradecimiento por su tenacidad y su dedicación al trabajo.

PARTICIPANTES

NOMBRE	PERIODO
ARQ. JULIO MOCTEZUMA BARRAGAN	89-91
ING. FRANCISCO ENRIQUEZ MANRIQUE	89-91
MARIO ALBERTO PEREZ ALEJANDRE	89-91
GUADALUPE ESCAMILLA NAVARRO	89-91
MARIA DEL ROCIO GALINDO LOPEZ	89-91
JUAN MANUEL GUTIERREZ TORRES	89-91
JESUS ALFONSO VARGAS GONZALEZ	89-91
ROBERTO MARTINEZ PALMA	89-91
ARTURO GALAN FLORES	89-90
MIGUEL ALBERTO MEDINA PEREZ	89
BLANCA ANDREA GARZA INFANTE	90-91

ANA ELIZABETH BASURTO QUIJADA	91
IVONNE OCAÑA PEREZ	91
CLAUDIA MEDINA VILLAMAR	91
SAMUEL MARTINEZ LOPEZ	91
ISRAEL MARTINEZ RESENDIS	91
JAVIER GONZALEZ SANCHEZ	91
ENRIQUE GUERRERO HERNANDEZ	91
OSCAR MORALES LLAMAS	91
MAYRA RODRIGUEZ REYES	91

ANEXO IV

Juntas de Coordinación para la Catedral en 1990, a las que asistió el Mtro. Fernando López Carmona y cuyas minutas es tan en el archivo de la Dirección de Obras de la Catedral-SEDUE.

8 de enero	27 de julio
15 " "	20 de agosto
22 " "	27 " "
29 " "	3 de septiembre
6 de febrero	10 " "
12 " "	18 " "
16 " "	24 " "
19 " "	2 de octubre
26 " "	8 " "
5 de marzo	11 " "
12 " "	15 " "
19 " "	22 " "
26 " "	29 " "
2 de abril	5 de noviembre
10 " "	12 " "
23 " "	19 " "
30 " "	11 de diciembre
7 de mayo	17 " "
1 ^a de junio	<hr/>
13 " "	40 JUNTAS EN TOTAL
14 " "	
18 " "	

ANTECEDENTES Y PARTICIPACION

(ACTIVIDADES DESARROLLADAS A PARTIR DEL ACCIDENTE EN - EL ALTAR DE LOS REYES, EN ABRIL DE 1989).

El titular de la Dirección de Sitios y Monumentos de - la SEDUE, Arq. Sergio Zaldívar Guerra, encomendó al - Arq. Fernando Pineda Gómez, Director de Obras de Res- tauración, organizar los trabajos necesarios para abor- dar el problema de los graves deterioros de Catedral.

A) Elaboración del diagnóstico inicial

Los arquitectos Fernando Pineda Gómez y Fernando López Carmona, asesor estructural de la Dirección General de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cul- tural, a partir de la observación de las grietas de las bóvedas y las pilastras y de los hundimien- tos en las esquinas N.E. y N.O. de Catedral y de los niveles de ambos edificios, solicitaron la co- laboración del Sr. Ing. Enrique Santoyo Villa, en los aspectos geotécnicos del tema, que juzgaron - fundamentales en el caso.

B) Organización de los trabajos.

Se dividió la investigación del problema en dos - condiciones: la estabilidad de la superestructu- ra y la investigación del subsuelo; ambas exigían

trabajos de campo y análisis de gabinete.

Por eso se organizó un taller de arquitectura en la ex-curia para investigar la geometría y deformaciones del monumento y el grupo de topografía, para investigar niveles y hundimientos del suelo; también se inició una campaña de investigación del subsuelo

El análisis de gabinete a cargo del grupo inicial de los señores López Carmona, Pineda Gómez y Santoyo, se confrontó con el grupo de consultores, formado por los señores Dr. Marcos Mazari, Dr. Roberto Milli Piralla del Instituto de Ingeniería de la UNAM, quienes a su vez incorporaron a quienes juzgaron convenientes en cada etapa.

