

LAT 1615

{ INFOBILA }



BIBLIOTECA CENTRAL
Ciudad Universitaria
Julio de 1987

LAT 1615

INFOBILA

BIBLIOTECA



CENTRO UNIVERSITARIO
DE INVESTIGACIONES
BIBLIOTECÓLOGICAS

CORRELACION ENTRE CARACTERISTICAS DINAMICAS
OBSERVADAS Y CALCULADAS DE UN EDIFICIO

Patrocinado por:

PATRONATO UNIVERSITARIO

Elaborado por:

Neftalí Rodríguez Cuevas
Ricardo González Alcorta

Proyecto 7703

Julio de 1987

INFOBILA

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION
3. VIBRACION AMBIENTAL
4. MEDICIONES CON ULTRASONIDO
5. MODELO MATEMATICO
6. CORRELACION EN PROPIEDADES DINAMICAS
7. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS
8. RESULTADO DE LA REVISION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
9. COMENTARIOS FINALES
10. RECONOCIMIENTO
11. REFERENCIAS

APENDICE

TABLAS Y FIGURAS

1. ANTECEDENTES

El edificio de la Biblioteca Central en Ciudad Universitaria, construido entre 1949 y 1952, fue proyectado por el Arq. Juan O'Gorman, en colaboración con los Arqs. Gustavo Saavedra y Juan Martínez de Velazco.

Consta de un cuerpo horizontal (fig 1) con fajas visibles de piedra volcánica, vidrieras y grandes superficies de onix traslúcido, con muros de piedra con relieves inspirados en motivos del mundo indígena prehispánico.

Sobre el cuerpo horizontal se construyó una torre vertical con 15 niveles, que en su unión con el cuerpo horizontal presenta un piso abierto con vidrieras. De ahí en adelante aparecen diez pisos con murales pictóricos a base de mosaicos de piedras de colores naturales en los cuatro muros periféricos

de la torre en los que se plasmaron símbolos importantes en la historia nacional (ref 1).

Interesó analizar el comportamiento estructural de dicho edificio a fin de evaluar su seguridad real, a fin de proceder a la restauración de los murales, formados por piedras de los colores posibles de encontrar en la República Mexicana.

Describe O'Gorman (ref 1) que logró establecer una colección de 150 piedras diferentes. En el estado de Guerrero encontró piedras amarillas, rojas y negras; varios colores verdes provienen de Guerrero y Guanajuato. De Hidalgo obtuvo piedras volcánicas de color violeta y dos calcedonias de color rosa. Después de una búsqueda en Pino Solo, Zacatecas, logró encontrar una calcedonia azul.

Seleccionó O'Gorman diez colores básicos para hacer los mosaicos:

1. Rojo Venecia
2. Amarillo Siena
3. Rosa con tintes de color salmón
4. Rosa con tendencia a violeta
5. Gris violáceo
6. Gris oscuro del pedregal
7. Obsidiana negra
8. Calcedonia blanca y mármol blanco
9. Verde en dos tonos

10. Vidrio azul coloreado en trozos y triturado

Con esa gama de colores consideró que tenía certidumbre de la permanencia de colores en el transcurso del tiempo, para resistir la intemperie, los rayos solares, las lluvias y los cambios de temperatura.

Con los mosaicos se cubren los 2700 metros cuadrados que representan los muros laterales de la torre, en los cuales, debido a acciones térmicas de contracción y expansión, así como a la acción erosiva del granizo y la lluvia, se ha provocado el desprendimiento de algunas de las piedras que forman los murales.

Cabe aquí mencionar el procedimiento seguido por O'Gorman (ref 1) para formar los murales:

"Sobre cada plantilla se indicaban los colores de las piedras que tenían que colocarse según el dibujo marcado. Cada plantilla llevaba un número y letra que la situaba exactamente en el diseño general... El albañil encargado de hacerlas, colocaba la pedacería de piedras de colores sobre las plantillas y sobre esta pedacería de piedra se hacía un pequeño colado de mezcla de cemento y arena, para que la mezcla fuera un poco dura, con el propósito de que no escurriera ni manchara la parte visible del mosaico, que llevaba el dibujo de la plantilla..."

"Este pequeño colado servía simplemente para detener las piedras en su lugar y sobre éste se colocaba la cuadrícula de fierro de alambón de un cuarto de pulgada, que servía de estructura del precolado."

"Después se colaba el molde hasta llenarlo totalmente, con revoltura de cemento, arena y gravilla y se dejaba que estos precolados fraguaran perfectamente en el mismo sitio en que se hacían. Este sitio estaba cerrado y sin ventanas al exterior, y era muy húmedo para que fraguara el cemento con mayor dureza. A los dos días se levantaban los precolados, se limpiaba la superficie de la piedra del mosaico y se almacenaban en una bodega, listos para colocarlos en su lugar, sobre los muros exteriores de tabique de los acervos de la biblioteca".

"El muro de tabique tenía una cuadrícula de varilla de fierro anclada, para detener las placas de mosaico. Cada uno de los precolados se llevaba a su sitio y se colocaba en cuatro anclas amarradas al fierro de la cuadrícula del muro. Posteriormente se colaba el espacio entre el muro y el precolado".

La acertada selección de O'Gorman del sistema constructivo para el mural resultó importante en el comportamiento dinámico de la torre de la Biblioteca Central durante los sismos de septiembre de 1985, ya que proporcionó rigidez adicional

a los entrepisos superiores y evitó la aparición de daño en columnas y trabes de la estructura. La revisión ocular del mural mostró claramente que ninguno de sus muros interiores de soporte, ni los paneles que forman al mural, sufrió daño ocasionado por los sismos antes mencionados.

Sin embargo, al efectuar la inspección visual y al revisar las fotografías que se adjuntan en el apéndice (figs 2 a 5), se notó el desprendimiento de un número considerable de cristales azules que forman el mural, así como de otras de las piezas componentes.

En las fotografías a colores que forman parte de este informe, se observan diversas zonas del mural, tanto en las fachadas laterales de la torre, como en el apéndice formado por el cubo de elevadores y tanque que se encuentra en la azotea del edificio; se observa en ellas a los espacios vacíos dejados por las piezas faltantes en el mural, en el instante de tomar las fotografías, durante el mes de junio de 1987.

Se estima que una de las causas probables para la caída de materiales de los murales es la diferente textura de los materiales seleccionados y el mortero que las sostiene; así mismo los efectos de cambios de humedad, los diversos coeficientes de dilatación de los materiales y acciones de carácter químico pueden provocar cambio en la adherencia entre los materiales. Cabe mencionar aquí que algunos de los materiales que forman el mural se encuentran relativamente mal

adheridos y al presentarse efectos de intemperismo, como son lluvias y granizo, provocan su desprendimiento y la caída de piedras de colores del mural.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Interesó conocer las causas del desprendimiento de las piedras que forman los murales exteriores, así como analizar si las vibraciones ambientales y aquellas producidas por sismos intensos, podrían provocar daño en los murales y en la estructura de concreto reforzado que forma y sostiene a la torre central de la Biblioteca Central de Ciudad Universitaria.

Por ello se elaboró un programa de investigación que contempló los siguientes aspectos:

- a) Inspección ocular cuidadosa
- b) Mediciones de la vibración ambiental de la estructura
- c) Estimación de las propiedades dinámicas del concreto mediante pulsos ultrasónicos controlados
- d) Análisis estructural mediante micro-ordenador digital, a fin de conocer las características de la respuesta estructural de la torre
- e) Correlación entre resultados experimentales y datos obtenidos del análisis estructural
- f) Revisión de elementos estructurales

g) Elaboración de un informe final

Durante la revisión ocular se mantuvo estrecha colaboración con la Dirección General de Obras de la UNAM, quienes proporcionaron los planos constructivos del edificio. Después de la revisión se informó a ellos de algunos defectos detectados en la zona de escaleras, consistentes en defectos constructivos en el terminado de muros y daño provocado por constructores para fijar sistemas de tuberías en traveses localizadas en la zona oculta del cubo de escaleras.

La Dirección General de Obras procedió a perfilar los muros y reparar los defectos observados en traveses, por lo que se ha mejorado ya el comportamiento de la estructura del edificio.

La revisión ocular mostró desplazamientos diferenciales importantes en algunas partes del sistema de piso, provocados por el carácter viscoelástico del material que forma la estructura y por el exceso de carga que se colocó en algunas partes de la estructura en épocas pasadas. Ya se ha disminuido el nivel de carga en todo el edificio, para disminuir la velocidad de deformación.

En algunas traveses se detectaron grietas producidas por el trabajo en flexión de ellas; el número de grietas se encuentra en niveles aceptables. La existencia de dichas grietas elimina el trabajo en tensión del concreto en la zona agrietada, pero esto es comunmente aceptado en la revisión

estructural de elementos de una estructura de concreto reforzado.

No se observó daño alguno en las conexiones de trabes a columnas, ni en las columnas, que indicaran peligro para la estabilidad de la estructura.

3. VIBRACION AMBIENTAL

Durante las dos primeras semanas del mes de marzo de 1987 se llevaron a cabo las mediciones de los efectos de la vibración ambiental de la estructura de la Biblioteca.

Para ello se siguió la técnica desarrollada en el Instituto de Ingeniería para identificar los periodos naturales de vibración, así como las formas características de vibración (ref 2).

Se instalaron 7 placas de acrílico adheridas a la estructura de concreto. Tres se colocaron en la azotea, sobre la diagonal NE-SW; una, en el descanso frente a los elevadores del nivel ocho; otra, en el nivel dos, sobre la misma vertical de la anterior y dos placas en la planta del sótano, en las columnas.

Dichas placas se adhirieron con acero líquido a la estructura para que permanezcan en su lugar por tiempo indefinido, a fin de que en el futuro se puedan repetir las mediciones, después de sismos intensos y juzgar el estado en que se

encuentra el edificio.

A las placas se atornillaron acelerómetros Syntron Donner, modelo 4310, conectados con cables blindados a un sistema de amplificación, filtrado y medición, formado por:

- a) Acondicionadores de la señal captada por los acelerómetros
- b) Osciloscopio para observar la señal de entrada
- c) Filtro para evitar el registro de vibraciones de alta frecuencia
- d) Analizador de espectros de Fourier.

La observación y registro de las vibraciones ambientales mostró claramente que en el terreno que circunda a la Biblioteca Central existe vibración de alta frecuencia provocada por ondas superficiales, la cual genera el movimiento de la estructura en formas características, cuyas propiedades se pueden asociar a aquellas obtenidas del análisis estructural.

La magnitud de las aceleraciones del terreno resultó ser extraordinariamente baja en comparación con aquellas observadas en la zona del lago de la ciudad de México.

En la tabla I se resume el resultado de las mediciones de la vibración ambiental. En la fig 6 se comparan las formas características obtenidas por medición y aquellas calculadas con ordenador digital.

Cabe aquí mencionar que durante el análisis estructural se generó un modelo representativo del edificio en vibraciones de pequeña magnitud, manteniendo como marco de referencia a los resultados obtenidos de la vibración ambiental, a fin de incorporar en el modelo a los elementos que contribuyen a definir las formas características de vibración de la estructura.

Mas adelante se menciona la correlación lograda entre el modelo matemático y las mediciones efectuadas en la estructura.

