

# **EFFECTOS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERIA**

**David Muriá Vila \***

## **RESUMEN**

Se estudian experimental y analíticamente edificios de muros de mampostería confinada, con una estructuración muy similar y desplantados en zonas de suelo firme y blando de la ciudad de México. El efecto de interacción suelo-estructura resultó muy significativo en estos edificios, lo cual dificultó la identificación de las frecuencias naturales de vibrar; este hecho sugiere que el suelo funciona como un disipador de energía. Las propiedades dinámicas calculadas concordaron con los resultados experimentales. La evaluación experimental y analítica de los edificios localizados en suelo blando indica que para calcular la respuesta dinámica debe tomarse en cuenta la capacidad de disipación de energía del suelo.

## **INTRODUCCION**

Los edificios de mampostería de hasta cinco niveles, en particular aquellos desplantados en suelo blando, son estructuras que tuvieron un buen comportamiento ante los sismos de septiembre de 1985 que afectaron a la ciudad de México. La evaluación de la resistencia de estas estructuras empleando las normas con las cuales fueron diseñadas muestra que los edificios debieron haber manifestado al menos algún daño estructural. La respuesta dinámica real evidenció que la resistencia es superior a la estimada analíticamente y esto se atribuye al desconocimiento del comportamiento dinámico tridimensional del sistema estructural, a las fuentes de sobrerresistencia y a los efectos de interacción suelo-estructura. En este trabajo, enfocado al último punto, se presentan los resultados experimentales realizados para determinar las propiedades dinámicas de estructuras de mampostería, información que sirvió de base para calibrar el modelo matemático y analizar la respuesta

dinámica con los criterios de análisis sísmico recomendados en el reglamento de construcciones del Distrito Federal (RCDF-87, Ref. [8]).

## EDIFICIOS ESTUDIADOS

Se seleccionaron diez edificios de mampostería de cinco niveles, típicos de vivienda popular y ubicados en cinco frentes habitacionales de la ciudad de México: Gutiérrez Nájera, Zapote III, El Ranchito, 5 de Mayo I y Brahams. Los dos primeros frentes se encuentran en la zona de suelo firme y los restantes en la zona de suelo blando. Las estructuras de cinco niveles fueron diseñadas y construidas con base en las normas de emergencia propuestas inmediatamente después de los sismos de 1985.

La estructura de los edificios, similar en todos ellos, se caracterizan por su regularidad en elevación y su simetría en planta en el eje transversal, mientras que en el eje longitudinal presenta una forma asimétrica. En la Fig. 1 se muestran las fachadas de los edificios; se destaca la presencia de pretiles ubicados en las fachadas principal y posterior; también se aprecia que en la azotea hay un apéndice, el cual existe en todos los edificios, excepto en los de Gutiérrez Nájera.

Los edificios de Gutiérrez Nájera y Zapote III, desplantados en suelo firme, presentan una estructuración de muros de carga de bloque de concreto (tipo pesado para Gutiérrez Nájera y tipo intermedio para Zapote III) y se encuentran cimentados sobre una losa y zapatas, respectivamente. Los edificios de cinco niveles de 5 de Mayo I, El Ranchito y Brahams, localizados en suelo blando, tienen una estructuración a base de muros de carga de tabique de concreto apoyados sobre un cajón de cimentación de concreto reforzado. La planta tipo de estos edificios se muestra en la Fig. 1.

Se determinaron algunas características mecánicas de los materiales que se emplearon en los edificios seleccionados [5]. El material se tomó directamente de la obra. Se construyeron seis pilas de tabique y tres de bloque de concreto, las cuales se ensayaron a la edad de 50 días. Se calcularon dos módulos de elasticidad secante: uno entre cero y 30 por ciento ( $E_{ei}^*$ ) y otro entre 15 y 50 por ciento ( $E_{ei}$ ) del esfuerzo máximo. En la Tabla 1 se presentan los valores correspondientes.

## PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS EDIFICIOS

### *METODOLOGIA EXPERIMENTAL*

Se aplicaron dos tipos de pruebas en este edificio para estudiar su cinématica: el primero consistió en medir las vibraciones de ruido ambiental a diferentes horas del día y la noche; el segundo, en medir las vibraciones generadas manualmente por tres personas al jalar con cierta frecuencia una cuerda atada a la azotea del edificio (prueba de impulsos). Para registrar los movimientos se emplearon servoacelerómetros, los cuales se fijaron sobre bases metálicas colocadas en los puntos de observación seleccionados. El dispositivo experimental utilizado se describe en la Ref. [4].

Para identificar las frecuencias y formas modales de vibrar de las estructuras se realizaron mediciones en un punto en el terreno y en siete puntos de la estructura. Durante las pruebas experimentales se emplearon ventanas de observación de 5, 10 y 25 Hz, con una duración por evento de 25, 12.5 y 5 s respectivamente; se calculan promedios de 32, 64 ó 128 eventos para las pruebas de vibración ambiental y de 4 a 8 eventos para las pruebas de impulsos.