C) Dirección de las áreas de trabajo.

Los tres miembros del grupo abordaron un aspecto cada uno: el Arq. Pineda, de acuerdo con el Arq. Zaldivar, organizó la contratación, los trabajos de topografía en la zona, con IMMASA, y dentro de los monumentos con HIPLAC; formalizó con el apoyo y asesoría del Ing. Santoyo a la empresa TGC, para investigar la condición real del subsuelo mediante exploraciones con cono eléctrico y también para evaluar la condición real de los

pilotes de control instalados en 1975; y con el apoyo del Arq. López Carmona, contrató y organizó el trabajo de investigación de la geometría de las deformaciones en los edificios de Catedral, del Sagrario, de la Ex-curia y de la Capilla de Animas.

Los tres iniciaron de inmediato el trabajo de gabinete.

D) Organización de medidas de protección al Monumento.

Del diagnóstico inicial y de los calendarios del trabajo de investigación, se decidieron acciones preventivas inmediatas, la primera fue instalar un sistema de tensores transversales y longitudinales en el nivel de las impostas de las naves procesionales siguiendo y aprovechando la experiencia del que se usó en el Claustro de Sor Juana, por señores Pineda y López Carmona; se diseñó el sistema en el Taller de Catedral, se contrató y ejecutó por SEPSA; en su parte urgente y fundamental quedó listo a mediados de 1990; en función de otras obras de protección se coordina la instalación de elementos complementarios del sistema de tensores.

La otra medida que se intentó sin éxito, habría sido controlar el giro hacia afuera de las crujeas longitudinales de las fachadas oriente en Catedral y Sagrario y la sur del Sagrario, en su esquina oriente, junto con la porción nor-occidental de Catedral.

Se pensó que los pilotes de control podrían ayudar y se solicitó al Sr. Ing. Miguel Rivero Carranza y al Arq. Agustín Salgado Aguilar su colaboración. La relación de ese intento está consignada en las actas de las juntas de trabajo celebradas en Culiacán Núm. 123.

- E) Exploración de medios y posibilidades de solución al problema.

Simultáneamente a las acciones descritas arriba y mientras los geotécnicos recabaron información que luego interpretarían, los señores Pineda, López - Carmona y Santoyo, sostuvieron un ciclo de reuniones de trabajo analizando los daños y sus consecuencias.

Confrontando la información de la geometría deformada, el avance en la exploración del sistema de pilotes de control y la información que los sondeos de cono aportaban; la acción combinada del trabajo

y los conocimientos de cada uno de los participantes permitió confirmar el diagnóstico inicial, revisar resultados de los trabajos previos en el edificio; explorar, analizar y deducir métodos de construcción, métodos de corrección de las deformaciones durante la construcción y concepción total del sistema constructivo del monumento.

F) Definición del problema de la estructura.

Cuanto la exploración del suelo y la investigación de los hundimientos estuvieron completos en diciembre de 1989, fue posible sumar y confirmar los logros de las tres facetas del problema y definir que la cimentación original es la única capaz de soportar al edificio, no sólo para carga sobre el suelo sino además, porque constituye parte fundamental del sistema de la superestructura. Que es deseable que el edificio siga el suelo en su descenso pero que los hundimientos diferenciales deben controlarse. El problema consiste en el cambio de sollicitación al subsuelo por razón de la sobre-explotación de los acuíferos que aplica una carga uniforme sobre el terreno, cuya historia de carga produjo una consolidación desigual.

La consecuencia de eso se traduce en diferentes velocidades de hundimiento en zonas identificadas

del monumento y como consecuencia de todo eso, induce giros hacia afuera en el sistema de contrarrestos y hundimientos desiguales entre el ábside, la cúpula y el resto del edificio, con un punto crítico en la torre poniente.