4. MEDICIONES CON ULTRASONIDO

Para conocer la homogeneidad del comportamiento del concreto reforzado del edificio, se recurrió a la técnica de medición de la velocidad de pulsos ultrasónicos en diversos puntos de la estructura, a fin de juzgar sobre los siguientes aspectos:

- a) Homogeneidad del concreto en las columnas del edificio
- b) Detección de grietas, vacíos y otras imperfecciones
- c) Estimar la calidad del concreto en relación a normas de aceptación
- d) Definir valores estadísticos que permitan conocer el módulo dinámico de Young medio del concreto reforzado
- e) Estimar la dispersión de resultados de la medición

En la literatura técnica existen normas que controlan el uso de la técnica de ultrasonido, entre las que se pueden

mencionar ASTM C 597-71 y BS 4408, parte 5, para conocer la velocidad de transmisión de pulsos ultrasónicos, en trabes y columnas del edificio en estudio.

Se utilizó un equipo generador de pulso ultrasónico que disponía de un emisor un receptor equipados con cristales piezoeléctricos de cuarzo. El pulso se transmitió en la frecuencia de 20 000 Hz, anotándose el tiempo de tránsito en el elemento estructural en estudio.

Se efectuaron mediciones en forma indirecta, colocando los sensores a una distancia de 30 cm, a fin de conocer la celeridad de las ondas en columnas y trabes.

Se realizó un muestreo sistemático en por lo menos cuatro columnas por piso, y en aquellas trabes en las que se detectaron daños aparentes, producidos por sobrecargas en algunas zonas de la Biblioteca Central.

Se obtuvieron velocidades de propagación en 70 columnas de la estructura y en 12 trabes; en las columnas se obtuvo un valor medio de 3228.5 m/s, con un coeficiente de variación de once por ciento, lo cual muestra una dispersión de resultados común en mediciones en estructuras de concreto.

Existe evidencia (ref 3) obtenida en pruebas controladas, que muestra una alta correlación entre la velocidad de propagación del pulso ultrasónico en concreto y el módulo de Young

dinámico. La fig 7 muestra la variación de los datos experimentales respecto a una recta de ajuste, lo que indica que el uso del método de pulsos ultrasónicos proporciona una buena estimación del módulo dinámico de Young. La misma fig 7 muestra también que el módulo de Young varió en cada uno de los pisos de la estructura. Esta distribución se utilizó para el análisis mediante programa, a fin de reproducir las características reales del concreto reforzado que forma la estructura.

Los criterios de evaluación de la calidad del concreto, mencionados por Agarwall y otros, indican que en concretos de buena calidad, la velocidad del pulso es superior a 3 km/s; cuando la calidad es intermedia, la velocidad se encuentra comprendida entre 2.5 y 3 km/s; cuando la velocidad es inferior a 2.5 km/s se considera que el concreto tiene una calidad pobre.

En el edificio de la Biblioteca Central la distribución de velocidades de propagación se identificó mediante un histograma que resultó ser binormal; el veintiséis por ciento de las mediciones mostraron calidad intermedia del concreto, mientras que el setenta y cuatro por ciento restante resultó de buena calidad. Se hace notar que el histograma presenta un máximo en 3.1 km/s, mientras que el segundo máximo se encuentra en la vecindad de 3.5 km/s.

En algunas trabes de los niveles 2 y 3 del edificio se notaron niveles de velocidad relativamente bajos, por la existencia de agrietamiento capilar en la zona de tensión del centro de las trabes del sistema de piso, provocado por la sobrecarga existente antes del sismo de 1985.

Por lo anterior, las pruebas con ultrasonido mostraron que las propiedades del concreto de la estructura satisfacen condiciones de calidad suficientes para un buen comportamiento estructural.

5. MODELO MATEMATICO PARA ANALISIS ESTRUCTURAL

5.1 Esquema de cálculo seleccionado

Se seleccionó el método propuesto por el programa SUPER-ETABS (ref 4) que realiza análisis lineales de estructuras sometidas a la acción de cargas estáticas y dinámicas.

La estructura se idealiza mediante un sistema de subestructuras formadas por marcos y muros de cortante, interconectados por diafragmas de piso, que se consideran rígidos en su plano.

El programa admite tres grados de libertad por diafragma, dos desplazamientos horizontales de traslación y una rotación rígida alrededor de un eje vertical que coincide con los centros de cortante de cada nivel.

El programa puede obtener la respuesta global de una estruc-

tura sometida a la acción de cargas verticales y sísmicas, y proporciona los desplazamientos por piso, las fuerzas cortantes por piso, los momentos torsionantes y los momentos de volteo en cada nivel, y toma en consideración los efectos P- Δ en su análisis.

Permite además obtener los elementos mecánicos generados por la respuesta global en cada uno de los elementos de la estructura considerados en el análisis.

El programa se manejó en un microordenador digital AT, con 512 KB de capacidad, con un coprocesador 80287-6 (8 MHz).

5.2 Modelo representativo de la Biblioteca Central

Se seleccionaron once marcos diferentes, de 17 niveles y un número variable de crujeas, para integrar el modelo matemático de la estructura, tal como se ilustra en la fig 8.

Se seleccionaron las secciones transversales de trabes y columnas que aparecen en los planos originales que se usaron durante la construcción del edificio, para definir las características geométricas de los marcos. Para establecer las características de rigidez, se aceptaron los valores de módulo de Young correspondientes a aquellos obtenidos de las pruebas de ultrasonido.

Se consideró la existencia de muros interiores, así como de aquellos que forman los muros exteriores de la Biblioteca,

en aquellos marcos en los cuales aparecían dichos elementos.

Asimismo, se tomó en consideración la existencia de escaleras y del apéndice en la azotea del edificio, donde se localiza el equipo de elevadores y dos tanques de agua, cada uno de ellos con 25 m^3 de capacidad.

Por las características del programa SUPER-ETABS, se introdujeron elementos ficticios, con propiedades de rigidez prácticamente nulas, para completar los marcos que presentaban irregularidades en su geometría, así como para igualar la altura en todos los marcos de la estructura.

El modelo resultó así simétrico en la dirección Norte-Sur, mientras que en la dirección EW se presentó asimetría, debido a la existencia del apéndice en la azotea del edificio.

Fue necesario considerar la existencia de los muros exteriores adicionados al mural, desde el nivel 6 hasta el nivel 15 y se incluyó su rigidez a la flexión y a la fuerza cortante. Para simular la rigidez torsional del conjunto de muros, se consideró la existencia de una distancia ficticia en los muros extremos de los marcos tipo 2, compatible con el valor calculado según el teorema de Bredt.

5.3 Cargas seleccionadas en el análisis

Se consideró la existencia de carga muerta producida por la

acción de la aceleración de la gravedad en todos los elementos estructurales y en los sistemas de piso.

Se aceptó una carga viva congruente con la distribución real de estantes, libros y escritorios, así como en las áreas de pasos perdidos. Para las zonas con almacenamiento de libros, se aceptó una carga máxima de 600 kg/m^2 , 150 kg/m^2 en salas de lectura y oficinas y 100 kg/m^2 en las áreas destinadas a circulaciones.

Los tanques de la azotea se consideraron totalmente llenos de agua, con un peso volumétrico de 1 ton/m^3 . Para los muros divisorios de tablaroca y aluminio se aceptó una carga de 20 kg/m^2 , mientras que por m^2 de los muros de tabique se consideró una carga de 280 kg/m^2 como peso muerto. Para los paneles que forman el muro exterior de la Biblioteca se aceptó la existencia de un muro de concreto equivalente, con un peso volumétrico igual a 2400 kg/m^3 .

En la tabla 3 del apéndice de este escrito se condensan las cargas seleccionadas para el análisis por cargas verticales de la estructura.

Para fines de revisión de la acción sísmica se seleccionaron cuatro alternativas:

- a) Análisis estático de reglamento, con $c = 0.16$ y $Q = 2$, tomando la totalidad de carga vertical

- b) Análisis espectral, con 12 modos de vibrar, seleccionando los espectros de respuesta correspondientes al sismo del 19 de septiembre de 1985, mencionados en la ref 5, que se muestran en las figs 9 y 10, con las condiciones de carga existentes en la torre durante las mediciones de vibración ambiental
- c) Análisis espectral usando los espectros de diseño propuestos en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref 6)
- d) Análisis estático, con la carga existente en el edificio durante la medición de vibración ambiental, con $c = 0.16$ y $Q = 2$

En el análisis de la estructura mediante programa se calcularon las cargas por nivel, para permitir que el programa las distribuyese según la rigidez de los elementos resistentes.

6. CORRELACION EN PROPIEDADES DINAMICAS

Ya que se disponía de la información obtenida durante las mediciones de vibración ambiental, en las cuales se logró definir a los periodos correspondientes a nueve modos de vibrar de la estructura, se consideró conveniente mantener a los datos experimentales como base para juzgar la aproximación del modelo matemático, a medida que en él se incluían los aspectos estructurales justificables de manera física.

Al iniciar la modelación se consideró a todos los marcos de la estructura y a los diafragmas, con el peso total de la carga viva en toda el área, sin considerar ni a los muros de tabique, ni escaleras, ni al empotramiento de la columna en las trabes de cada entrepiso.

El cambio en el periodo natural correspondiente al primer modo de vibrar de la estructura en la dirección Norte Sur se condensa en la tabla 2, a medida que se cambiaban los diversos elementos que forman la estructura resistente del edificio y la distribución de carga más representativa de las condiciones existentes, durante el periodo de medición de vibraciones ambientales.

Se observa que para la generación de una alta correlación entre el modelo matemático y las mediciones experimentales, es necesario ser cuidadoso en la adecuada selección de los elementos resistentes que contribuyen a la estabilidad de la estructura. En la fig 6 se muestra la comparación entre los datos obtenidos del modelo y aquellos medidos en la estructura. Prácticamente es el primer modo de vibración en el que se obtiene alta correlación. En los modos superiores las frecuencias difieren sensiblemente. Esto se puede atribuir a las características del método que se encuentra implícito en el programa SUPER-ETABS, que recurre a algunas simplificaciones a fin de hacer más expedita la solución del problema dinámico de movimiento.

Se obtuvo la configuración deformada de la estructura a fin de juzgar el posible nivel de daño, al comparar los valores de desplazamiento relativo entre niveles, con aquellos que se establecen en normas para control de diseño.

En las figs 9 y 10 se condensan los datos de la respuesta global de la estructura en dos direcciones ortogonales, considerando comportamiento elástico del modelo matemático de la estructura.

Se observa que los niveles de desplazamiento se encuentran dentro de los límites mencionados en la ref 6, mientras que los desplazamientos diferenciales por nivel producen valores muy inferiores a aquellos indicativos del inicio de daño en elementos no estructurales, a pesar de usar condiciones de diseño bastante desfavorables para la estabilidad de la estructura.

Se puede afirmar que los resultados del análisis modal, cuando se considera dos por ciento del amortiguamiento crítico, no difieren de los resultados obtenidos de un análisis de reglamento, a pesar de las sensibles diferencias en la forma de los espectros seleccionados para llevar a cabo los análisis dinámicos, y en el nivel de amortiguamiento.

Así, al disponer de información sobre la distribución de módulos dinámicos de Young congruentes con los obtenidos de mediciones mediante ultrasonido y al considerar adecuadamente

la distribución de elementos resistentes, existe alta correlación entre los primeros modos de vibrar de la estructura, que son los que presentan mayores factores de participación en la respuesta dinámica de una estructura.

7. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS

Mediante el programa se analizó el comportamiento de todos los elementos que forman la estructura y se obtuvieron los elementos mecánicos en los extremos de cada una de las barras que la forman.

Debido a la existencia de una discontinuidad en los muros exteriores de la Biblioteca a partir del nivel 5, se concentró la atención en revisar el estado en que se encuentran las columnas en dicho nivel. Además, para verificar que las condiciones en las columnas de la cimentación son suficientes, se revisó el efecto de las acciones de carga vertical y sísmica, en las columnas del nivel 2.

