

"Documento original en mal estado"

ANEXO 3:

**EL SISMO DE GUAYAQUIL DE 1942. EVIDENCIAS RECIENTES
PONENCIA PUBLICADA EN LAS IX JORNADAS DE
INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMO-
RESISTENTE EN LA ESPE,
QUITO - ECUADOR
MAYO 1995**

EL SISMO DE GUAYAQUIL DE 1942, EVIDENCIAS RECIENTES.

VILLACRES Alex, Ing.

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Facultad de Ingeniería Instituto de Investigaciones (III-IUC)

Guayaquil - Ecuador

INTRODUCCION. DESCRIPCION DEL SISMO DE 1942 EN GUAYAQUIL.

El 13 de Mayo de 1942 un sismo de magnitud 7.9 Ms (7.0 Mb) afectó la costa del Pacífico en el Ecuador, causando daños a la ciudad de Guayaquil y otros lugares en la costa ecuatoriana. Las intensidades alcanzaron un valor de IX en la escala de Mercalli en la zona epicentral y el epicentro del sismo, determinado de los catálogos sísmicos (ref 1.), se presenta en el gráfico No 1.

Es notorio que aunque la intensidad alcanzó en general valores de grado VI o menores en la provincia del Guayas (Yaguachi y Milagro, por ejemplo), en la ciudad de Guayaquil se registraron intensidades de VIII y IX en la escala de Mercalli, lo que evidencia que en Guayaquil se produjo un efecto local del suelo que ocasionó que el sismo afectara a las estructuras de la ciudad mas allá de lo que debió corresponder al daño normal de un evento que tuvo epicentro a 250 kilómetros de la misma.

Aunque la intensidad del evento en Guayaquil fue asignada como IX en la escala de Mercalli, el colapso de las estructuras ocurrió sólo en una pequeña zona dentro de la ciudad, el centro comercial. En la escala de Mercalli, la intensidad IX corresponde precisamente al colapso estructural, por lo tanto se debe aceptar que las restantes zonas de la ciudad sufrieron daños correspondientes a intensidades menores o iguales a VIII.

El Dr. Arnaldo Rufilli, en su descripción de los efectos del sismo (ref 2.), identifica a la zona donde ocurrieron los mayores daños como IIIa zona, dándole los siguientes límites aproximados

- Por el norte: calles Aguirre, José de Antepara, Quesquis y Junín.
- Por el sur: calle Colón.
- Por el este: calle Pedro Carbo.
- Por el oeste: estero Salado.

Los suelos de la zona son descritos por el mismo autor de la siguiente forma.

"Aquí el terreno está constituido por arcilla amarilla o parda, muy empapada de agua y siempre sumergida bajo el nivel de las aguas freáticas. Esta arcilla está recubierta por un metro o dos, cuando más, de tierra vegetal y materiales de relleno."

El tipo estructural de los edificios afectados fue el de estructuras de pórticos en hormigón armado y solamente sufrieron fuertes daños o colapsaron edificios entre 3 y 5 pisos de altura. Rufilli describe así los daños que se verificaron en la zona en estudio:

"En un pequeño sector que comprende seis manzanas, puesto al límite norte, hubieron de desocupar cinco edificios modernos e importantes, de un total de nueve. Y los otros cuatro no quedaron tampoco indemnes. En este mismo sector, tres edificios modernos presentaban un desplome evidente, y otros tres tenían los pilares de la estructura de la planta baja tan afectados, que además de la evacuación, se tuvo que ordenar el inmediato apuntalamiento hasta que se dictaminara sobre su reparación o su demolición. .. En esta zona se verificó también el derrumbe total de un edificio de mampostería y hormigón armado y el derrumbe casi total de otro edificio del mismo tipo. Estos dos edificios surgían a poca distancia uno del otro, y estaban construidos en terrenos que responden perfectamente al que se describió para esta zona. Los edificios vecinos tuvieron escasos daños. Una de las dos casas destruidas pertenecía a la época de máxima competencia comercial, y el otro era más antiguo y se había edificado en dos periodos sucesivos. La parte correspondiente al segundo periodo fue la que se derrumbó; la más antigua quedó en condiciones de evidente peligro y fue demolida."

Este autor identifica entre los factores de vulnerabilidad estructural algunos de tipo más bien social, tales como la mala práctica constructiva que imperaba en la ciudad de Guayaquil en lo que respecta a la construcción de edificios en hormigón armado, debido sobre todo a la escasez de profesionales debidamente calificados para desarrollar esa actividad y a la competencia que muchos aprendices y maestros de obra planteaban a la escasa práctica profesional existente por razones de orden económico.

Entre los factores estructurales de vulnerabilidad que Rufilli anota tenemos los siguientes:

- La pobreza de las cimentaciones, muchas veces de plintos aislados sin pilotes, consecuencia de un desconocimiento o mala estimación de la resistencia de los suelos suaves de la zona.

- La práctica común en Guayaquil de utilizar niveles de planta baja con alturas de más de 4.0 metros. En esa época ello se hacía debido a que las normas del cabildo así lo imponían. La diferencia de rigidez entre el piso inferior y los pisos superiores era así notoria. Los daños en las columnas de planta baja ocurrieron preferentemente en los extremos superiores de las mismas. La permanencia de esta práctica constructiva en Guayaquil se puede apreciar en las edificaciones actuales (ver gráfico No 2.).

- La posible rotación o desplazamiento de las columnas en el nivel basal, lo cual contribuyó a aumentar el daño en las columnas esbeltas de la planta baja.

- La ausencia de paredes en fachadas frontales de la planta baja, que por lo general, como hoy, era usada con fines comerciales o de almacenamiento de productos (ver gráfico No 3) y por lo tanto requerían de grandes boquetes o puertas que restaban rigidez a la estructura en este nivel.

Sin embargo, estos factores de vulnerabilidad eran comunes a todas las zonas de la ciudad donde se desarrollaba actividad de tipo comercial y no eran exclusivas de las edificaciones de la IIIa zona, donde, a diferencia de las otras zonas de la ciudad, los daños fueron "más espectaculares" según la expresión usada por el mismo Dr. Rufilli para describirlos.

Los daños en la IIIa zona parecen más consecuencia de un fenómeno de resonancia ingenieril debido al comportamiento selectivo de los efectos (edificios de pórticos en hormigón armado, de entre 3 y 5 niveles) y a que edificaciones de otro tipo resultaron evidentemente con menores lesiones que las colapsadas o desplomadas.