### *RESULTADOS DE EDIFICIOS EN TERRENO FIRME*

En las mediciones de vibración ambiental efectuadas en los edificios de los frentes Gutiérrez Nájera y Zapote III, se obtuvieron espectros de potencia con promedios de 32 eventos, que fueron suficientes para lograr configuraciones espectrales representativas de las estructuras e identificar claramente los modos fundamentales de vibrar de estas (Fig. 2).

En la Tabla 2 se presentan las frecuencias de los primeros y segundos modos de vibrar correspondientes a cada uno de los edificios de los dos frentes habitacionales citados. Al compararlas, se advierte que las frecuencias promedio de los modos fundamentales de flexión son mayores para los edificios del frente Gutiérrez Nájera hasta en un 14 por ciento, debido a que la estructura de estos edificios no tiene el apéndice y el bloque es tipo intermedio. Las formas modales relativas a los edificios de Gutiérrez Nájera se muestran en la Fig. 3.

A partir de las mediciones de vibraciones ambientales y de las pruebas de impulsos, se calcularon las fracciones de amortiguamiento crítico con el método propuesto en la Ref. [2] y se estimaron sus valores entre 0.01 y 0.02.

La relación de los períodos fundamentales con el número de pisos fue igual a 0.04, valor que contrasta con estructuras a base de marcos de concreto reforzado cuya relación es 0.089 para edificios de la ciudad de México [3].

### *RESULTADOS DE EDIFICIOS EN SUELO BLANDO*

Los resultados experimentales obtenidos de las mediciones de vibración ambiental en los edificios de la zona de suelo blando de la ciudad de México muestran, en el análisis espectral, una característica común: la presencia de varias ordenadas espectrales significativas en un intervalo de frecuencias entre 2 y 5.5 Hz (Fig. 4), siendo estas las frecuencias predominantes del suelo en vibración ambiental.

En el edificio Brahams se realizaron mediciones en dos etapas de construcción, una cuando se terminó de construir el cajón de cimentación y otra al concluir la construcción del edificio. Las frecuencias asociadas a las ordenadas espectrales máximas fueron prácticamente las mismas en ambas etapas.

En la Tabla 3a se consignan las frecuencias asociadas a las máximas ordenadas espectrales; en los casos donde hay más de un valor, se obtuvieron diferentes máximos de las pruebas realizadas en un mismo punto de medición. Entre paréntesis se indican los intervalos de frecuencia donde se manifiestan las ordenadas espectrales más significativas. Los cocientes espectrales obtenidos de las mediciones entre la azotea y la planta baja se mantienen aproximadamente constantes en el intervalo de frecuencias señalado, sin poder distinguir las frecuencias naturales de vibrar.

Las configuraciones modales asociadas al intervalo de frecuencias citado son prácticamente idénticas (Fig. 5); las formas modales promedio tienen un coeficiente de variación inferior al diez por ciento y sus amplitudes varían proporcionalmente con la altura. Puesto que en la base hay rotaciones importantes, estas configuraciones son representativas de movimientos de cuerpo cuasi-rígidos; la elástica de la

superestructura se confunde con los desplazamientos provocados por la rotación de la base.

Las frecuencias propias de la estructura identificadas en las pruebas de vibración ambiental fueron los primeros modos de torsión, cuyos valores varían entre 6.5 y 9.5 Hz (Tabla 3a) y se parecen a los obtenidos en los edificios desplantados en terreno firme.

En uno de los edificios del frente habitacional El Ranchito, se efectuaron mediciones de vibración ambiental durante la noche cuando el ruido ambiental en la ciudad es más bajo; aquí tampoco se logró identificar las frecuencias de vibrar (Fig. 6).

Debido a las dificultades planteadas anteriormente, hubo que recurrir a las pruebas de impulsos inducidos con cierta frecuencia por tres personas al jalar una cuerda atada a los muros de la azotea. El espectro de potencia de una señal de impulsos periódica se caracteriza por una ordenada espectral significativa asociada a la frecuencia de los impulsos, además de sus armónicos cuyas amplitudes van disminuyendo sucesivamente. Cuando tales pruebas de impulsos se aplican a una estructura, algunas de estas ordenadas crecen al acercarse a la frecuencia de un modo de vibrar y decrecen al alejarse de la misma, lo cual permite identificar sus frecuencias naturales. En la Fig. 7 se ilustra la aplicación de esta técnica en una estructura metálica perfectamente empotrada en su base.