Es interesante destacar que al analizar la acción de una fuerza de 728.9 ton en las columnas del nivel 5, obtenida de considerar los resultados del análisis estático con carga total de reglamento, se nota una alta concentración en los marcos F y G, en donde se sostiene el 55.5 por ciento de la fuerza cortante aplicada en dicho nivel; esto es congruente con lo que se observó en el edificio después del sismo de 1985, ya que en dichos muros se desprendió el revestimiento de

de mosaico veneciano, por el movimiento inducido en la estructura.

Los marcos simétricos al cubo de la escalera soportan solo el 44.5 por ciento restante que se distribuye en ocho marcos, por lo que las cargas máximas aplicadas en cada marco son menores al seis por ciento de la fuerza cortante aplicada a dicho nivel. Por ello, las cargas horizontales en cada columna son relativamente bajas y permite que los niveles de esfuerzo que se inducen en las columnas resulten ser pequeños.

Del conocimiento de las fuerzas normales y de los momentos flexionantes resultantes en cada columna de los niveles 2 y 5 se obtuvieron las combinaciones reglamentarias para revisión de las columnas y se definió así el área de acero necesaria para soportar dichas acciones.

En las figuras 11 y 12 se resume el resultado de los análisis en los cuatro tipos de columnas que forman cada nivel. En las figs 11 y 12 se muestran las secciones tipo, su armado vertical, los elementos para soportar la acción de la fuerza cortante, y su separación, junto a un factor de seguridad.

Ese factor de seguridad resulta ser igual a uno cuando la revisión de la sección bajo las combinaciones reglamentarias de cargas y momentos, afectados por los factores de carga de reglamento, muestra que el por ciento de acero de refuerzo es idéntico al valor que aparece en los planos que sirvieron

para construir el edificio. Cuando el factor de seguridad es mayor a uno, indica que el refuerzo con varillas verticales de la columna es superior al que se requiere por reglamento para soportar la acción de la combinación más desfavorable de acciones de la carga vertical y la acción sísmica.

Se observó que en el nivel 2 los factores de seguridad en las columnas presentan un valor medio igual a 1.93, con un coeficiente de variación igual a 18.6 por ciento, lo cual muestra valores de seguridad altos para soportar las cargas reglamentarias.

En las columnas del nivel 5, el valor medio de los factores de seguridad resultó igual a 1.44 con 44 por ciento de variación.

Por lo que respecta a las propiedades del concreto, se usó en la revisión a los datos que aparecen en los planos constructivos. Existe evidencia experimental (fig 13) que establece el incremento de su resistencia con el tiempo, a medida que aumenta la edad del concreto. Ya que la estructura fue construida entre marzo de 1949 y mayo de 1952, se considera que la resistencia del concreto es muy superior a la mencionada en los planos constructivos.

Por ello los factores de seguridad que previamente se mencionaron representan un límite inferior a las características de resistencia de la estructura.

8. RESULTADO DE LA REVISION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La observación directa del estado en que se encuentran las columnas del edificio, así como el resultado de las mediciones con pulso ultrasónico y el análisis y revisión del diseño de ellos indican que las columnas se encuentran en niveles aceptables de trabajo, mientras se mantengan las condiciones de operación actuales.

Las trabes del edificio en la mayor parte de la estructura se encuentran también en condiciones aceptables. Solo en las trabes correspondientes a los niveles 2 y 3 se encontraron bajas velocidades del pulso ultrasónico por la existencia de grietas capilares. Ya que en la actualidad se ha disminuido el nivel de carga que existía en septiembre de 1985, no se considera importante el efecto de las grietas capilares en el comportamiento sísmico de la estructura.

La existencia de desplazamientos diferenciales apreciables en las losas no se considera significativo. Las losas presentan armados de varilla, que al ser revisados, establecieron el límite superior de carga admisible, igual a 600 kg/m^2 , considerando únicamente el trabajo en flexión de las placas. Sin embargo, la existencia de varilla en ambas direcciones permite una reserva adicional de capacidad de las losas, al establecerse un régimen de fuerzas de membrana. Por ello se

considera aceptable el estado de los diafragmas horizontales de los sistemas de piso.

Por lo que respecta a la cimentación, esta difiere radicalmente de lo establecido en los planos constructivos, en los cuales se indicaba la existencia de zapatas aisladas. La revisión ocular mostró la existencia de cajones de concreto formados por losas y contratraveses de concreto reforzado, los cuales se encuentran en buen estado. Las losas inferiores que se apoyan sobre material rocoso de alta resistencia, no mostraron ningún signo de agrietamiento durante la revisión que se llevó a cabo. Por tanto, no se considera necesario efectuar ningún refuerzo adicional en la cimentación.

9. COMENTARIOS FINALES

Una vez alcanzados los objetivos que se señalaron para esta investigación, se pueden señalar los siguientes aspectos referentes al estado en que se encuentra el edificio de la Biblioteca Central:

- a) Es posible modelar matemáticamente a la estructura del edificio, de manera de establecer una alta correlación entre las características dinámicas de ella obtenidas del modelo y aquellas medidas directamente en vibraciones de pequeña intensidad. La investigación mostró la necesidad de una cuidadosa modelación, en la cual se deben tomar en consideración a todos los elementos que contribuyen a la

rigidez de la estructura y la correspondiente distribución de carga viva

- b) Los análisis realizados indican claramente que la estructura de concreto reforzado soportó la acción de los sismos de septiembre de 1985, dentro de niveles de movimiento aceptables, sin provocar daño significativo, aún con los niveles de sobrecarga que existían en sus archivos, en aquellas fechas
- c) No se considera necesaria ninguna acción de reparación adicional de la estructura, fuera de aquellas que ya ejecutó la Dirección General de Obras
- d) El movimiento ambiental de la estructura no se considera significativo en el desprendimiento de las piedras de colores que forman los murales exteriores
- e) Durante el proceso de restauración de los murales se debe dar atención cuidadosa a los diferentes coeficientes de dilatación térmica de los materiales que forman al mural. Se juzga aconsejable recurrir a limpieza con arena a presión, para propiciar el reacomodo de piedras y la limpieza de los murales
- f) A fin de evitar en el futuro el paso de humedad para modificar la adherencia de las piedras del mural al mortero, se recomienda la aplicación de una película epóxica en

toda la superficie exterior del mural. Esta película actuará como barrera a la humedad y restaurará la luminosidad original del mural. Evitará asimismo la caída de piedras por la acción de intemperismo y por las modificaciones en el PH de la interfase de contacto de los elementos que forman el mural.

10. RECONOCIMIENTO

La colaboración de la Dirección General de Obras de la Universidad Nacional Autónoma de México en esta investigación resultó muy valiosa, al facilitar información existente en sus archivos, así como con su participación para mejorar la estructura y los muros en la zona de escaleras de las escaleras.

Se reconocen las amplias facilidades ofrecidas por la Dirección de la Biblioteca Central para completar este trabajo.

La participación de Raúl Maldonado Alanís, Concepción Hernández y José Rosales, técnicos del Instituto de Ingeniería, permitió completar el programa de mediciones de los efectos de la vibración ambiental.

Las fotografías de Enrique Salazar H y H forman el apéndice de este trabajo. Alfonso Gutiérrez Ariza y el departamento de dibujo del Instituto de Ingeniería, colaboraron en la elaboración de las figuras de este escrito.

11. REFERENCIAS

1. Luna Arroyo, A: "Juan O'Gorman", Cuadernos populares de pintura mexicana. México, 1973, pp 143-146
2. Rodríguez Cuevas, N: "Análisis experimental de vibraciones de edificios". Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Veracruz, Ver. Mayo 1986, pp B3-01, a B8-11
3. Tomsett, H. N: "The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality". Magazine of Concrete Research. Vol 32, No 110, marzo 1980, pp 7 a 16
4. Maison, BF y Rodríguez, GA: "Microconversion of an enhanced version of E-TABS Program". National Science Foundation Report. PFR 7926734. Febrero de 1985
5. Mena, E y coautores: "Catálogo de acelerogramas procesados del sismo del 19 de septiembre de 1985. Parte I. Ciudad de México". Publicación 497, Instituto de Ingeniería, UNAM. Julio de 1986
6. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Diario Oficial. Tomo CD VI, No 13. Viernes 3 de julio de 1987, pp 16 a 177

7. Washa, GW y Wendt, KF: "Fifty year properties of Concrete"
Journal ACI, 72, No 1. Enero 1975, pp 20-28.

Apéndice

Tablas y figuras a las que se refiere el texto.

CAMBIO EN PERIODO FUNDAMENTAL EN LA DIRECCION Y,
AL CAMBIAR PARTES DE LA ESTRUCTURA

MODELO	PERIODO FUND. (SEG.)	PERIODO FUND. <u>PERIODO REF.</u>
1. MODELO CALIBRADO CON VIB. AMBIENTAL CONSIDERANDO TODOS LOS ELEMENTOS ES- TRUCTURALES	$T_Y = 1.23$	1.0
2. SIN MUROS DE ESCA- LERAS Y ELEVADORES	$T_Y = 1.45$	1.18
3. SIN ESCALERAS	$T_Y = 1.45$	1.03
4. SIN MUROS MURAL	$T_Y = 1.242$	1.01
5. CON MASA DE REGLA- MENTO	$T_Y = 1.48$	1.20
6. SIN ZONA MACIZA EN COLUMNAS Y TRABES	$T_Y = 1.50$	1.22
7. SIN APENDICE	$T_Y = 1.21$	0.98
8. SIN MODULO DINA- MICO (ED)	$T_Y = 1.40$	1.14
9. SIN NINGÚNO DE LOS SIETE PARAME- TROS ANTERIORES	$T_Y = 2.75$	2.24

EL PERIODO DE REFERENCIA CORRESPONDE AL MODELO
CALIBRADO CON VIBRACION AMBIENTAL

TABLA 2
RESULTADOS OBTENIDOS DE MEDIR
LA VIBRACION AMBIENTAL DE LA ESTRUCTURA

MODO	FRECUENCIAS MEDIDAS AL ANALIZAR LA VIBRACIÓN		
	FLEXIÓN, EN DIRECCIÓN N	FLEXIÓN, EN DIRECCIÓN E	TORSIÓN
PRIMERO	0.80	1.20	1.35
SEGUNDO	2.72	3.84	3.60
TERCERO	4.80	5.68	6.24

LOS VALORES SE PROPORCIONAN
EN HZ

TABLA 3

CARGAS CONSIDERADAS EN EL ANALISIS ESTRUCTURAL

CARGAS MUERTAS

PESO DE LA LOSA DE 10 CM DE ESPESOR:	240 KG/M ²
LOSETA Y ACABADOS:	50 KG/M ²
PLAFONES Y LÁMPARAS:	<u>30 KG/M²</u>
	330 KG/M ²
SEGÚN REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES	
SE INCREMENTA LA CARGA EN:	<u>40 KG/M²</u>
PESO TOTAL DE LA LOSA:	370 KG/M ²

CARGA VIVA

EN ÁREAS DESTINADAS A ALMACENAMIENTO:	600 KG/M ²
EN AZOTEA SE CONSIDERÓ:	350 KG/M ²

RESUMEN DE CARGAS ACTUANDO EN CADA NIVEL

NIVEL	CARGA MUERTA	CARGA VIVA	NIVEL	CARGA MUERTA	CARGA VIVA
14	656	251	7	584	431
13	584	431	6	584	431
12	584	431	5	584	431
11	584	431	4	509	431
10	584	431	3	521	520
9	584	431	2	434	431
8	584	431	1	521	520