Ningún registro de aceleraciones del suelo, debidos a sismos, había sido obtenido en la zona central de Guayaquil hasta la instalación de la Red Nacional de Acelerógrafos (RNA, 1989, ref 3.). Un evento de magnitud 5.8 Ms con epicentro cercano al de 1942 y una profundidad similar ocurrió el 1 de Septiembre de 1990 y los acelerogramas registrados en Guayaquil, junto a estudios geológicos y sismológicos actuales servirán al propósito de establecer evidencias de que un efecto local del suelo causó la resonancia estructural y el colapso de estos edificios durante el sismo de 1942 en la zona comercial de Guayaquil.

INVESTIGACIONES RECIENTES.

Durante 1992, un grupo de estudiantes de la Universidad Católica de Guayaquil, dirigidos por el profesor Ing. Agustín Serrano (Maridueña Loena et al, ref 4), realizó la labor de recopilar la información disponible de numerosas perforaciones y perfiles estratigráficos del subsuelo en el casco comercial de Guayaquil, con el fin de realizar la microzonificación sísmica de los suelos de la ciudad. La ubicación de dos de los perfiles logrados en la IIIa zona por dicho grupo (perfiles 47-52 y 46-51) se presentan en el gráfico No 4, superponiéndolos a los límites de la mencionada zona. Los gráficos No 5 (perfil 47-52) y No 6 (perfil 46-51) son representativos de la estratigrafía de la zona.

Las aceleraciones en el suelo suave de la ciudad debidas al sismo del 1 de Septiembre de 1990 fueron registradas en la estación acelerográfica de Avenida del Ejército y Alejo Lascano, cuya ubicación exacta se muestra también en el gráfico No 4 junto a la ubicación del perfil estratigráfico 70-73 (gráfico No 7), correspondiente al sector de la estación. Además, se muestra un perfil, también fuera de la IIIa zona, que es representativo del sector entre dicha zona y las estribaciones de los cerros de Santa Ana y del Carmen (perfil 2-5-41, gráfico No 8).

El análisis de estos acelerogramas fue realizado durante 1993 por el autor (ref 5.) y presentados en las VII jornadas de Ingeniería Estructural de Machala. En dicho análisis el desplazamiento del suelo se logró por integración de la señal de aceleración. Los espectros de Fourier de la aceleración se obtuvieron por el método de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y ambos análisis se resumen en el gráfico No 9. Los espectros de respuesta de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento del 5% fueron también obtenidos en base a los acelerogramas y se muestran en el gráfico No 10.

El conocimiento actual del suelo en el centro comercial de Guayaquil fue usado para modelar la transmisión de ondas sísmicas desde el basamento firme de la ciudad hasta la superficie (Argudo Jaime, Yela Rommel, ref 6.). Los acelerogramas registrados en el sismo de TAFI S69E fueron usados por dichos autores para calibrar el modelo introduciendo señales generadas artificialmente a partir de dichos acelerogramas en el basamento firme y usando un modelo de capas múltiples se simuló la transmisión de las ondas hasta la superficie, 60 metros arriba, con el fin de estimar el coeficiente de amplificación de la aceleración del suelo entre el basamento y la superficie.

Los resultados obtenidos por Argudo y Yela en el suelo suave del centro comercial de la ciudad de Guayaquil ante la incidencia de ondas procedentes de fuentes lejanas (> 200 Km) son los siguientes:

a.) Respuesta del suelo casi elástica, dominada por periodos dentro del rango $0.74 < T_s < 0.9$ seg y con factores de amplificación comprendidos entre $2.5 < A_s/A_b < 4.0$ para niveles de aceleración en roca menores a 5%g

b.) Comportamiento inelástico del suelo, dominado por periodos dentro del rango $0.9 < T_s < 1.1$ seg y con factores de amplificación comprendidos entre $1.5 < A_s/A_b < 2.5$ para niveles de aceleración en roca de entre el 5%g y el 15%g.

AMENAZA SISMICA ACTUAL DEL AREA DEL SISMO DE 1942 PARA GUAYAQUIL.

El estudio de las referencias sobre sismicidad regional y mundial indican que existe una relación entre el número de eventos con magnitud, propuesta en 1944 por Richter-Gutenberg. Dicha relación es:

$$\log N(M) = a - bM$$

Donde: $N(M)$ = número de sismos anuales de magnitud mayor o igual a la magnitud M .

Las constantes a y b definen la sismicidad del area en estudio

La distribución de probabilidades de ocurrencia de sismos con magnitud menor o igual a un cierto valor puede ser definida estudiando los valores máximos anuales en el area sísmica escogida como pertenecientes a una distribución de valores extremos de Gumbel tipo I, definida por

$$G(M) = \exp \left[-\alpha \exp(-\beta M) \right] \quad \begin{array}{l} \alpha, \beta \text{ constantes} \\ M \text{ magnitud} \end{array}$$

$$\text{o} \quad G(M) = \exp \left[-\exp(-\beta(M-u)) \right]$$

Donde u = moda de la distribución y $\beta u = \ln \alpha$

La relación entre los parámetros de la distribución de Gumbel I y los de la ley de Richter-Gutenberg está establecida como

$$a = \log \alpha \quad b = \beta \log e$$

En nuestro caso el area sísmica de interés corresponde a aquella en la que probablemente ocurrirá un sismo de gran magnitud en los próximos años, frente a las costas de Manabí o Esmeraldas. J. Palacios (Ref 7), expone dicha area como Area Fuente 1 en su estudio realizado para el CONUEP (Gráfico No 11). Otro estudio importante donde se definen los límites de dicha area fué realizado para la presa Daule Peripa (Ref 8) y en dicho estudio la misma Area Fuente 1 se define según lo mostrado en el gráfico No 12.

Habiendo conformidad entre estos dos importantes estudios, se procedió a separar las máximas magnitudes M_b anuales ocurridas dentro de esta area en el intervalo de tiempo entre los años 1933-1987. Para ello se utilizó un programa de computadora especial (SISPACK) creado para el efecto y que

permite separar los eventos registrados en una determinada area, definida por el usuario, de un archivo de datos creado en base al "Catálogo de terremotos para América del Sur", editado por CIERESIS en 1985, que proporciona la magnitud Mb de los sismos registrados instrumentalmente desde 1901 hasta 1981. Se usaron tambien otras fuentes que proporcionaron información adicional hasta 1987.