G) Establecimiento del criterio de solución.

Crear un sistema de control de hundimientos que permita uniformar el descenso de la estructura desacelerando las zonas más consolidadas y acelerando las zonas más consolidadas para que siga el paso de las zonas que establecen la velocidad de descenso dominante.

H) Juicio y definición del método de control.

H-1) Completar los pilotes necesarios para soportar todo sobre pilotes.

La Catedral pesa 127,000 Tons. (Guerrero y Gama - 1975), de los pilotes de 1975, (380) son confiables únicamente 118 aproximadamente y significan 11,800 Tons.; faltan pues - 115,200 Tons. que a 100 Tons. por pilote - son 1,152 Pilotes adicionales cuyo hincado significa la destrucción de la actual cimentación ya que sería un pilote c/6 m2., d'c 2.5 m. en ambas direcciones, sin descontar

el espacio ya ocupado por los colocados en 1975.

H.2) Pilas de gran capacidad abajo de c/pilastra y en el perímetro.

Las pilastras ya estan rodeadas por las -- obras de 1975 y ya no pueden aceptar las pi las.

Los puentes que se necesitan para ubicarlas donde ahora se puede, volverán a destruir - la cimentación actual.

H.3) Incrementar la capacidad de carga en los pe rímetros críticos y por fuera, con pilotes de punta sobre la primera capa dura para - frenar por fricción negativa su velocidad - de hundimiento, y acelerar el descenso de - las zonas duras por el método de subexcavación.

H.4) De la suma de todo eso y por eliminación de cada opción, se alcanzó por fin consenso so bre la utilización de la subexcavación, com binada con los pilotes útiles que existían y los complementos necesarios para controlar los hundimientos diferenciales.

I) Conclusiones de la investigación.

NO ES POSIBLE, NI DESEABLE EVITAR QUE LA CATEDRAL SIGA AL SUELO EN SU DESCENSO.

Es indispensable detener las deformaciones diferenciales y para eso hay dos acciones: una de freno y otra de acelerador, que deben corregir las diferencias en velocidad de hundimiento de los distintos segmentos del edificio.

El freno es la acción de fricción negativa que los pilotes de punta hincados en 1972 ejercen, y el - acelerados, debiera ser la subexcavación.

J) Establecimiento de un plan de acción correctiva.

J-1) En la primera campaña de trabajo correctivo habrá una acción de corrección enérgica de los daños acumulados y luego una labor de - mantenimiento permanente que evitará que es tos se vuelvan a acumular.

Así, en la primera quincena de 1990 se estableció el plan de trabajo que, consultado - con la comisión y con la aprobación del - Arq. Zaldivar, se expresó en la junta del - día 8 de enero de 1990, según acta de la - reunión en la oficina del Arq. Pineda.

J.2) Este plan contempla apuntalar las crujías de contrarresto y las naves procesionales, para hacer que giren como cuerpos rígidos hacia dentro, al subexcavar las zonas duras indicadas, abajo del abside y de la - cúpula.

J.3) Colocar un freno en el perímetro de abside de la Catedral y en los vértices orientales del sagrario.

Subexcavar las crujías centrales del monumento.

De este plan se derivaron: la colocación de 36 pilotes en la porción norte perimetral exterior de la Catedral y 27 en el - Sagrario; pilotes de fricción negativa capaces de 400 Tons. cada uno, que a través de soportar el subsuelo, reducirán la velocidad mayor del hundimiento en las esquinas menos consolidadas.

K) Instalación de los puntales.

La propuesta inicial para apuntalar la catedral suponía una estructura "AD HOC" con uniones soldadas. Los funcionarios de SEDUE valorando el -

tiempo y la recuperación, posibilitaron la adquisición de un sistema versátil de apuntalamiento - con tubería y uniones de producción nacional.