VALORES EN TONELADAS

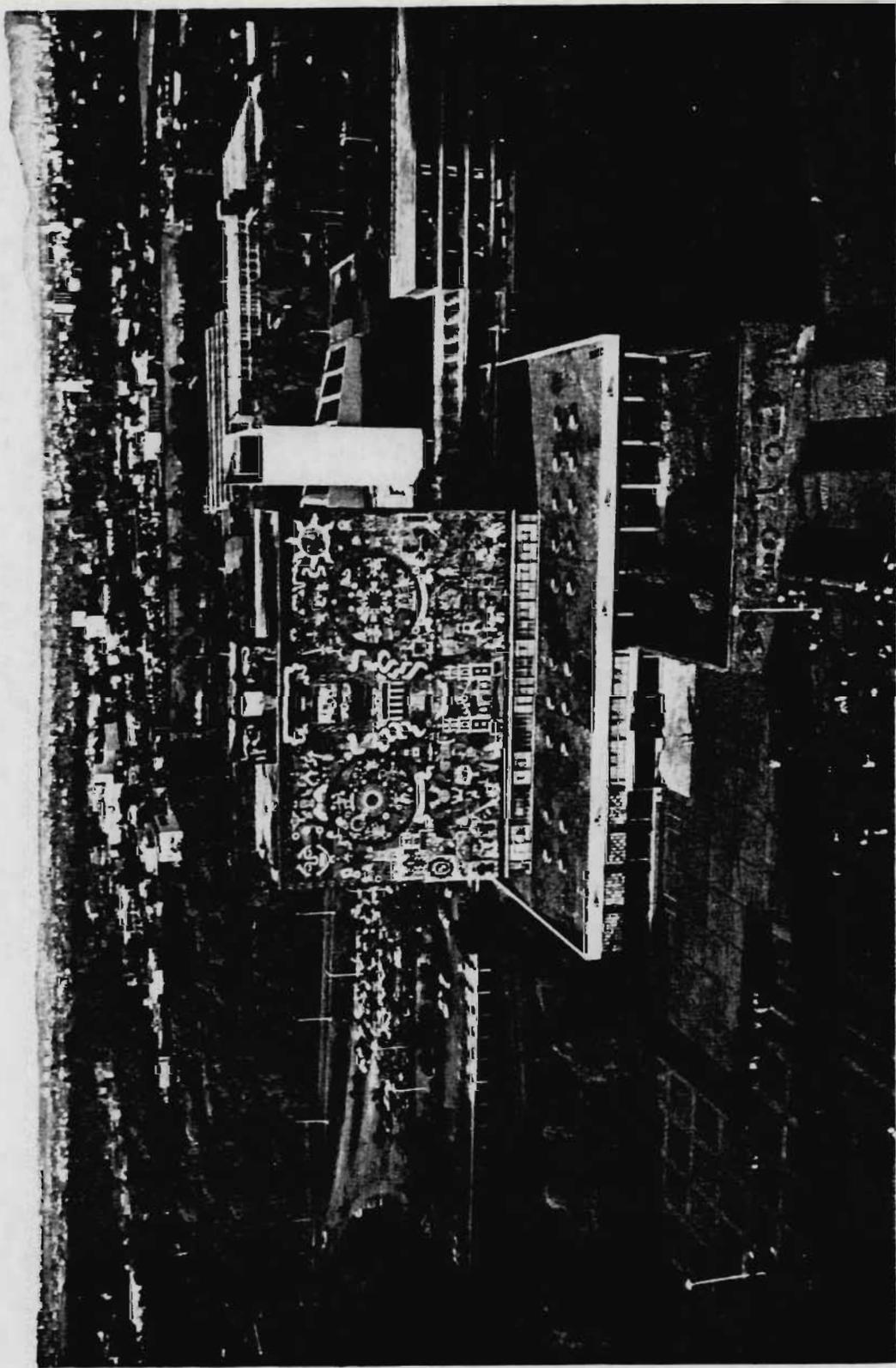


Fig 1 Vista aérea del edificio de la biblioteca central de ciudad universitaria

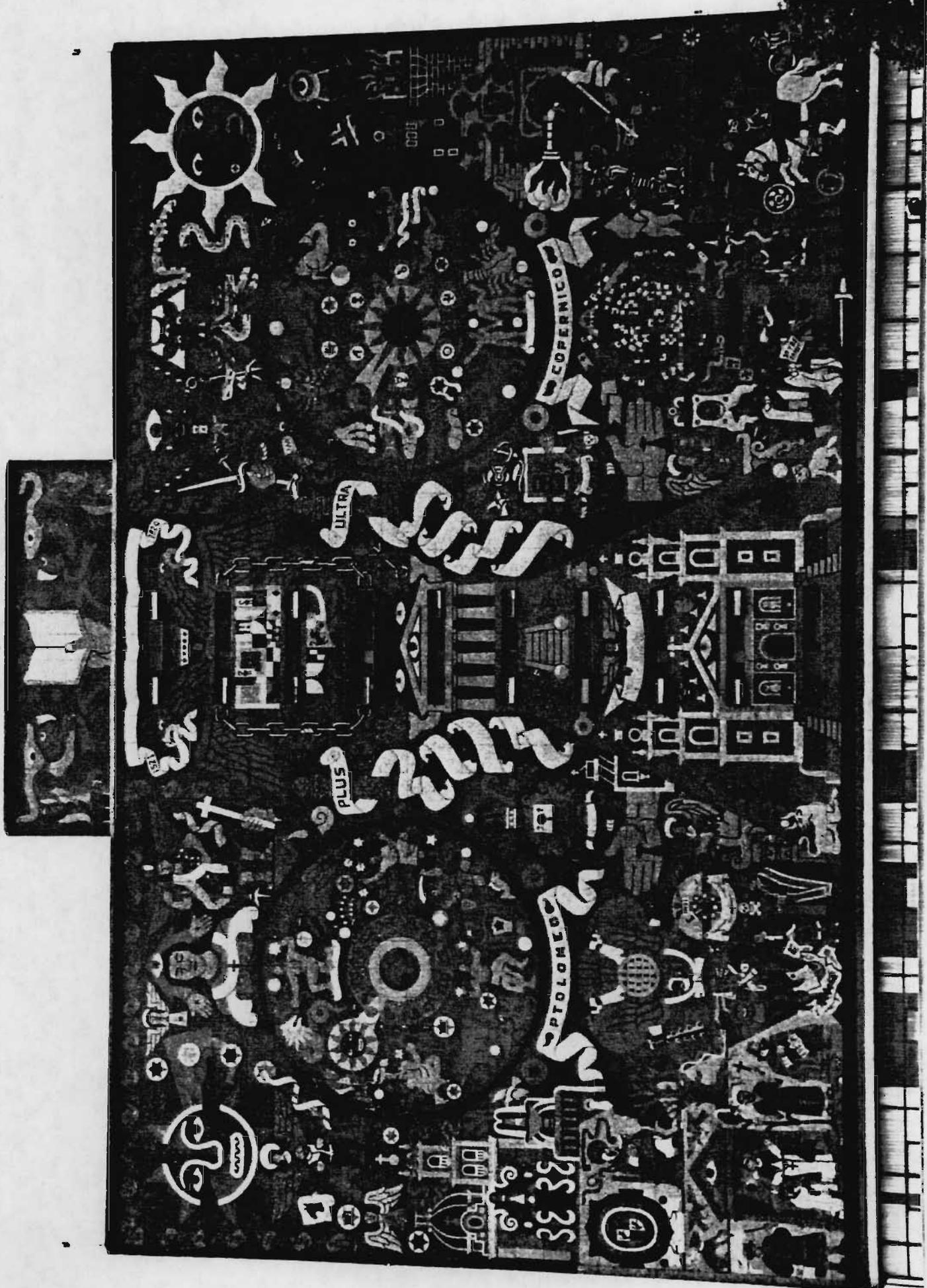


Fig 2 Vista del mural desde el sur

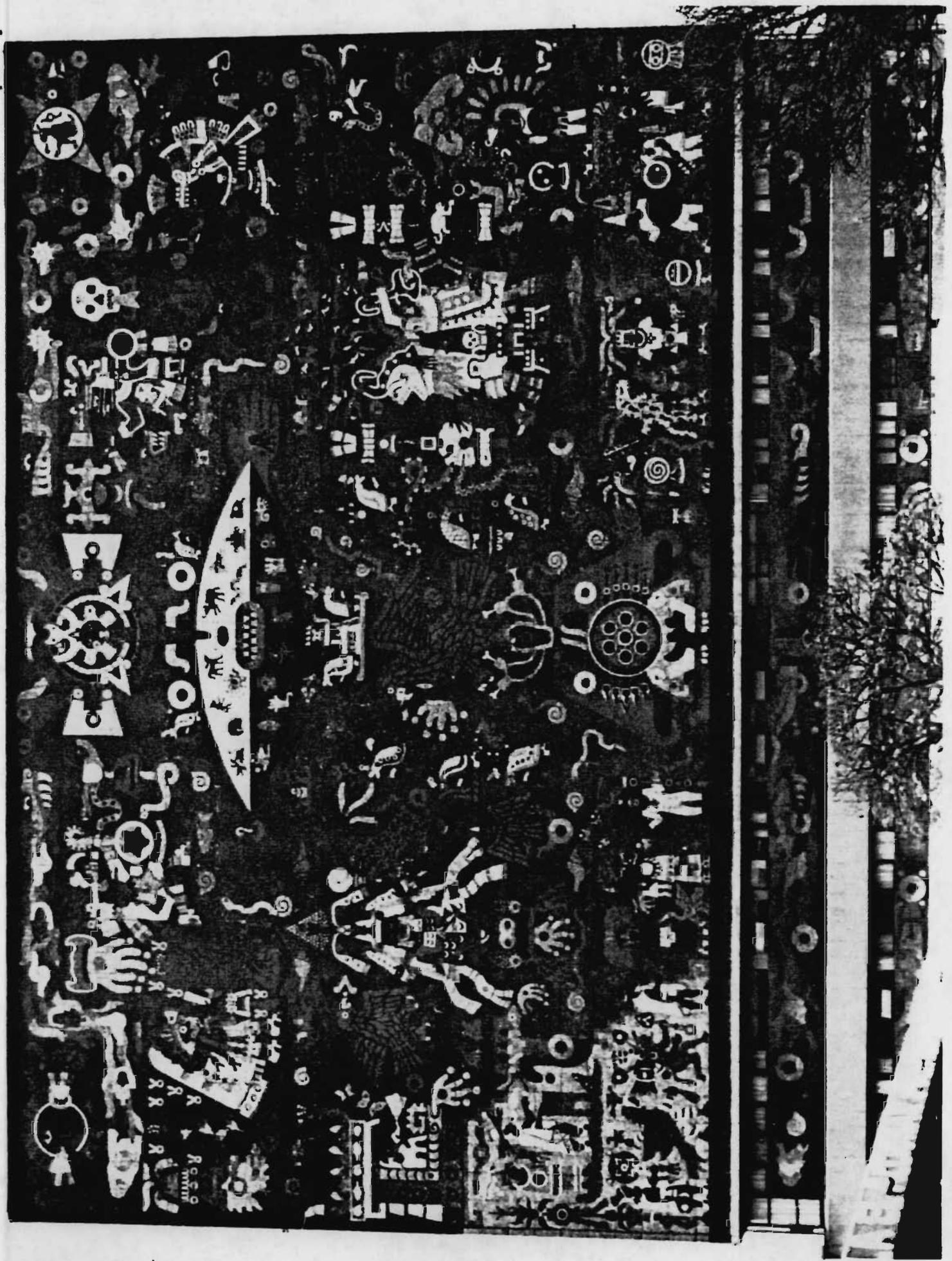


Fig 3 Vista del mural desde el norte



Fig 4a Fachada oriental de la biblioteca