Posteriormente se procedió a separar las máximas magnitudes anuales registradas en el area en el periodo de 1933-1987 (ver tabla No 1) y a aplicar las estadísticas necesarias para estimar los parámetros α y β de la distribución de Gumbel tipo I y consecuentemente los parámetros a y b de la relación de Richter-Gutenberg. Todos estos valores corresponden a sismos superficiales (profundidades hipocentrales menores a 70 Km), como es de esperar en los sismos tectónicos de nuestro país

TABLA No 1. Máximas magnitudes Mb anuales registradas en el area fuente 1. Periodo 1933-1987.

Año	Magnitud	Año	Magnitud	Año	Magnitud
1933	6.2	1963	4.6	1975	5.0
1937	6.4	1964	5.7	1976	6.0
1942	7.0	1965	4.6	1977	5.1
1943	6.2	1966	4.4	1978	4.7
1944	6.2	1967	4.6	1979	5.6
1956	6.5	1968	4.3	1980	4.1
1957	5.7	1969	4.3	1981	5.8
1958	6.7	1970	5.3	1983	6.2
1959	6.3	1971	4.6	1984	4.7
1960	6.2	1972	4.8	1985	5.0
1961	6.2	1973	4.9	1986	4.9
1962	6.2	1974	5.2	1987	4.0

Los parámetros obtenidos permiten establecer un modelo de distribución de probabilidades para los máximos eventos anuales esperados en el Area Fuente 1, dicho modelo es:

$$G(M) = P(Mb \leq M) = \exp [-2517.95 \exp (-1.56 M)]$$

o, que es lo mismo,

$$G(M) = P(Mb \leq M) = \exp [-\exp(-1.56 (M - 5.02))]]$$

La ley de Richter-Gutenberg correspondiente es:

$$\log N(Mb) = 3.4 - 0.68 Mb$$

Estos parámetros han sido comparados con aquellos obtenidos para el area en otros estudios y se encontró que los valores son muy similares (tabla No 2).

TABLA No 2. Valores comparativos de parametros de sismicidad regional por diversos autores. Distribución de Gumbel I. Area fuente 1

Autor	α	β	a	b	Estudio
Villacrès, Alex Area fuente 1 Prof < 70 Km 1933-1987	2518	1.56	3.40	0.678	presente artículo
Palacios, José Area fuente 1 Prof < 40 Km 1942-1983	2840	1.55	3.45	0.673	(ref 7)
Lara, Otón, et al. Presa Daule Peripa Prof < 70 Km 1952-1982 (30 años)	4365	1.61	3.64	0.699	(ref 8)
La Tegola, Antonio Radio de 300 Km alrededor de Jaramijó Prof < 70 Km 1956-1980	3327	1.57	3.52	0.682	(ref 9)

La probabilidad anual de excedencia P de una magnitud dada M es:

$$P = P(M_b \geq M) = 1 - G(M)$$

Dicho evento tiene un periodo de retorno T determinado por $P = 1/T$

Y la probabilidad anual de ocurrencia F es $F = 1 - P$

La probabilidad de que una magnitud dada M sea excedida en t años es:

$$P_t = 1 - (1 - P)^t = 1 - [1 - (1/T)]^t$$

Por tanto, si se establece la probabilidad de que una cierta magnitud M sea excedida en t años como un cierto valor, determinado con criterios ingenieriles, es posible estimar también el valor de la magnitud M y su correspondiente periodo de retorno.

Para poder comparar resultados con la predicción realizada por Stuart Nisheko, del National Earthquake Information Center (NEIC), según la cual la probabilidad de que un sismo superficial de gran magnitud ($7.0 < M_s < 7.7$) o de muy grande magnitud ($M_s \geq 7.7$), condicionado a que dicho evento no haya ocurrido antes de 1989, ocurra en el Área Fuente 1 durante el periodo de 1989-1999 está entre el 60%, y el 100% es necesario obtener primero una relación entre las escalas de magnitud M_b y M_s para la zona. Para lograrlo se han seleccionado 21 sismos de la tabla, que tienen ambas magnitudes reportadas y se ha realizado una prueba de correlación. Los datos utilizados, así como la recta encontrada, con coeficiente de correlación del 93%, se muestran en el gráfico No 13. La relación obtenida es:

$$M_s = 1.54M_b - 2.85$$

Si se procede ahora a establecer los valores para la predicción correspondientes al modelo establecido se obtienen los siguientes resultados:

$$M_s = 7.0 \quad M_b = 6.4$$

$$G(M) = P(M_b \leq 6.4) = \exp \{ -\exp(-1.56(6.4 - 5.02)) \} = 0.890$$

$$P = P(M_b \geq 6.4) = 1 - G(M) = 1 - 0.890 = 0.109$$

$$T = 1/0.109 = 9.1 \text{ años}$$

El catálogo demuestra que en el periodo de 54 años, entre 1933 y 1987 el evento con $M_b \geq 6.4$ ha ocurrido 6 veces, lo que corresponde a un periodo de retorno de 9 años. La última ocasión que se registró un sismo de esa magnitud en el área fue en Enero de 1958, hace 37 años.

La probabilidad de que una magnitud $M_b \geq 6.4$ sea excedida en 10 años es:

$$P_{10} = 1 - (1 - 0.109)^{10} = 0.69$$

Para el sismo con magnitud $M_s \geq 7.7$, los valores correspondientes son: $M_b \geq 6.8$, $T \geq 17.7$ años y $P_{10} = 0.44$. En el periodo de 1901 a 1987 se registraron cuatro veces este tipo de eventos en la zona (Enero de 1901, Enero de 1906, Mayo de 1942, Enero de 1958) lo que corresponde a un periodo de retorno de 21.5 años.

Finalmente, con el fin de estudiar la Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad, se ha elaborado la tabla No 3 donde, para diversas probabilidades de excedencia de la magnitud M_b en $t=20$ años (periodo 1987-2007), se presentan los valores de magnitud asociados así como sus respectivos periodos de retorno.

TABLA No 3. Magnitudes Mb, Ms y periodo de retorno asociado T (en años). Area fuente 1. Periodo 1987-2007.