Si la técnica descrita se utiliza en el edificio, se obtienen los espectros de potencia mostrados en las Figs. 8, 9 y 10 donde se aprecia que las ordenadas espectrales de los modos fundamentales de vibrar se asocian en el componente T a una frecuencia alrededor de 2.52 Hz, en el componente L a un intervalo de frecuencia entre 2.90 y 3.20 Hz, y en el componente R a 6.72 Hz (Tabla 3b). En estos espectros, las ordenadas de los modos de vibrar no aparecen tan claramente como en el ejemplo ilustrado en la Fig. 7, lo cual se atribuye al hecho de que las fracciones de amortiguamiento crítico son superiores en el edificio en cuestión. Tales espectros, aunque no representan las curvas de resonancia, sugieren que los factores de amplificación son bajos y el ancho de banda en frecuencia es mayor que el de la estructura de la Fig. 7 cuyo amortiguamiento para pequeñas amplitudes fue 0.5 por ciento del crítico.

La relación entre el período medido y el número de pisos en la dirección T fue 0.079 y en la dirección L 0.067; la comparación de estos valores con 0.160, que es el valor típico de edificios de concreto reforzado de la ciudad de México desplantados en suelo blando [1], indica que las estructuras son bastante rígidas.

La frecuencia fundamental de vibración del suelo donde se localiza el edificio es aproximadamente 0.32 Hz (período = 3.13 s). En las mediciones simultáneas entre el terreno y la planta baja del edificio, se observa el efecto de interacción suelo-estructura. Las amplitudes espectrales del terreno se atenúan en planta baja, siendo este hecho notorio para frecuencias superiores a 3 Hz (Fig. 11).

## MODELACION MATEMATICA

Para determinar analíticamente las características dinámicas de las estructuras, se desarrollaron los modelos matemáticos siguiendo el método propuesto por el programa SUPER-ETABS [9]. La estructura se idealizó como un sistema de marcos planos con paneles, cinco de diferentes características en la dirección transversal y seis en la dirección longitudinal (Fig. 1). En la Ref. [5] se describe ampliamente la modelación.

## *EDIFICIOS EN SUELO FIRME*

El modelo que concordó razonablemente con los resultados experimentales fue aquel que tuvo en cuenta las características siguientes:

1. Las zonas rígidas en las uniones viga y columna.
2. Los pretilos como parte de los elementos estructurales, ya que están ligados a los castillos y a las dalas.

3. Las propiedades de la mampostería fueron las obtenidas experimentalmente para bajos niveles de esfuerzo.
4. El módulo de Young del concreto se determinó con la expresión  $E = 13200 \sqrt{f_c}$ , donde  $f_c$  es la resistencia nominal a la compresión. Esta expresión es válida para bajos niveles de esfuerzo.
5. La carga viva existente al momento de las mediciones.
6. Parte de la losa se supone acoplada a las vigas que no están dentro de los muros, aplicando el criterio de vigas sección T y L que señala el RCDF-87 [7].
7. Las propiedades geométricas de los elementos estructurales con materiales compuestos de concreto y mampostería se calcularon a partir de las secciones transformadas de esos elementos.
8. Las dalas o vigas que están dentro de los muros se suponen infinitamente rígidas a flexión
9. En crujiás vecinas con muros, se consideran estos acoplados. Los momentos de inercia de los muros se estiman suponiendo que forman un solo muro, y el valor se divide proporcionalmente a sus longitudes.

El modelo de referencia para los edificios con apéndice fue el mismo, pero se adicionó la masa total de este al último nivel.

En el análisis de los diferentes modelos se encontró que las características 1, 6 y 8 contribuyen en menos de dos por ciento en las frecuencias de vibrar. Al dejar de considerar los pretils como elementos estructurales, las características reales de los materiales, la contribución que aportan en rigidez los castillos y el acoplamiento de los muros de crujiás vecinas, las diferencias pueden ser hasta de 20 por ciento respecto al modelo de referencia.

Las diferencias de las frecuencias experimentales con respecto a las calculadas para el primer modo son inferiores a 4 por ciento (Tabla 4). Por otra parte, la relación entre las frecuencias del segundo y primer modos obtenidas de los valores experimentales es 3.59 y 4.05 para las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente. En los resultados analíticos, estas relaciones de frecuencias son 3.22 y 3.51, respectivamente.

### *EDIFICIOS EN SUELO BLANDO*

Para estudiar el efecto de interacción suelo-estructura, hubo que hacer dos cambios: uno en las propiedades de los materiales, por ser estas estructuras de tabique de concreto; otro en el número de niveles, que se incrementó con dos cambios más: uno para idealizar el cajón de cimentación y el otro para tomar en cuenta la deformabilidad del suelo, cuyos elementos tienen una rigidez equivalente a la proporcionada por el suelo.

En la dirección T, la diferencia entre las frecuencias experimentales de los modos fundamentales de vibrar y las frecuencias calculadas fue uno por ciento inferior; en la dirección L, esa diferencia varió entre 6 y 12 por ciento.