La Empresa ganadora del concurso, "EXACTA", sometió un proyecto de uso de sus materiales elaborado por el sr. Ing. Hilario Prieto, de FASA.- Se verificó el esfuerzo de diseño para las cargas, que - proporcionó el Taller de Catedral y resultó aceptable, por lo que se autorizó la erección del apuntalamiento. Sin embargo, para dar por recibida oficialmente la obra, el Director de las obras de Catedral exige una prueba de carga a todos los elementos del sistema y del proyecto de apuntalamiento.

Esa prueba debe ser complementada por "EXACTA" y tendrá tres ciclos de carga: para acomodo, ajuste y corrección, las dos primeras, y una tercera a - 1,800 k/cm² de esfuerzo sobre tubería y conexiones. La prueba deberá controlar fuerzas, deformaciones y permanencia de la respuesta ante las cargas de - prueba; para controlarla se solicitó el apoyo de - la CIA. MTRONIC, S.A. del Ing. Alfredo Olivares, - cuya experiencia en el área de control y medición de esfuerzos está avalada por su curriculum de investigador de la UNAM.

También "METRONIC" deberá instrumentar en San Antonio Abad y en la Catedral, los elementos de control de esfuerzos.

Y deformaciones en tensores y tuberías y en Catedral, además los tres marcos rígidos de acero que se solicitaron como comparadores de la respuesta de los arcos. En el eje (D) entre los ejes (2) - y (3) y (3) y (4) y sobre el eje (3) entre los ejes (D) y (E).

Se busca medir, con materiales de características confiables, tanto esfuerzo como deformaciones en el proceso de subexcavación, estos marcos a flexión y con continuidad, son "modelos típicos" de estructuras hiperestáticas, y de su comparación con el esqueleto de piedra que apuntalarán, se podrán deducir las solicitaciones que los arcos debieran soportar si no estuvieran apuntalados. Esa información sin duda, será útil para comprender cabalmente el proceso, y lo que debe reforzarse, si se juzga necesario.

L) Clarificación de procedimientos.

El proceso de refinamiento de los métodos para subexcavar la Catedral, para ello se propuso y fue aprobado, el plan de investigación en el Tem-

plo de San Antonio Abad, donde ya se ha probado - que se puede subexcavar controlando el estrato - adecuado, el volumen y la ubicación de la extracción del material; que se puede frenar y detener el movimiento que en el edificio se induce, y que éste puede apuntalarse para que actúe como un - cuerpo rígido.

M) Estamos en la etapa final de la investigación buscando el rango de deformación máxima admisible en la superestructura, para con esa información controlar el proceso correctivo de la Catedral.

N) Del proceso de apuntalamiento en Catedral, ya se inician las pruebas de carga previa para garantizar la efectividad de todo el sistema.

O) Verificación de resultados.-

Los pilotes ya hincados, vigilados por la nivelaciones, ya están actuando.

P) Medidas complementarias de protección al entorno.

Una consecuencia de la acción de los pilotes en el perímetro de la Catedral es que la Capilla de Anímas y la Ex-curia serán afectadas por el cambio inducido en el suelo. Se solicitó y fue autorizado por el Arq. Zaldivar, hincar 10 pilotes -

en el piso de la capilla, libres de fricción, y - apoyados de punta en el estrato duro. La Capilla de Animas además esta afectada por la Línea No. 2 del Metro, que pasa al norte de la misma.

La Ex-curia, con los elementos de concreto, como liga horizontal, que se le incorporaron en 1975, está en mejor condición para soportar el problema y solamente esta en observación.

Q) Análisis de la estabilidad (abril - mayo 1990)

La condición de estabilidad de la Catedral fue - analizada en gabinete por el Arq. López Carmona, durante los meses de abril y mayo de 1990 para - cuantificar los esfuerzos, pero sobre todo, para conocer la función específica de cada uno de los elementos que constituyen al Monumento. Se ubicó así la trayectoria de las fuerzas gravitacionales desde el punto en que se aplican hasta la cimentación.