P20	60%	50%	40%	30%	20%
Mb	7.0	7.2	7.4	7.6	7.9
Ms	7.9	8.2	8.6	8.9	9.3
T	23	30	40	56	90

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

La amplificación basamento-superficie de las ondas sísmicas evaluada por Argudo y Yela tiene valores de entre 1.5 y 4 y la estructura del suelo no afecta las frecuencias de la señal, cuyo contenido permanece prácticamente la misma en ambos medios de transmisión - el basamento y el suelo suave - mostrando que el principal efecto del suelo de Guayaquil en el centro comercial sobre las ondas sísmicas procedentes de epicentros muy lejanos (> 200 Km) es la amplificación de la aceleración y no la modificación del contenido de frecuencias, porque la corteza terrestre actúa como un filtro natural que concentra las bajas frecuencias durante la transmisión de las ondas desde el epicentro y causa que las altas frecuencias desaparezcan antes de alcanzar el basamento del suelo de Guayaquil.

La estratigrafía del suelo de la ciudad en la IIIa zona de Rutilla aparece uniforme cuando se comparan perfiles estratigráficos cercanos a la estación acelerográfica de Avenida del Ejército, fuera de la IIIa zona, y los sectores de dicha zona, lo cual demuestra que el basamento rocoso es profundo en toda la ciudad (>60 m) y que el afloramiento de roca en el sector oeste de la zona (Estero Salado) ocurre muy abruptamente. Por lo tanto, los resultados obtenidos en cuanto a la transmisión de ondas del basamento a la superficie son aplicables a todo el sector de suelos suaves en la ciudad de Guayaquil.

Los niveles de aceleración en roca para el sismo de Mayo de 1942, de magnitud $M_s=7.9$ ($M_b=7.0$) ocurrido a 250 Km de distancia, son necesariamente bajos ($A_g < 5\%g$), pero el estudio de Argudo y Yela muestra que el suelo de la IIIa zona tiene la capacidad de cuadruplicar la amplitud de la aceleración durante la transmisión de las ondas a la superficie, manteniendo sin embargo el contenido de frecuencias, que en este caso estuvo necesariamente en el rango de bajas frecuencias (menores a 6 Hz), sumamente dañinos para los edificios altos y cabelleros de la ciudad.

Existen por tanto fuertes evidencias de que el colapso y destrucción de edificios entre 3 y 5 niveles ocurrió debido a un muy severo fenómeno de resonancia ingenua porque el espectro de respuesta del modelo alcanza sus máximos valores en periodos entre 0.25 y 0.50 segundos (correspondientes al periodo natural de los edificios dañados). Adicionalmente se verifica que en las otras zonas del centro comercial de la ciudad no se produjeron colapsos ni daños del tipo que se produjeron en la IIIa zona debido seguramente a que los edificios altos en Guayaquil se encontraban en 1942 concentrados en la zona en que se sufrió el mayor daño.

Los valores hallados con el modelo de valores extremos de Gumbel I coinciden con los de la predicción de Stuart Nishenko (NEIC) y con la realidad sísmica del área de estudio (Zona Sísmica

Tectónica frente a las costas de Manabí y Esmeraldas). Los sismos de magnitud $M_s > 7.0$ ($M_b > 6.4$) no ocurren en la zona desde 1958, teniendo un periodo de retorno mucho menor a 37 años, lo que implica necesariamente un silencio sísmico preocupante

El uso del suelo en el área de Guayaquil más afectada durante el sismo de 1942 debe ser ampliamente revisado porque es claro que los edificios con iguales características a aquellos dañados ese año serán severamente afectados en el caso que un evento similar o mas severo ocurriera. La probabilidad condicional de dicho evento es actualmente alta y seguramente que los edificios de 3 o más pisos, ubicados sobre el mismo suelo suave sin ninguna medida de prevención y construidos inmediatamente después del último sismo, en las décadas del 50 y 60, poseen por lo tanto un alto riesgo ante eventos de esta naturaleza

REFERENCIAS

- 1.- Catálogo de Terremotos para América del Sur, datos de hipocentros e intensidades para Ecuador CERESIS (Centro Regional de Sismología para América del Sur) 1985.
- 2.- Ruffilli Arnaldo. Lecciones de estructuras; los terremotos de Guayaquil. 1949
- 3.- Mera Walter. Red Nacional de Acelerógrafos, reporte final del proyecto presentado al CONUEP. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería. 1994.
- 4.- Mariduena Lorena, Mendoza Ginger, Merizalde José. Microzonificación Sísmica de un sector de la ciudad de Guayaquil. Trabajo de grado presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. 1992.
- 5.- Villacrés Alex. Análisis de acelerogramas registrados en Guayaquil y sus aplicaciones prácticas en estudios de amenaza sísmica. Presentado a las VII Jornadas de Ingeniería Estructural. Machala, 1993
- 6.- Argudo Jaime, Yela Rommel. Microzonificación Sísmica de Guayaquil. Presentado a las VIII Jornadas de Ingeniería Estructural. Quito, 1994.
- 7.- Palacios José. Determinación de la distribución de los niveles de aceleración en el país y regionalización con fines de prevención sísmica. Universidad de Guayaquil, Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados. Presentado al CONUEP, 1987.
- 8.- Lara Otón, Valarezo Lilia, Chavez Miguel, Serrano Agustín, Aguiar Roberto. Estudio de Riesgo Sísmico para la central hidroeléctrica de la presa Daule-Peripa. Estudio de Consultoría elaborado por LATSE para CEDEGE, 1982.
- 9.- La Tegola Antonio. Calcolo della pericolosità sismica, applicazione del modello di Gumbel ai terremoti dell'Ecuador. Universidad de La Calabria, Italia. 1991.

GRAFICO No 1.- Ubicación del epicentro del sismo del 13 de Mayo de 1942.