Los resultados obtenidos con el modelo con base flexible indican que las frecuencias disminuyen drásticamente, hasta en un 90 por ciento, respecto a los valores del modelo con base empotrada (Tabla 5). Al estimar las frecuencias fundamentales con la expresión propuesta por el RCDF-87 [8], se obtienen frecuencias que difieren en menos de un 6 por ciento de las correspondientes al modelo con base flexible.

## RESPUESTA DINAMICA CALCULADA

Para comparar la respuesta de las estructuras desplantadas en suelo blando se analizaron los modelos calibrados, de base rígida y base flexible modificados para condiciones de diseño, con el método dinámico espectral. El espectro de diseño utilizado fue el propuesto en las normas RCDF-87 [8], y para edificios de mampostería de piezas macizas y suelo blando resulta como se muestra en la Fig. 12.

Las frecuencias fundamentales de traslación con el modelo modificado, considerando base flexible y base rígida, disminuyen en 7 y 14 por ciento respecto al modelo calibrado (Tabla 5).

Los desplazamientos y cortantes de entrepiso obtenidos del análisis dinámico con base flexible y base rígida se comparan en la Tabla 6. Hay diferencias apreciables debido a la drástica reducción de las frecuencias de vibrar por efectos de interacción suelo-estructura, que se traducen en incrementos en las ordenadas del espectro de diseño (fig 12), y en cambios en los factores de participación modal: al primer modo le corresponde más del 90 por ciento si se considera base flexible y aproximadamente 60 por ciento con base rígida.

Una revisión de la capacidad de estas estructuras al tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura conduce a demandas de resistencia mayores que las permisibles por las normas [6]. Esto no concuerda con el comportamiento observado, el cual muestra que estos edificios, así como aquellos que se diseñaron con las normas anteriores, no manifestaron daño estructural.

## CONCLUSIONES

### *EDIFICIOS EN SUELO FIRME*

A partir de las mediciones de vibración ambiental, se identificaron claramente los modos naturales de vibrar de los edificios en el suelo firme. Se estimaron los porcentajes de amortiguamiento crítico correspondientes a los niveles de excitación ambiental, los valores están comprendidos entre uno y dos por ciento. La relación de los períodos fundamentales de los edificios con el número de niveles fue igual a 0.04.

Las frecuencias naturales y los modos de vibrar calculados con el modelo analítico calibrado concuerdan con las mediciones.

### *EDIFICIOS EN SUELO BLANDO*

En vista de la limitación que presentó el método de vibraciones ambientales para los edificios en suelo blando y el impedimento por parte de los propietarios para aplicar pruebas de tracción, se propuso como alternativa efectuar las pruebas de impulsos, con las cuales se lograron identificar las frecuencias fundamentales de vibración.

Las propiedades dinámicas del modelo analítico concuerdan con las mediciones experimentales. La relación entre el período medido y el número de pisos en la dirección más desfavorable fue de 0.079.

El tipo de estructuras estudiadas sufre una severa reducción de sus frecuencias fundamentales de traslación, aproximadamente un 90 por ciento, respecto a las desplantadas en suelo firme; mientras que la frecuencia fundamental de torsión es aproximadamente similar.

Estas estructuras presentan deformaciones menores que las del suelo sobre el que se desplantan. Las configuraciones espectrales obtenidas de las pruebas de impulsos muestran que el sistema suelo-estructura tiene elevados coeficientes de amortiguamiento del suelo, y esto sugiere que el suelo está funcionando como un disipador de energía.

**El estudio experimental y analítico de los edificios localizados en suelo blando indica que debe considerarse, además de la deformabilidad del suelo, su capacidad de disipación de energía para calcular la respuesta dinámica**

## RECONOCIMIENTO

Se agradecen las facilidades otorgadas por el Fideicomiso de Vivienda Desarrollo Social y Urbano (FIVIDESU). Asimismo, se hace patente la participación de Abel Miranda y Margarita López. Finalmente, se agradece a Roberto Meli y Ricardo González sus comentarios.

## REFERENCIAS

- [1] Ricardo González Alcorta "Cinemática del movimiento de Edificios de la ciudad de México" Tesis de Maestría, DEPMI-UNAM, junio 1989.
- [2] H. Kawasumi, E. Shima "Some Applications of a Correlator to Engineering Problems", III WCEE, vol. 2, Nueva Zelanda, pag. II-298 a II-320, 1965.
- [3] T. Minami y T. Kashima "Medición con microtremor en las construcciones de la ciudad de México a raíz de los sismos de los días 19 y 20 de septiembre de 1985". "Memorias del primer Simposium Internacional, los Sismos y sus Efectos en las Ciudades", México, D.F., pag 355-372, septiembre 1986.
- [4] D. Muriá Vila, A. Miranda, E. Castillo; "Modificaciones del Dispositivo Experimental para la Medición de las Características Dinámicas de los Edificios"; Proyecto 8711, Instituto de Ingeniería, UNAM, agosto 1988.
- [5] D. Muriá Vila, E. Cruz "Propiedades dinámicas de edificios de mampostería", Proyecto 8711, Instituto de Ingeniería, UNAM, junio 1989.
- [6] Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, noviembre 19, 1987.
- [7] Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, noviembre 26, 1987.
- [8] Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, noviembre 5, 1987.
- [9] E. L. Wilson, H.H. Doversy, J.P. Hollings; "Three Dimensional Analysis of Building Systems (Extended version) University of California, EERC 75-13, April 1975.

\* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM. cd. Universitaria Apdo. postal 70-472, Coyoacán, 04510 México, D.F.

TABLA 1. Módulos de elasticidad de la mampostería

Material	$E_{ei}$ kg/cm	$E_{ei}^*$ kg/cm <sup>2</sup>
Tabique de concreto	36640	48230
Bloque de concreto	24606	39167

$E_{ei}$  - módulo secante entre 15 y 50% del esfuerzo máximo

$E_{ei}^*$  - módulo secante entre 0 y 30% del esfuerzo máximo

Tabla 2. Frecuencias naturales de vibrar medidas en los edificios localizados en suelos firme

FRENTE: GUTIERREZ NAJERA

EDIFICIO	1 <sup>er</sup> MODO			2 <sup>o</sup> MODO		
	L	T	R	T	L	R
B1	5.54	5.40	7.06	21.8	19.6	---
B4	5.36	5.08	6.90	22.0	19.6	---
C1	5.48	5.16	7.12	---	---	---
MEDIA	5.46	5.21	7.03	21.9	19.6	---
C.V.	2%	3%	2%	0.1%	0.0%	---

FRENTE: ZAPOTE III

EDIFICIO	1 <sup>er</sup> MODO			2 <sup>o</sup> MODO		
	L	T	R	T	L	R
A1	4.88	7.12	17.12	17.4	17.4	---
A3	5.16	4.64	7.20	----	----	---
MEDIA	5.02	4.61	7.16	17.4	17.4	---
C.V.	4%	1%	1%	----	----	---

TABLA 3a. Frecuencias significativas (Hz) de las estructuras desplantadas en suelo blando obtenidos de las mediciones de vibración ambiental

FRENTE	EDIFICIO	COMPONENTE		
		L	T	R
BRAHAMS	—	2.48 2.60 2.72	2.64	8.08
		[2.00-3.20]	[2.00-3.20]	[7.00-9.50]
EL RANCHITO	E1	2.32 2.60 2.88 3.20	2.72 2.88 3.12 3.40	8.32
	E2	3.04 3.44	3.04	8.08
5 DE MAYO I	A2	2.48 2.64 2.88 3.32	2.68 2.80	6.68
	A6	2.88	2.84	7.20

TABLA 3b. Frecuencias fundamentales identificadas en uno de los edificios desplantado en suelo blando

FRENTE	EDIFICIO	COMPONENTE		
		L	T	R
EL RANCHITO	E1	[2.90-3.20]	2.52	6.72

TABLA 4. Comparación de frecuencias experimentales con las obtenidas del modelo analítico calibrado.

FRENTE	COMPONENTE	1° NODO		2° NODO	
		$f_a$	$f_a/f_e$	$f_a$	$f_a/f_e$
GUTIERREZ NAJERA	L	5.40	0.99	17.04	0.87
	T	5.43	1.04	18.28	0.83
	R	6.88	0.98	22.40	--
ZAPOTE III	L	5.06	1.01	16.39	1.06
	T	5.09	0.91	17.66	1.01
	R	6.85	0.96	22.32	--

$f_a$  - frecuencia calculada en [Hz]       $f_e$  - frecuencia experimental en [Hz]

TABLA 5. Frecuencias calculadas con los modelos analíticos de los edificios desplantados en suelo blando.

Modelo	Componente	Frecuencias [Hz]	
		1° Modo	2° Modo
Base empotrada: Modelo de suelo firme pero con 6 niveles y con tabique de concreto.	L	4.80	15.65
	T	4.72	16.77
	R	6.03	20.61
Modelo anterior pero con base flexible	L	2.72	7.33
	T	2.48	6.65
Modelo de base empotrado pero con masas y módulos de elasticidad de diseño	L	4.26	13.69
	T	4.14	14.37
	R	5.24	17.62
Modelo de base flexible pero con masas y módulos de elasticidad de diseño	L	2.55	6.74
	T	2.32	6.22

TABLA 6a. Comparación de la respuesta estructural obtenida del análisis dinámico espectral en la dirección T

NIVEL	DESPLAZAMIENTOS [m]		CORTANTES DE ENTREPISO [ton]	
	BR	BF	BR	BF
6	0.0043	0.0117	23.12	27.39
5	0.0035	0.0096	37.40	47.33
4	0.0025	0.0074	47.74	64.53
3	0.0016	0.0052	53.64	79.08
2	0.0007	0.0030	58.31	91.24
1	0.0000	0.0012	59.87	108.77