Fig 4b Fachada occidental de la biblioteca

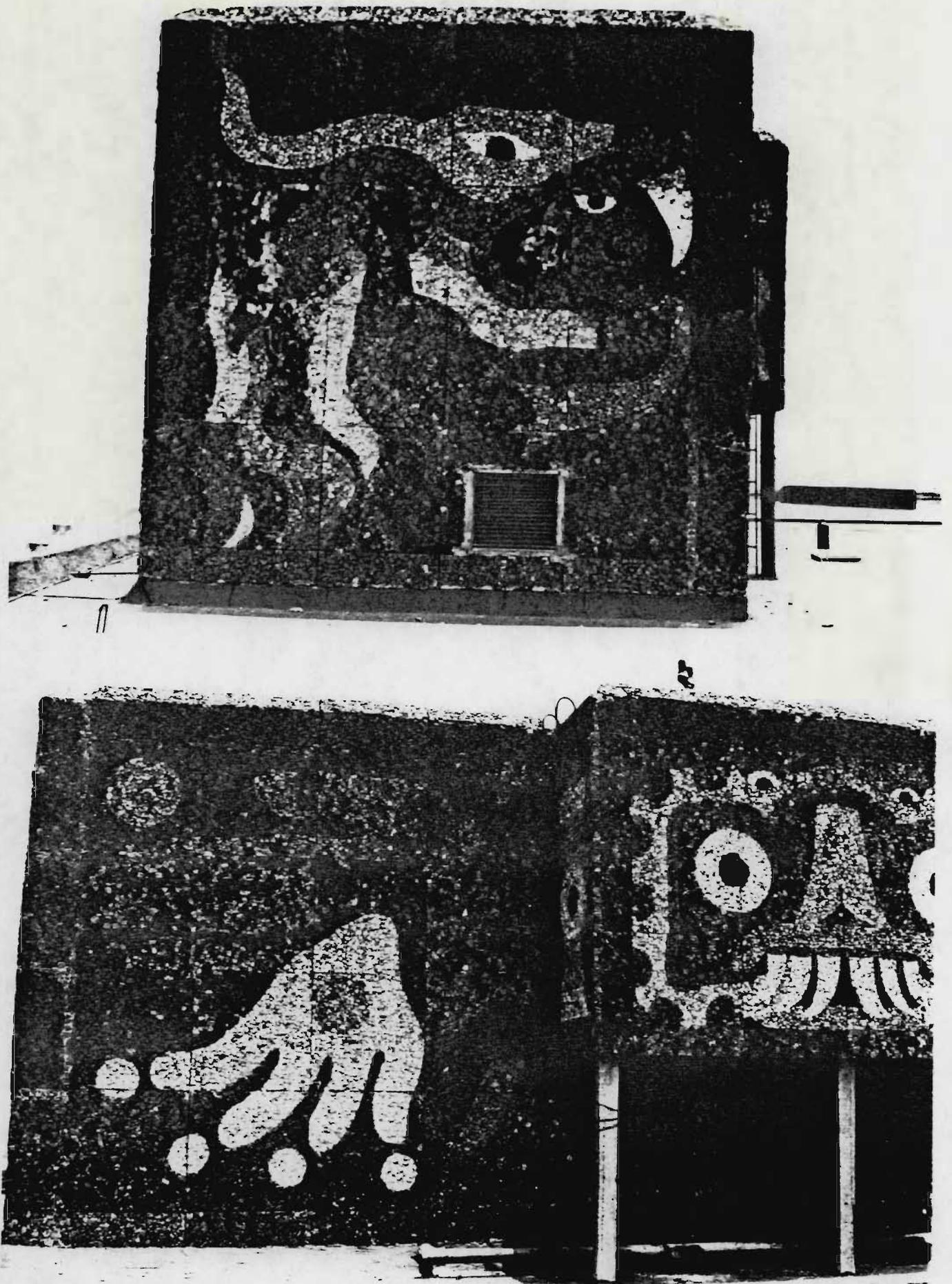


Fig 5a Parte oriente y noreste del mural en el apendice

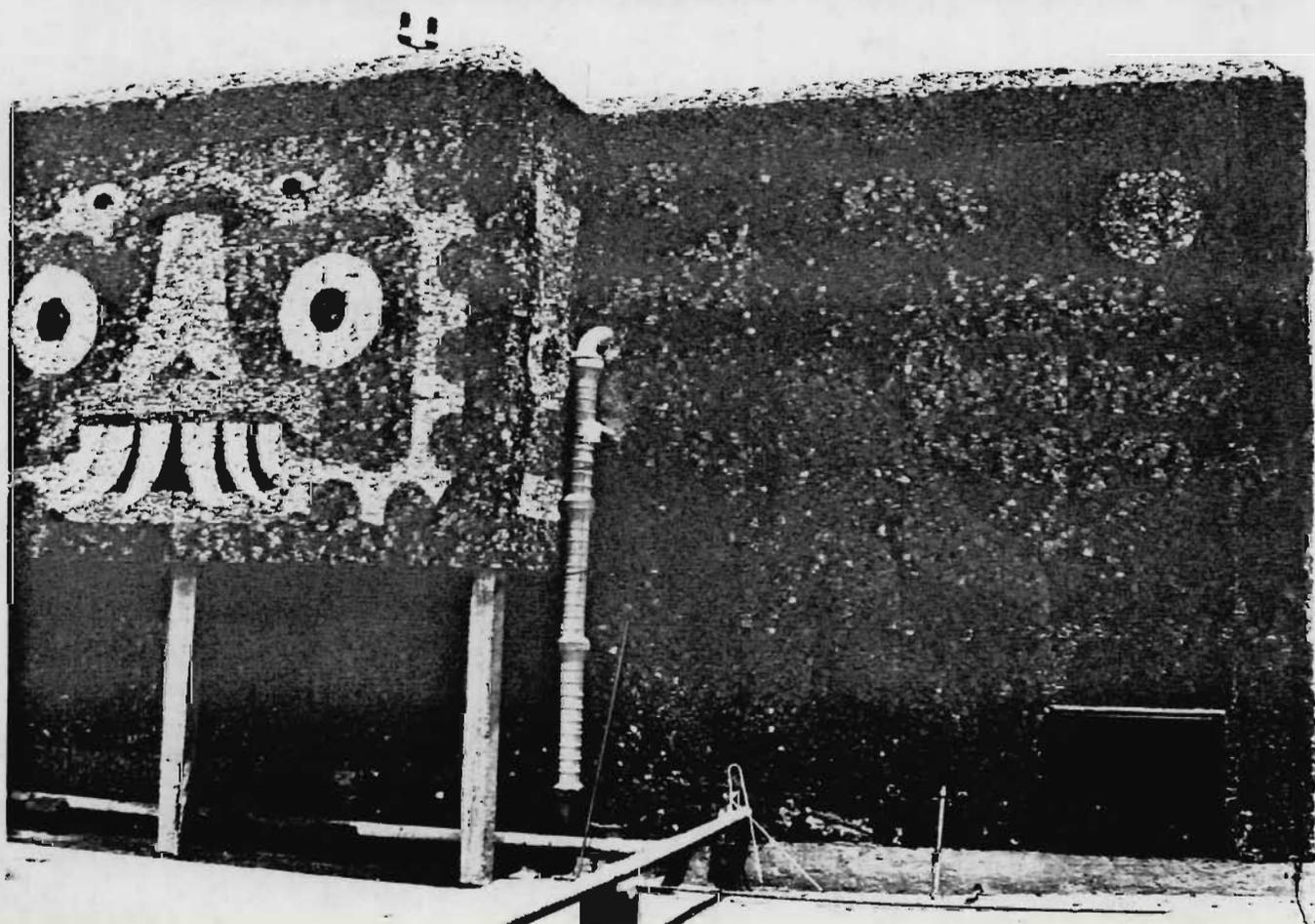
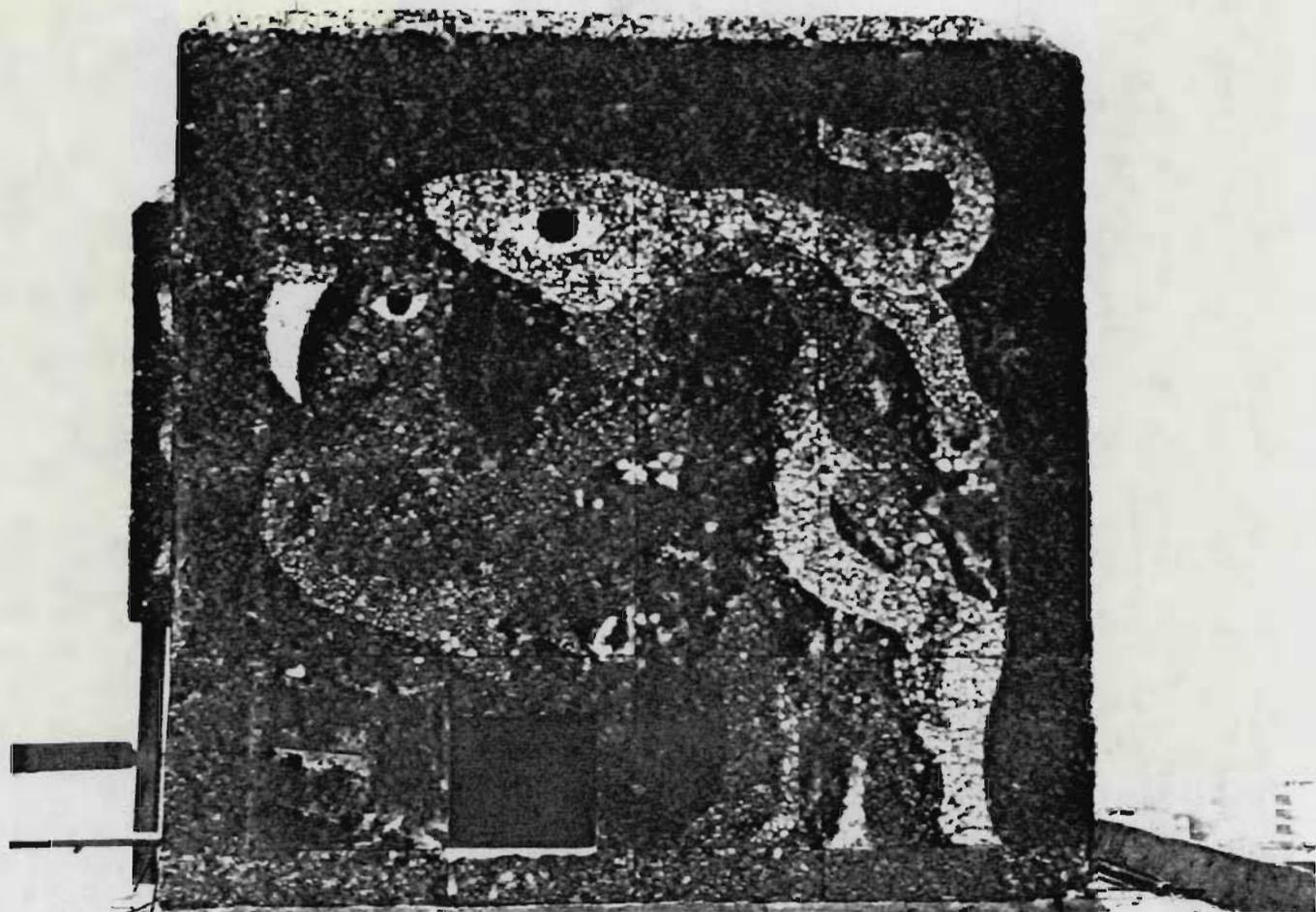
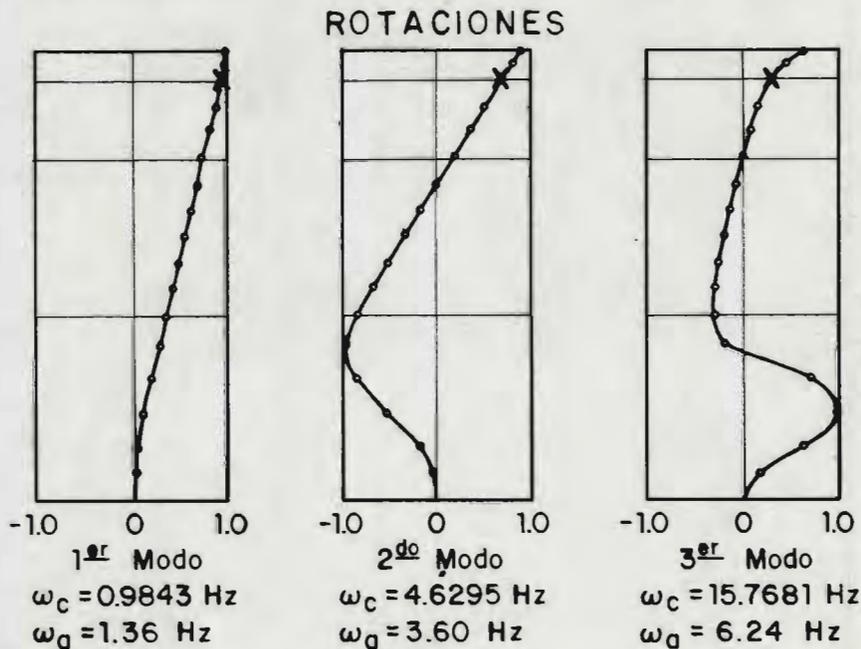
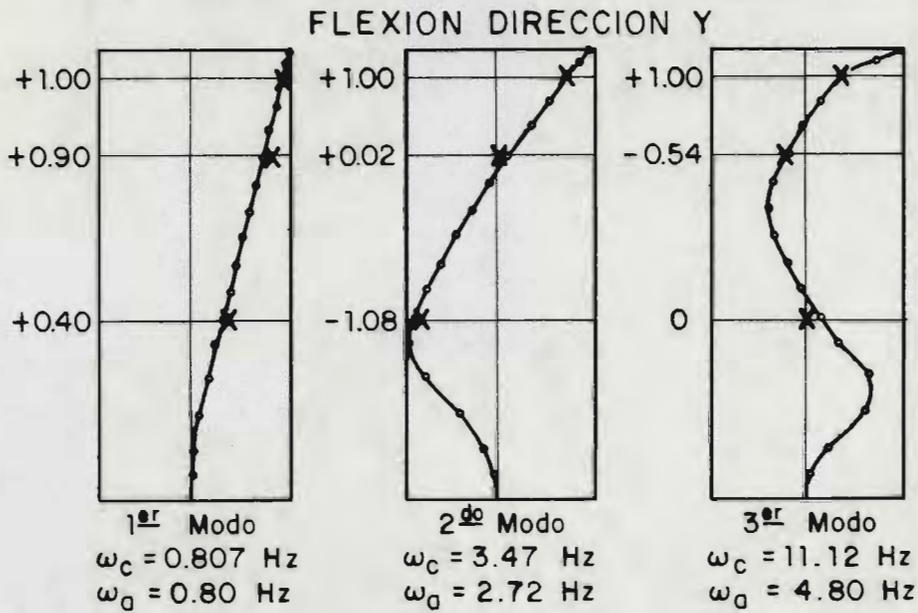
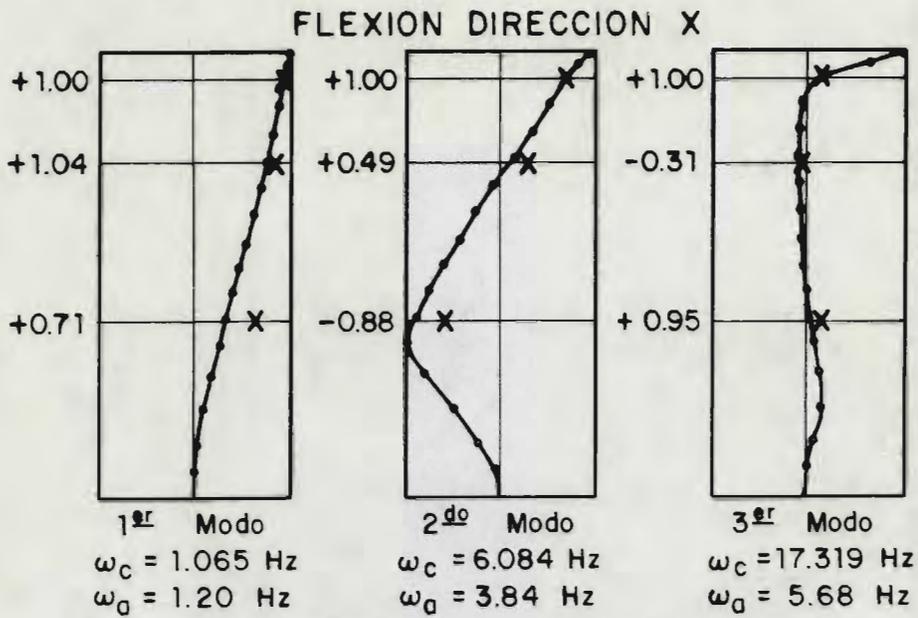
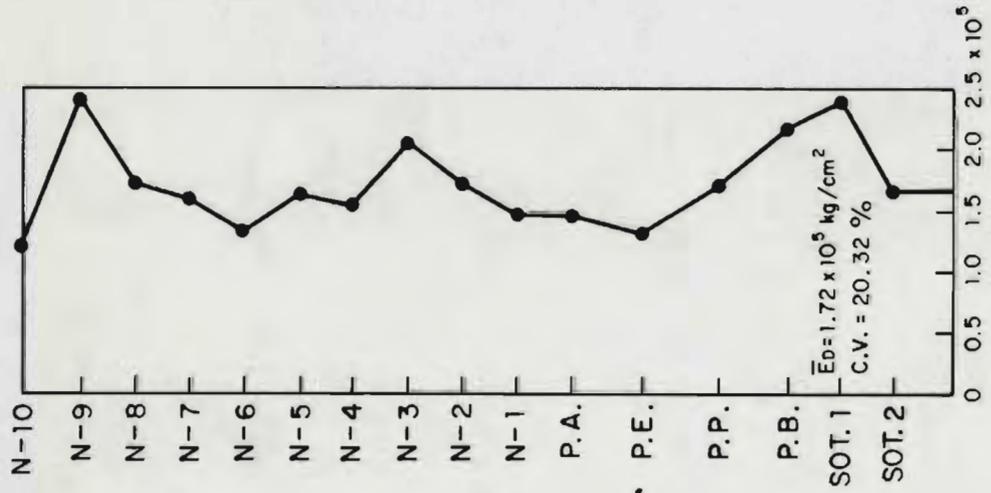