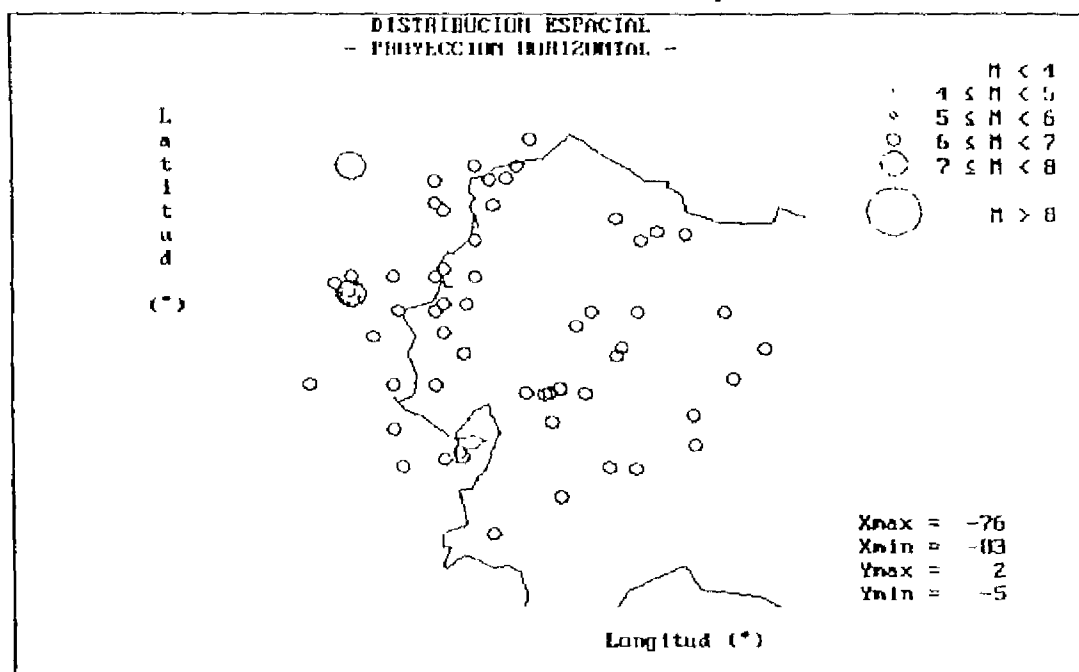


GRAFICO No 2.- Edificaciones con niveles de planta baja mayores a 4 metros. Reducción de la rigidez por efecto de alta esbeltez en columnas. Guayaquil actual.

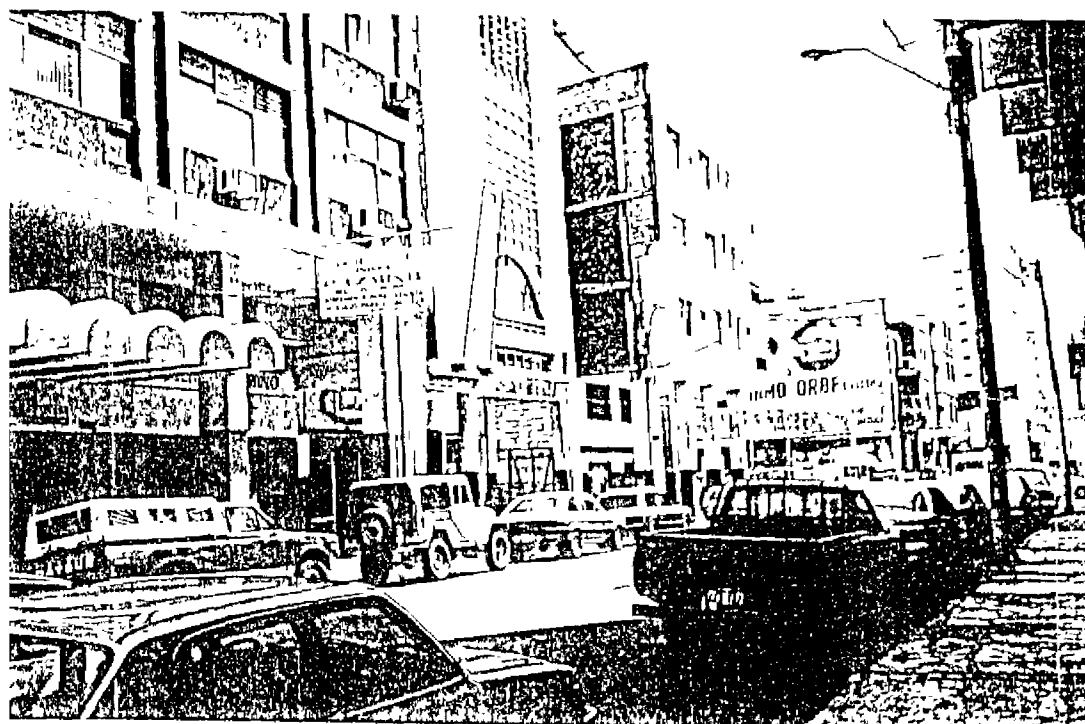
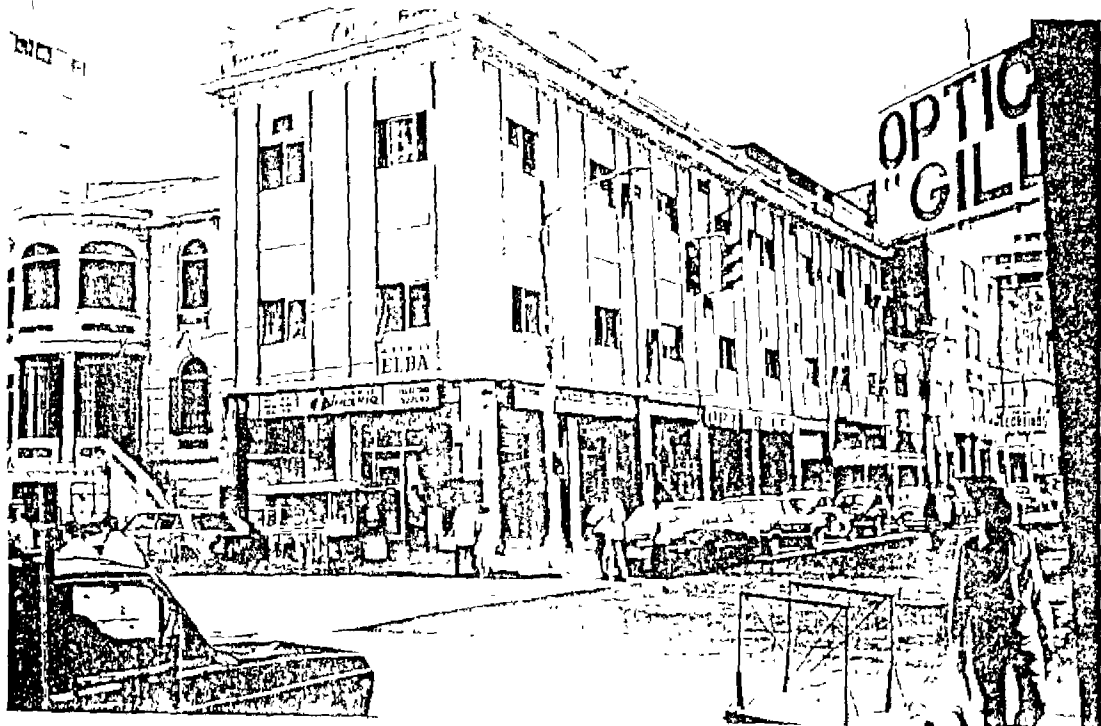