TABLA 6b. Comparación de la respuesta estructural obtenida del análisis dinámico espectral en la dirección L

NIVEL	DESPLAZAMIENTOS [m]		CORTANTES DE ENTREPISO [ton]	
	BR	BF	BR	BF
6	0.0039	0.0067	22.31	24.82
5	0.0032	0.0056	36.73	43.65
4	0.0024	0.0044	47.48	60.50
3	0.0015	0.0029	54.60	75.23
2	0.0007	0.0014	57.98	87.83
1	0.0000	0.0002	59.75	106.72

BR - Base rígida  
BF - Base flexible



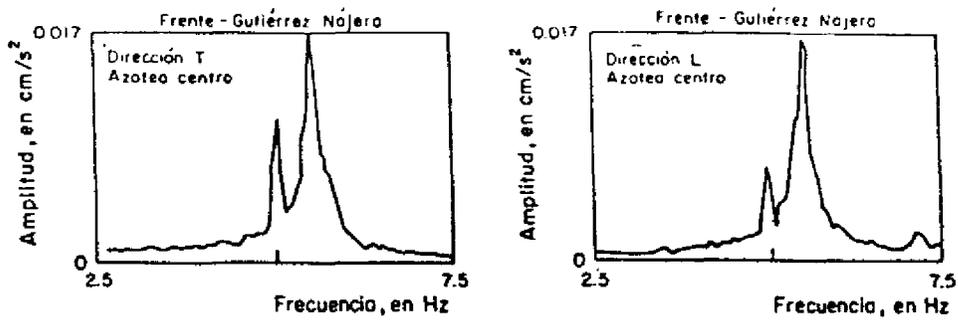


FIGURA 2. Espectros de potencias obtenidas de las mediciones de vibración ambiental en uno de los edificios del frente Gutiérrez Nájera.

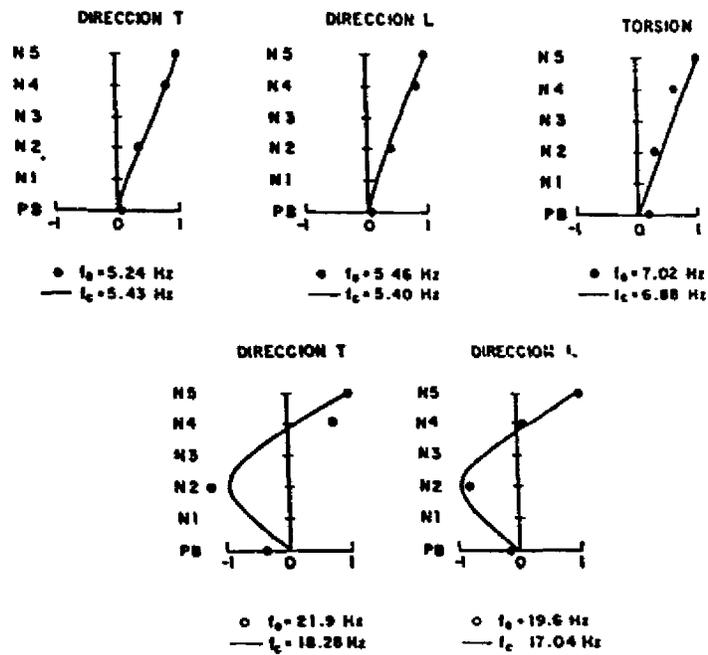


FIGURA 3. Configuraciones de los modos naturales detectados en el edificio B1 del frente Gutiérrez Nájera ( $f_e$ - frecuencia experimental,  $f_c$ - frecuencia calculada).

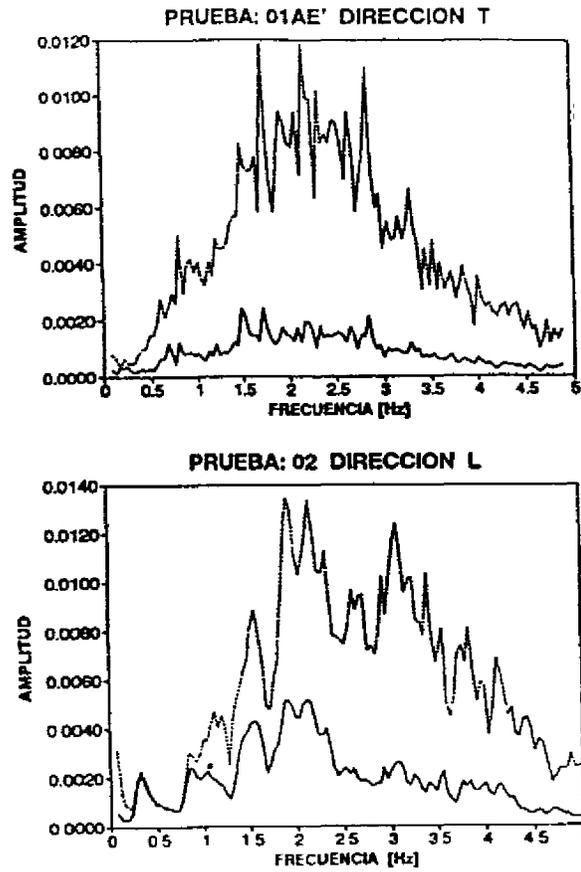


FIGURA 4.- Comparación de los espectros de potencia obtenidas de las mediciones de vibración ambiental en el edificio El Ranchito.