Se verificó en ese proceso, la condición de equilibrio estable de cada elemento, ya que el proceso constructivo, dilatado en tiempo, exige concebir un sistema eslabonado de componentes estables, que canalicen a los ejes previstos las acciones - que se generan en ello, y transmitan las que se -

les aplicarán en los siguientes pasos del proceso, para constituir, al final, el conjunto catedralicio.

Lo anterior debe quedar claramente comprendido para juzgar las consecuencias de lo que la subexcavación inducirá durante el proceso correctivo de las deformaciones peligrosas.

El análisis, puramente estático, se efectuó con el procedimiento analítico basado en los métodos de integración numérica; el criterio de comportamiento frágil de las mamposterías debido a la incapacidad inherente al material para desarrollar esfuerzos de tracción, se usó para determinar las constantes de integración.

Los resultados de cargas verticales sobre pilastras concuerdan muy bien con los del Ing. Guerrero y Gama, y de la aplicación de aceleraciones horizontales que determinan un diagrama de fuerzas cortantes parabólico a la condición crítica de estabilidad - (resultante en el tercio exterior del muro de fachadas), la capacidad de la estructura resultó de $P/8.33$. Lo que confirma el criterio sustentado por la comisión, de que el problema está en las deformaciones del suelo y no en un edificio con tres

cientos veinticinco años de vida útil.

- R) En la actualidad con la experiencia ya acumulada y en base al análisis de estabilidad hecho por la comisión en abril y mayo de 1990, se elabora el plan para subexcavar las crujiás centrales de ambos edificios.

Pronto se tendrá el proyecto ejecutivo de estos trabajos, pero no se debe festinar, ni el volumen, ni el lugar, ni el método. Todo eso se analiza con detenimiento, junto con los métodos de control.

Relativo al volumen, al lugar y el método, el criterio será buscar limitar y confinar las deformaciones a una zona cada vez, de manera que una vez reparada ya esta zona sólo se desplace como cuerpo rígido para seguir el reacomodo total, pero ya con su deformación "curada".

Lo anterior exige un enfoque total del proceso a través de un sistema de planos de corte crecientes, desde la zona más alta hacia abajo así, si el primer corte afecta los elementos del abside se detendrá hasta repararlos, el siguiente afectará a otra zona circundante a la inicial donde habrá deformaciones que deberán "curarse", pero

a la primera zona ya sólo la hará seguir el movimiento. Los cortes seguirán creciendo sucesivamente hasta que el último afectará a todo el Monumento en cuanto a su posición relativa al entorno pero sólo deformará a la última frontera entre lo ya tratado y lo que se tratará entonces.

El sistema de planos de corte puede ser horizontal o inclinado e incluso pueden ser superficies no planas, pueden ser equidistantes, paralelos o radiales, pero cada paso debe ser muy específico en cuanto a la zona que afectará para poder así ir garantizando paso a paso la seguridad de la Catedral.

Mantenimiento, trans-operatorio y posterior.

- S) El mantenimiento permanente posterior a esta operación se controlará con un sistema de niveles - de agua y consistirá en evitar que las diferencias en los asentamientos rebasen el valor tolerable para estructuras, usando los dispositivos instalados para el trabajo ya descrito.

El mantenimiento trans-operatorio se hará instrumentando los tensores transversales en las zonas de afectación ya descritas, con galgas electrónicas (STRAIN-GAGES), así como los puntales de esas zonas.

Se usarán galgas transferibles de ubicación, de modo que unas mas adelante releven a las iniciales que queden distantes de las zonas afectadas y así controlar exhaustivamente la zona crítica en cada paso.

Además y por elongación únicamente se controlarán todos los tensores permanentemente durante el trabajo. Esto, junto con el registro de las plomadas, son el elemento fundamental de una visión total del proceso.

La geometría de los arcos se controlará con puntos de nivelación por el extrados y sobre las azoteas del Templo.