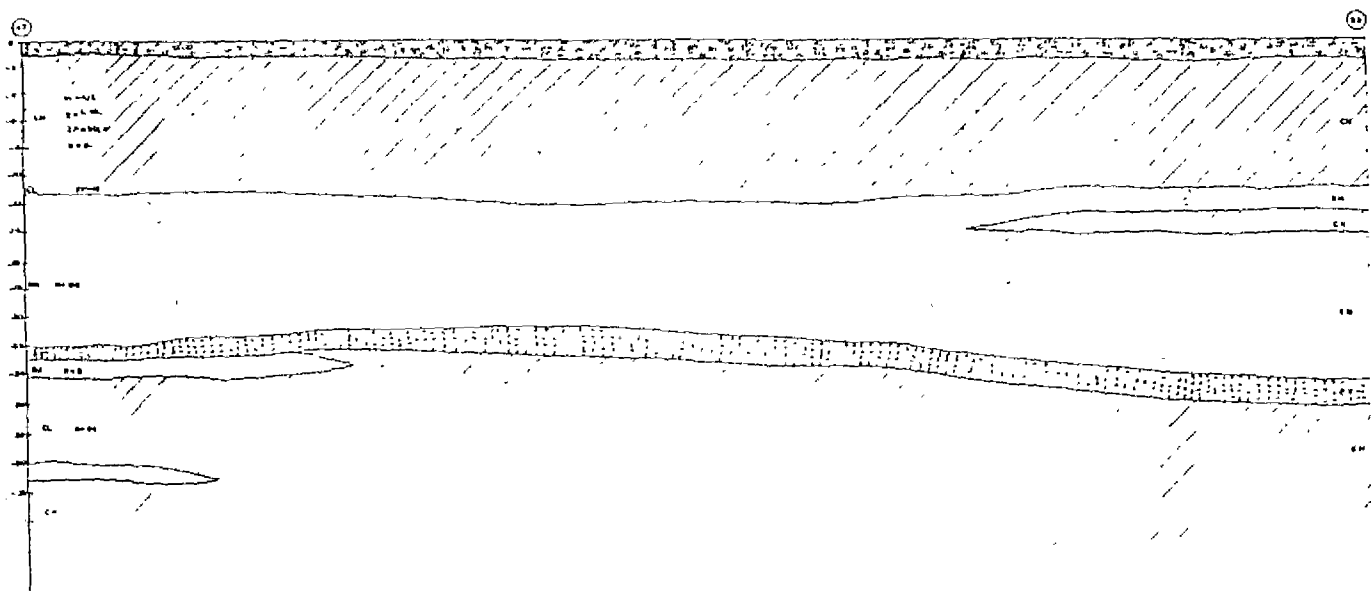
GRAFICO No 3.- Uso comercial de los niveles de planta baja en Guayaquil. Reducción de la rigidez por ausencia de paredes. Guayaquil actual.



Map of the Zona de Rufilla in Lima, Peru. The map shows a grid of streets with various landmarks and numbered blocks. Key streets include Av. de la Libertad, Av. de la Republica, Av. de la Independencia, Av. de la Democracia, Av. de la Justicia, Av. de la Verdad, Av. de la Fama, Av. de la Gloria, Av. de la Honor, Av. de la Virtud, Av. de la Fe, Av. de la Esperanza, Av. de la Caridad, Av. de la Misericordia, Av. de la Piedad, Av. de la Clemenencia, Av. de la Benignidad, Av. de la Gracia. Landmarks include the Estacion de Avenida del Ejercito, Piscina Olimpica, Parque Centenario, and various schools and churches. A north arrow is located at the bottom right of the map.