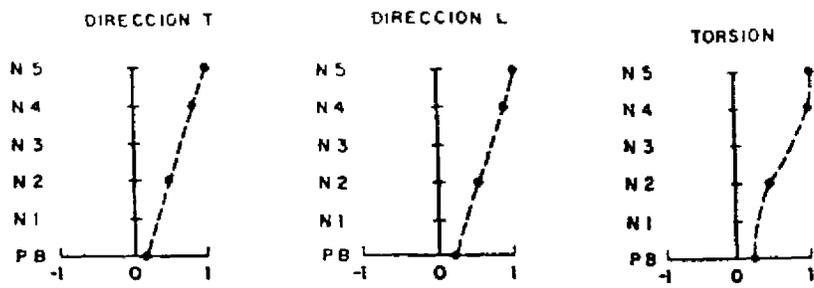


FIGURA 5. Configuraciones modales típicas de los edificios de mampostería desplantados en suelo blando.

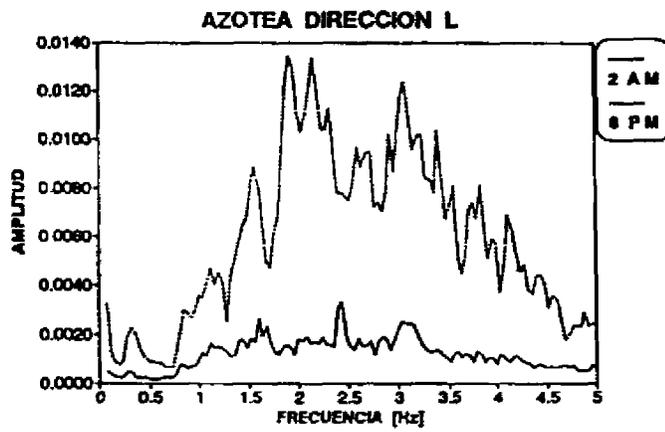
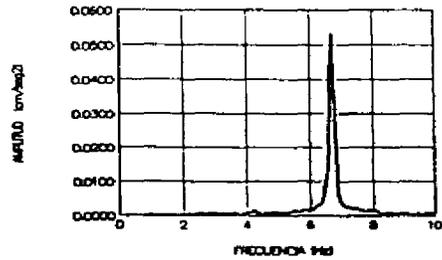


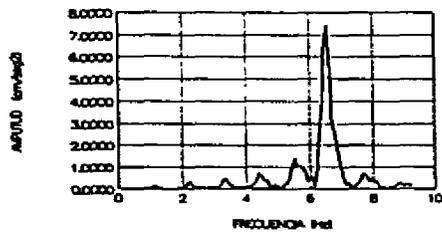
FIGURA 6. Comparación de los espectros de potencia obtenidos de las mediciones de vibración ambiental a diferentes horas del día en el edificio El del frente El Ranchito

PRUEBA DE VIBRACION AMBIENTAL



PRUEBA DE IMPULSOS

( FRECUENCIA DE IMPULSOS = 1.00 Hz )



PRUEBA DE IMPULSOS

( FRECUENCIA DE IMPULSOS = 0.48 Hz )

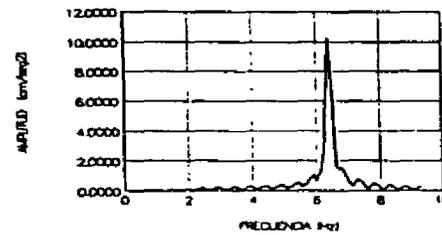


FIGURA 7. Espectros de potencia promedio en la azotea de una estructura metálica de dos niveles, al someterse a vibración ambiental y pruebas de impulsos.

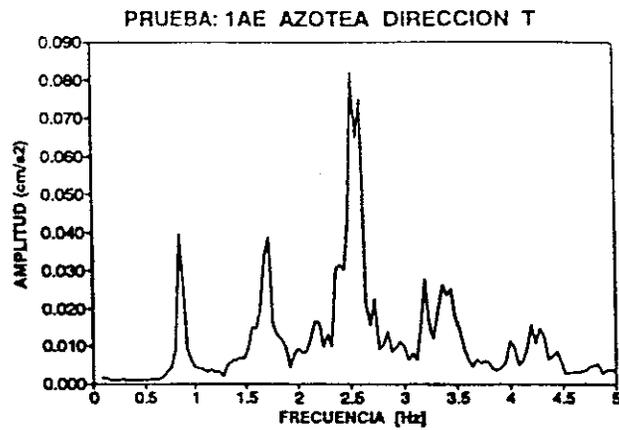


FIGURA 8. Espectro de potencia promedio, obtenido de pruebas de impulsos en la dirección T del edificio El frente El Ranchito.