Fig 5b Parte occidental y noroeste del mural en el apendice

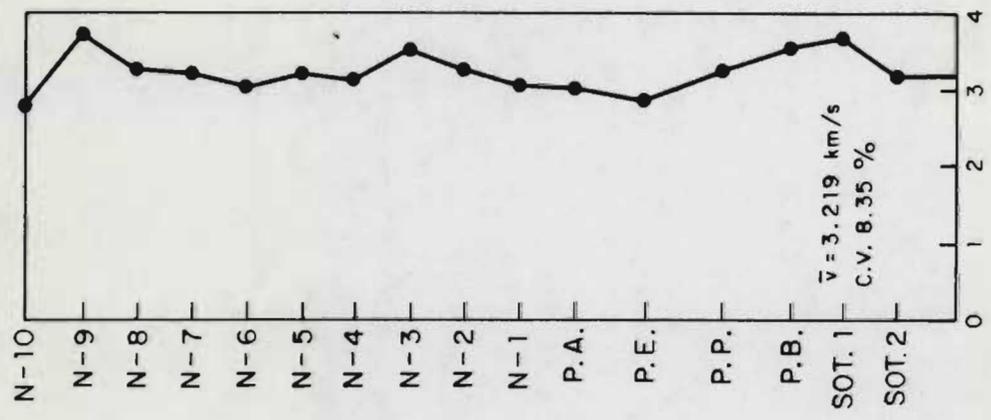


○ Valores calculados con SUPER E-TABS
 X Valores medidos en vibración ambiental
 ω_c Frecuencia calculada
 ω_d Frecuencia medida, en vibración ambiental

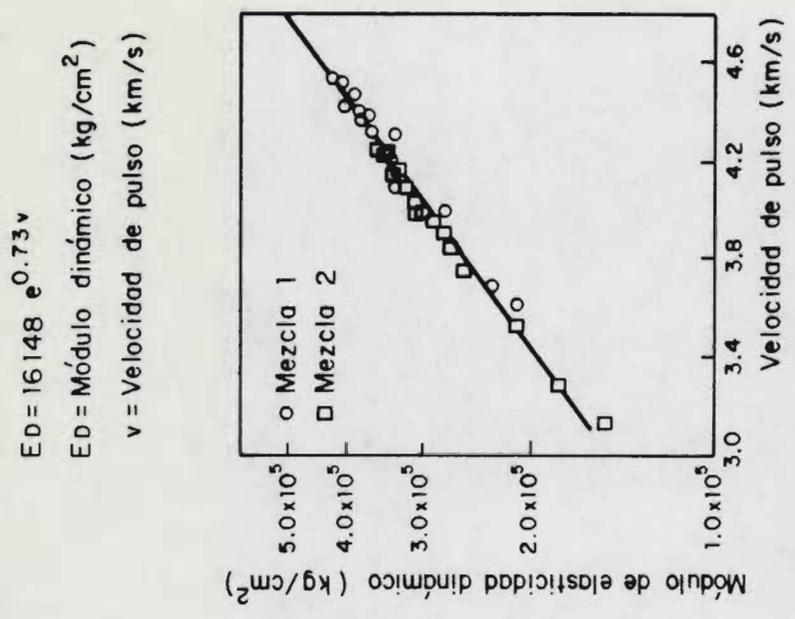
Fig 6 Comparación entre formas modales calculadas y medidas durante vibración ambiental



a) Módulo dinámico de elasticidad (kg/cm^2)



b) Velocidad de pulso (km/s)



c) Relación entre velocidad de pulso y módulo dinámico de elasticidad (ref 3)