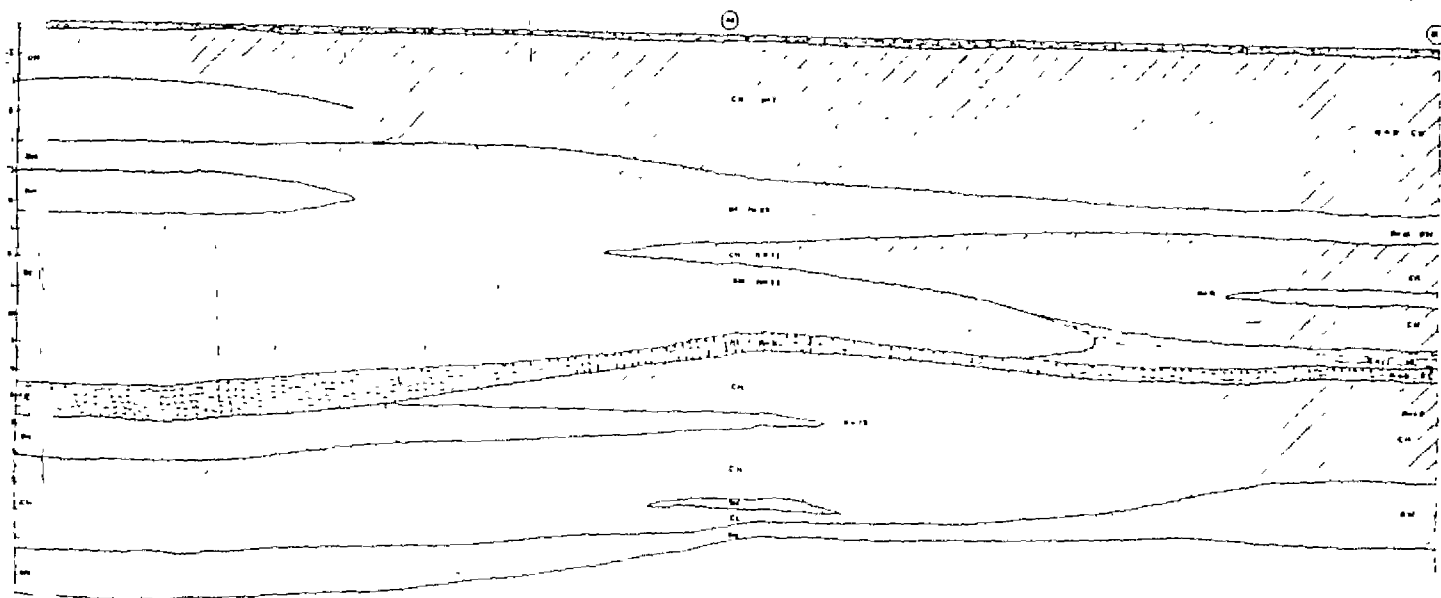
1 ——— NORTE

GRAFICO No 5.- Perfil estratigráfico 47-52. Representativo de la IIIa zona.



Tomado de 'Microzonificación sísmica' de un sector de la ciudad de Guayaquil' (Maridueña et al.)

GRAFICO No 6.- Perfil estratigráfico 46-51. Representativo de la IIIa zona.



Tomado de 'Microzonificación sísmica' de un sector de la ciudad de Guayaquil' (Flanduena et al.)

GRAFICO No 7.- Perfil estratigráfico 70-73. Representativo del sector de la estación de Avenida del Ejército.

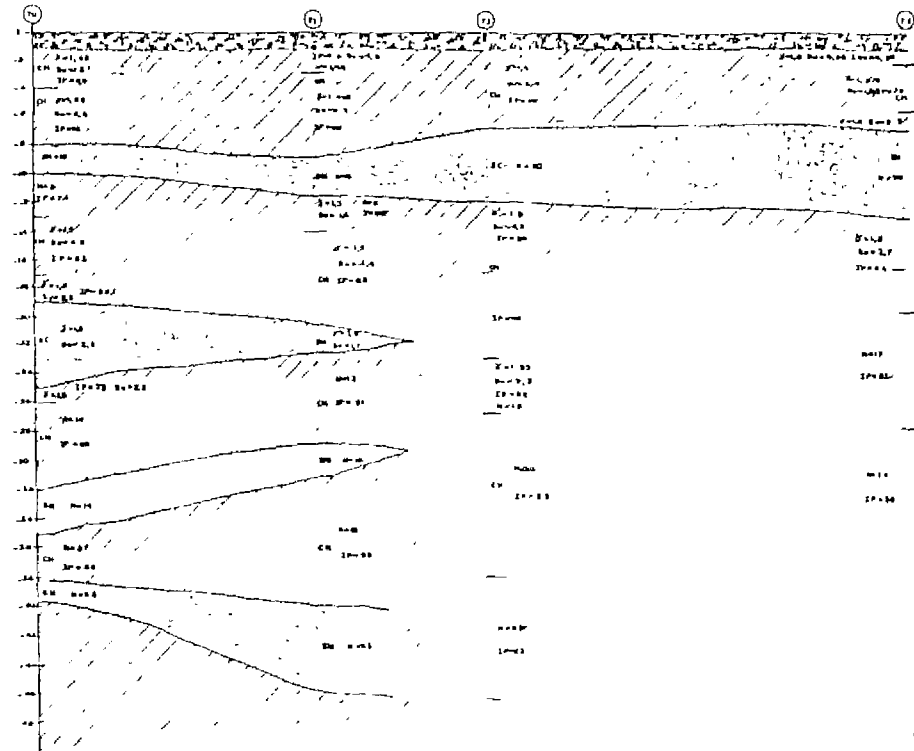
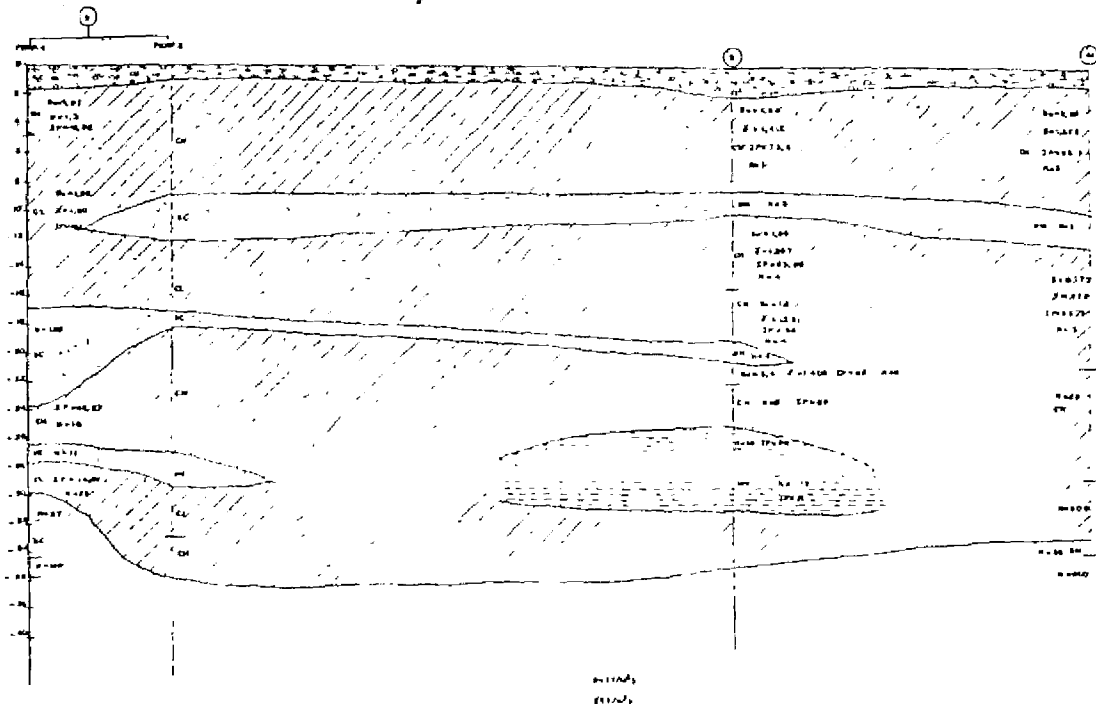


GRAFICO No 8.- Perfil estratigráfico 2-5-41. Representativo del sector entre la IIIa zona y las estribaciones de los cerros del Carmen y Santa Ana.