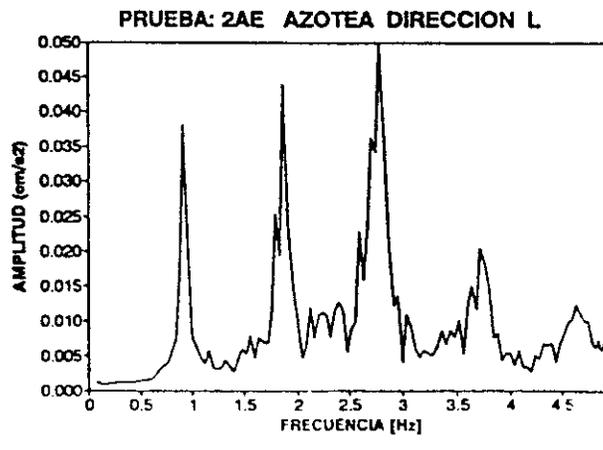


FIGURA 9. Espectro de potencia promedio obtenido pruebas de impulsos en la dirección L del edificio frente El Ranchito.

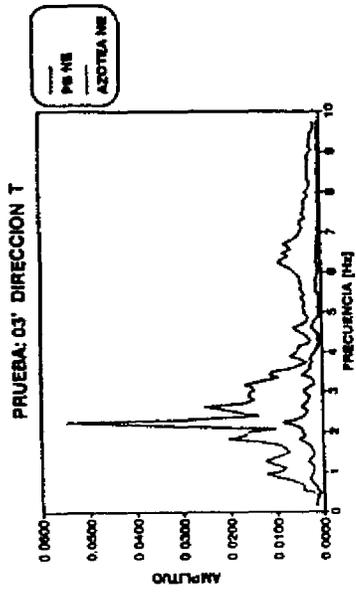


FIGURA 10. Espectros de potencia obtenidos de las pruebas de impulsos para identificar la frecuencia de torsión del edificio El del frente El Ranchito.

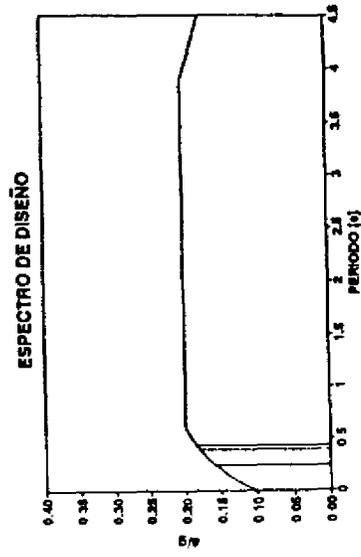


FIGURA 12. Espectro de diseño para estructuras de mampostería de piezas macizas localizadas en suelo blando.

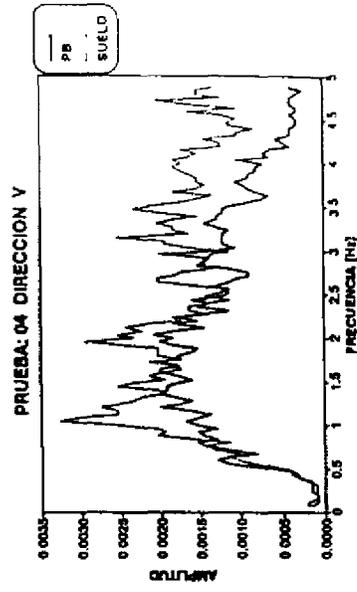
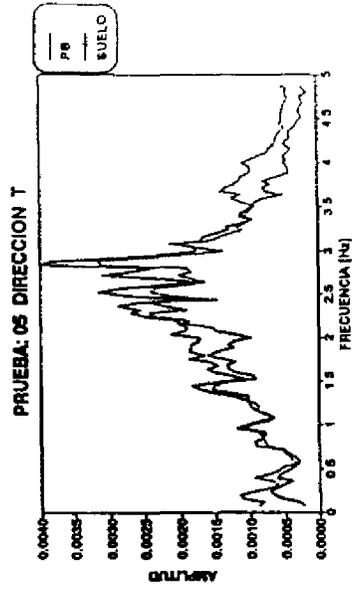


FIGURA 11. Comparación de los espectros de potencia promedio obtenidos simultáneamente en planta baja del edificio El del frente El Ranchito y sobre el suelo circundante a estructura.