Fig 7 Resultados de medición mediante ultrasonido en biblioteca central

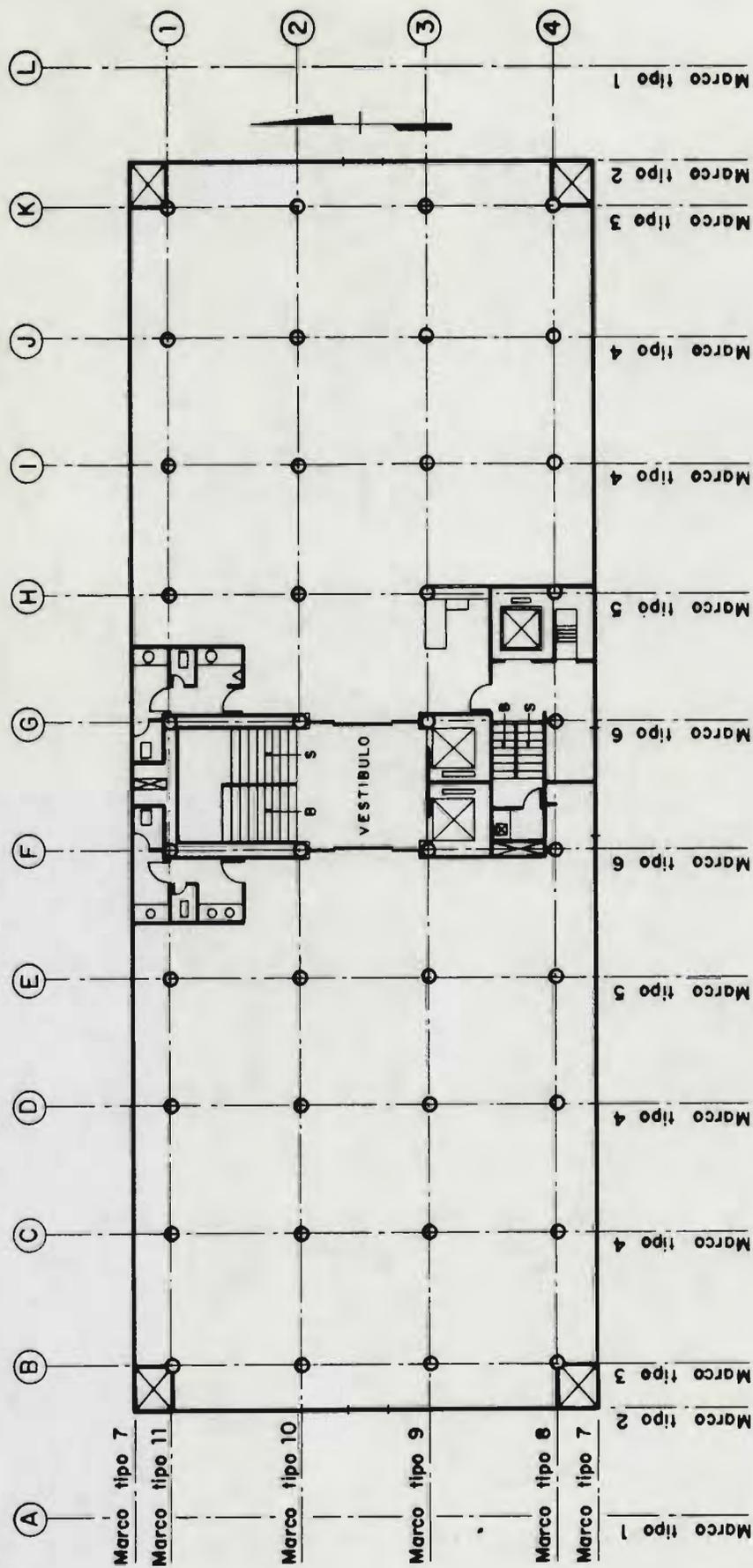
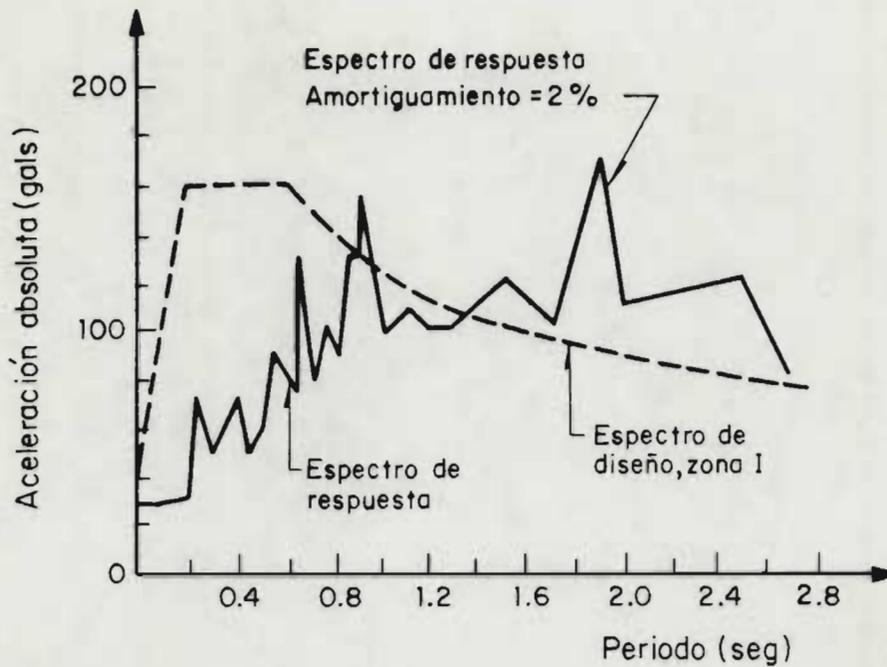
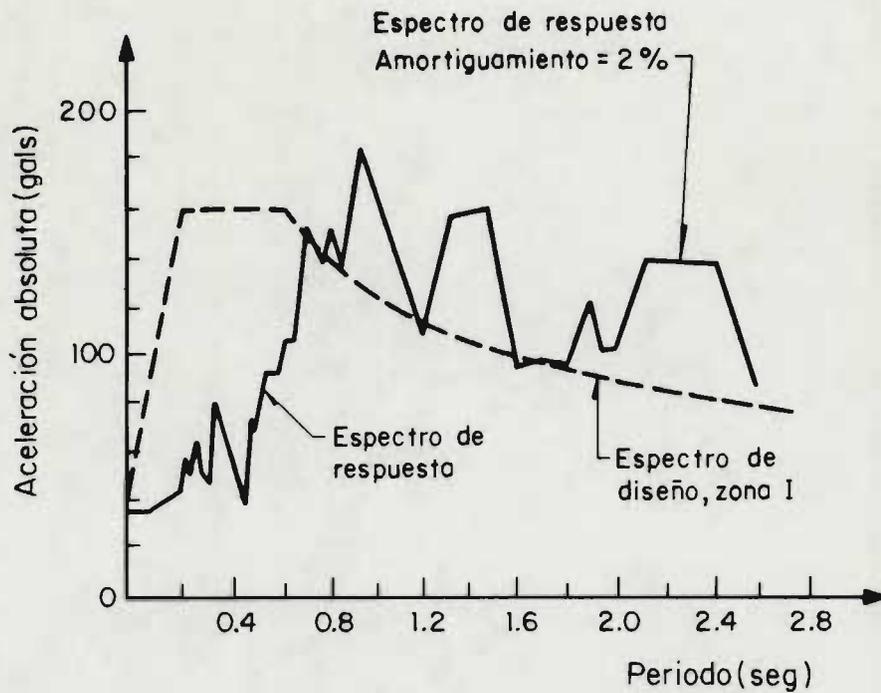


Fig 8 Identificación de ejes y marcos
(Biblioteca Central, C.U)



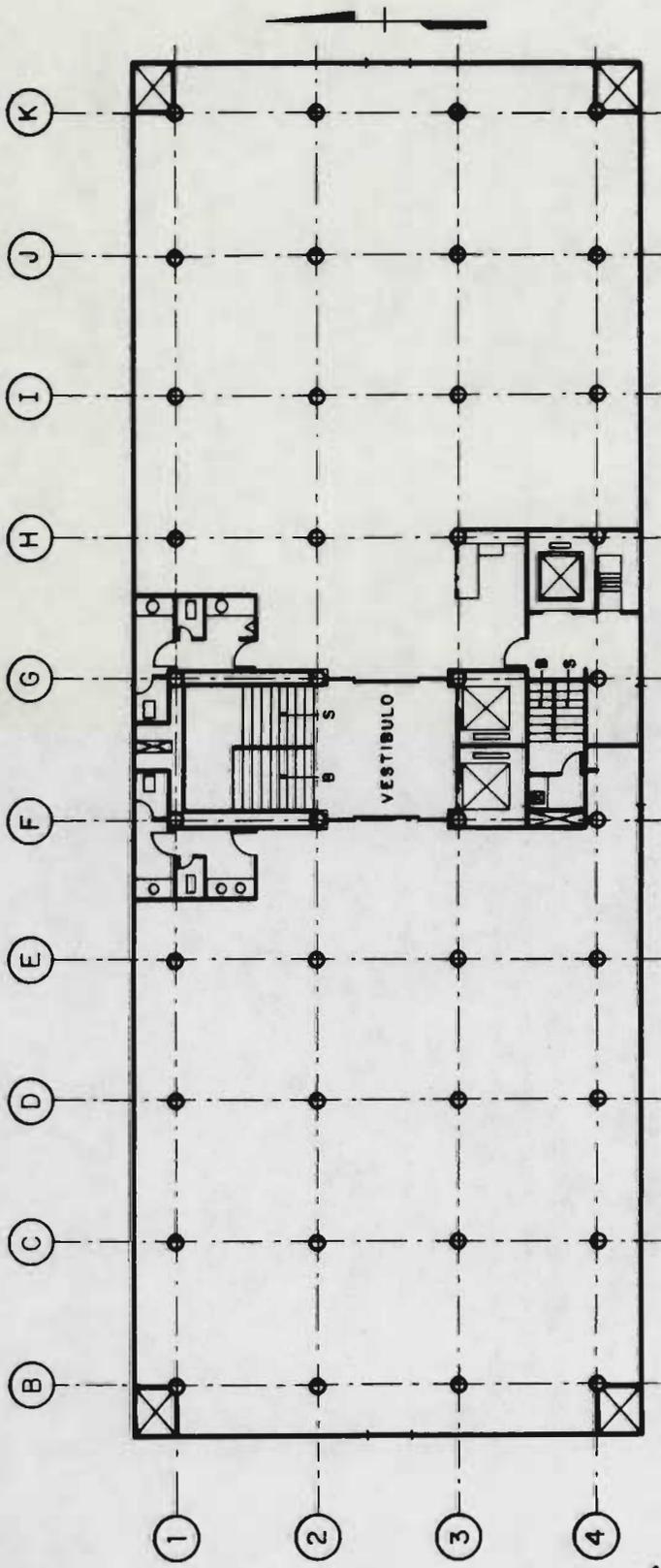
NIVEL	RESPUESTA BAJO ESPECTRO CUQI			RESPUESTA BAJO ESPECTRO DISEÑO ZONA 1		
	DESPLAZAM. (CM)	CORTANTE ACU MULADO (TON)	MOMENTO VOL TEO (TON-M)	DESPLAZAM. (CM)	CORTANTE ACU MULADO (TON)	MOMENTO VOL TEO (TON-M)
17	5.72	6.65	9.98	8.52	9.97	14.96
16	5.53	22.36	43.51	8.24	29.60	59.33
15	5.33	112.91	331.23	7.96	185.70	531.90
14	4.95	201.18	844.04	7.38	338.03	1392.31
13	4.56	293.07	1590.94	6.80	470.89	2589.60
12	4.17	376.65	2550.55	6.22	585.64	4075.41
11	3.77	445.68	3685.58	5.63	683.88	5804.68
10	3.37	507.21	4976.55	5.04	768.56	7738.89
9	2.98	561.58	6404.77	4.46	842.79	9846.49
8	2.58	609.04	7952.00	3.88	909.16	12101.56
7	2.20	649.97	9600.95	3.30	970.69	14484.33
6	1.81	684.80	11335.21	2.74	1030.34	16981.23
5	1.44	705.71	13716.79	2.19	1086.40	20456.79
4	0.92	718.64	16385.09	1.42	1113.22	24433.71
3	0.42	721.09	18821.66	0.66	1149.16	28129.41
2	0.11	718.30	20765.25	0.18	1147.73	31105.53
1	0.01	715.82	22703.75	0.02	1141.73	34091.10

Fig 9 Comparación de respuesta dinámica del edificio en dirección norte - sur



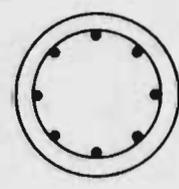
NI- VEL	RESPUESTA BAJO ESPECTRO CUΦI			RESPUESTA BAJO ESPECTRO DISEÑO ZONA I		
	DESPLAZM. (CM)	CORTANTE ACUMU LADO (TON)	MOMENTO VOL- TEO (TON-M)	DESPLAZM. (CM)	CORTANTE ACUMU LADO (TON)	MOMENTO VOL- TEO (TON-M)
17	5.47	10.60	15.91	5.56	10.47	15.71
16	5.29	35.68	69.43	5.37	31.24	62.53
15	5.38	191.34	557.26	5.39	207.55	591.14
14	4.98	343.97	1434.34	4.99	383.15	1567.42
13	4.59	503.69	2718.66	4.60	538.36	2938.57
12	4.19	649.53	4374.78	4.20	673.86	4652.57
11	3.79	770.88	6340.17	3.81	791.33	6661.01
10	3.40	879.53	8582.32	3.41	893.01	8919.71
9	3.00	975.59	11069.01	3.01	981.75	11390.66
8	2.61	1059.14	13768.94	2.62	1060.32	14041.62
7	2.22	1130.61	16648.94	2.23	1131.95	16847.49
6	1.84	1190.05	19680.37	1.85	1199.13	19788.54
5	1.45	1223.33	23834.98	1.47	1257.79	23867.14
4	0.99	1245.77	28488.99	1.00	1310.62	28523.60
3	0.54	1254.96	32751.59	0.55	1337.90	32863.49
2	0.22	1257.75	36169.55	0.22	1351.29	36305.38
1	0.05	1255.44	39581.59	0.05	1350.19	39924.73

Fig 10 Comparación de respuesta dinámica del edificio en dirección este-oeste



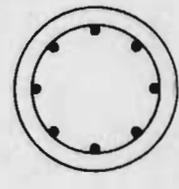
$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

TIPO A



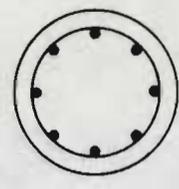
Diámetro = 65 cm
 AS = 14 vrs $\phi 1 \frac{1}{8}$ "
 Est. U $\phi 3/8$ " @ 40 cm
 FS = 1.01

TIPO B



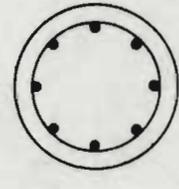
Diámetro = 65 cm
 AS = 14 vrs $\phi 1 \frac{1}{8}$ "
 Est. Z $\phi 3/8$ " @ 5 cm
 FS = 1.41

TIPO C



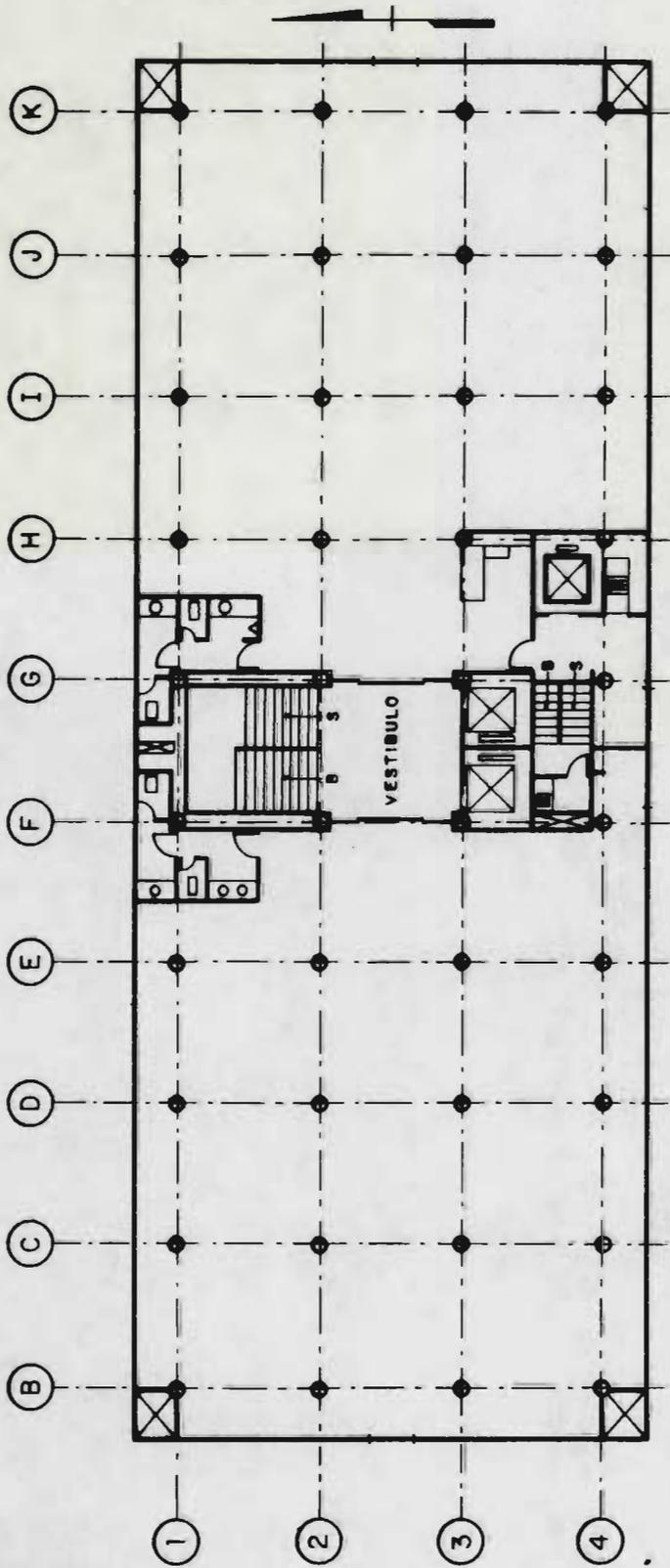
Diámetro = 65 cm
 AS = 16 vrs $\phi 1 \frac{1}{8}$ "
 Est. U $\phi 3/8$ " @ 40 cm
 FS = 1.00

TIPO D

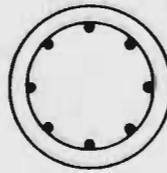


Diámetro = 65 cm
 AS = 16 vrs $\phi 1 \frac{1}{8}$ "
 Est. Z $\phi 3/8$ " @ 5 cm
 FS = 2.35

Fig 11 Identificación de columnas en nivel 5 y factores de seguridad mínimos

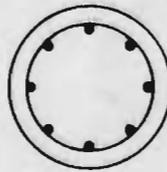


TIPO A



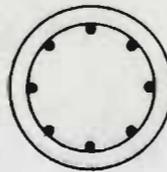
Diámetro = 70 cm
 AS = 18 vrs $\phi 1\frac{1}{8}$ "
 Est. U $\phi 3/8$ " @ 40cm
 FS = 1.50

TIPO B



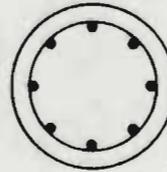
Diámetro = 70 cm
 AS = 18 vrs $\phi 1$ "
 Est. Z $\phi 3/8$ " @ 5cm
 FS = 2.33

TIPO C



Diámetro = 70 cm
 AS = 22 vrs $\phi 1\frac{1}{8}$ "
 Est. U $\phi 3/8$ " @ 40 cm
 FS = 1.83

TIPO D



Diámetro = 70 cm
 AS = 18 vrs $\phi 1$ "
 Est. Z $\phi 3/8$ " @ 5 cm
 FS = 2.13

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Fig 12 Identificación de columnas en nivel 2 y factores de seguridad mínimos

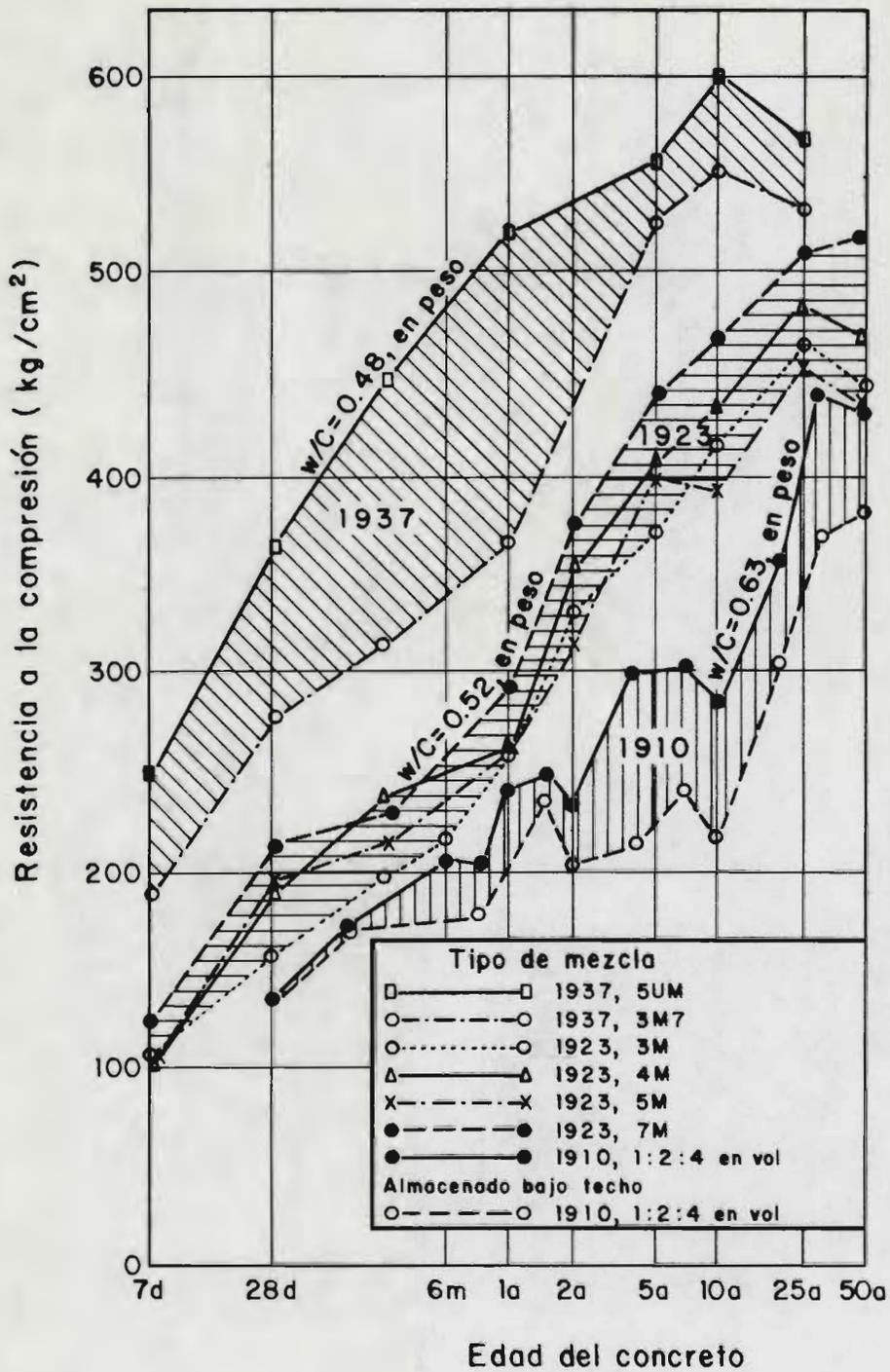


Fig 13 Cambio en resistencia con la edad en concretos colados en 1910, 1923, 1937 (ref 7)