Tomado de 'Microzonificación sísmica' de un sector de la ciudad de Guayaquil' (Maridueña et al.)

GRAFICO No 9.- Espectro de Fourier de la aceleración del suelo de la ciudad en la estación de Avenida del Ejército durante el evento de Septiembre de 1990.

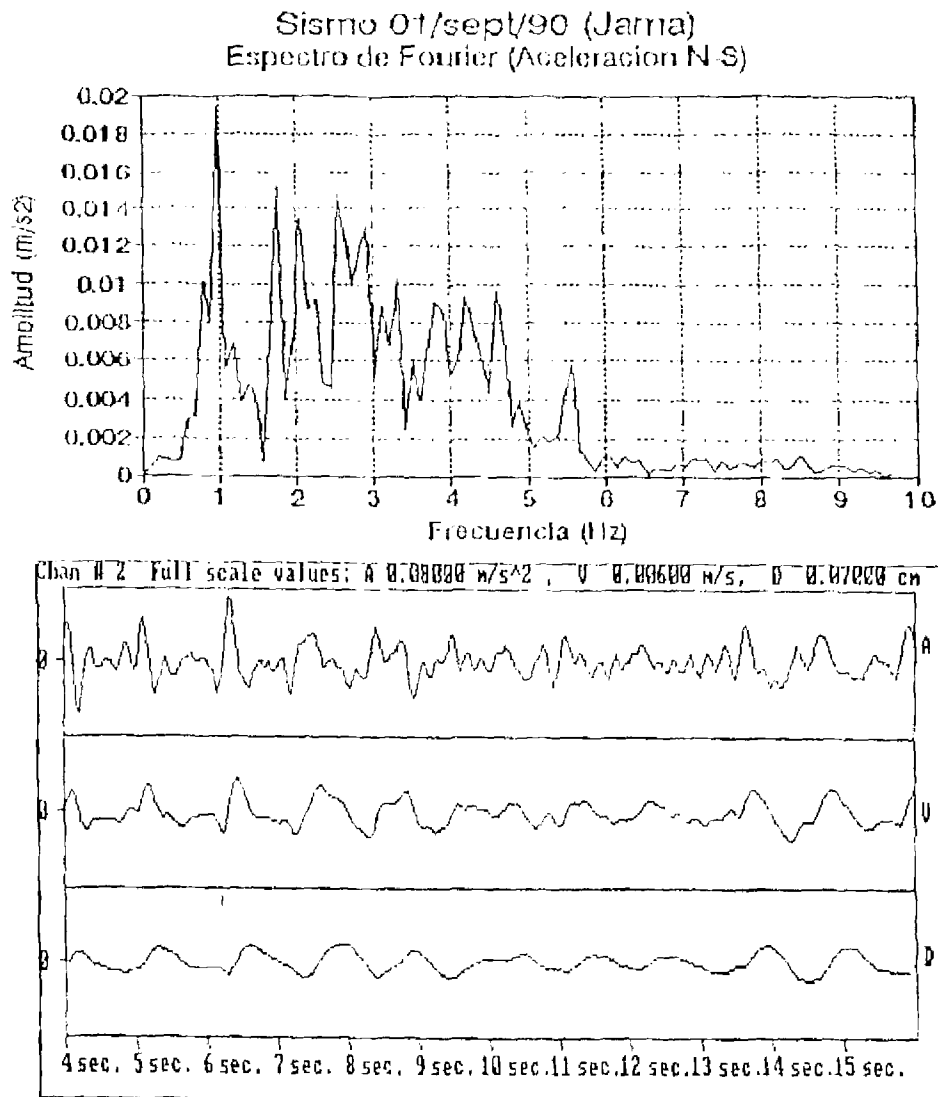


GRAFICO No 10.- Espectros de respuesta de un sistema de un grado de libertad con 5% de amortiguamiento para la aceleración del suelo en la estación de Avenida del Ejército durante el evento de Septiembre de 1990.

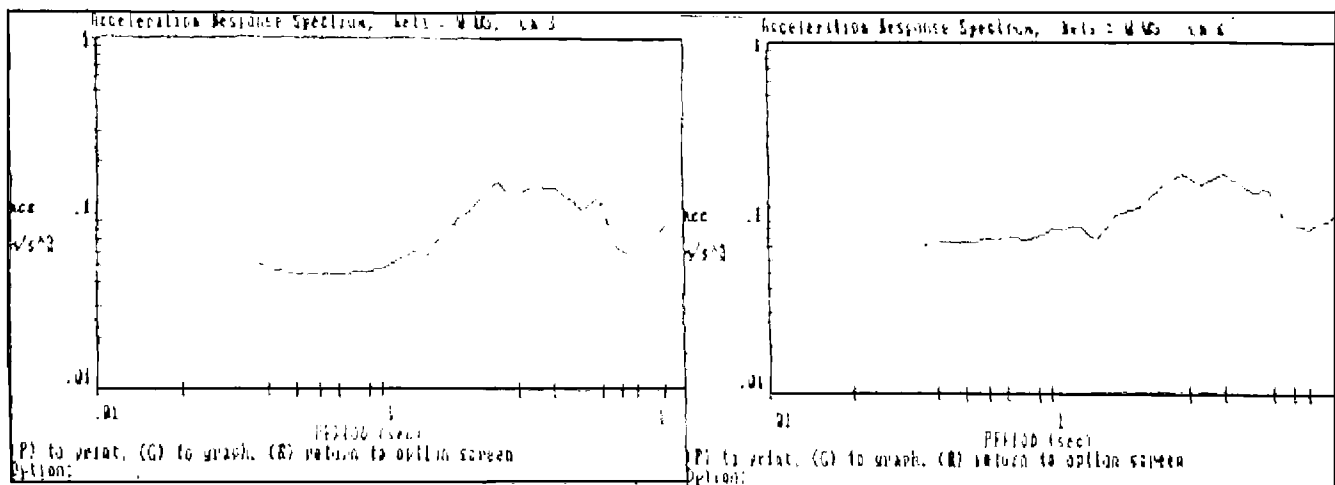


GRAFICO No 11.- Area fuente 1 definida según J. Palacios en su estudio (ref 7)

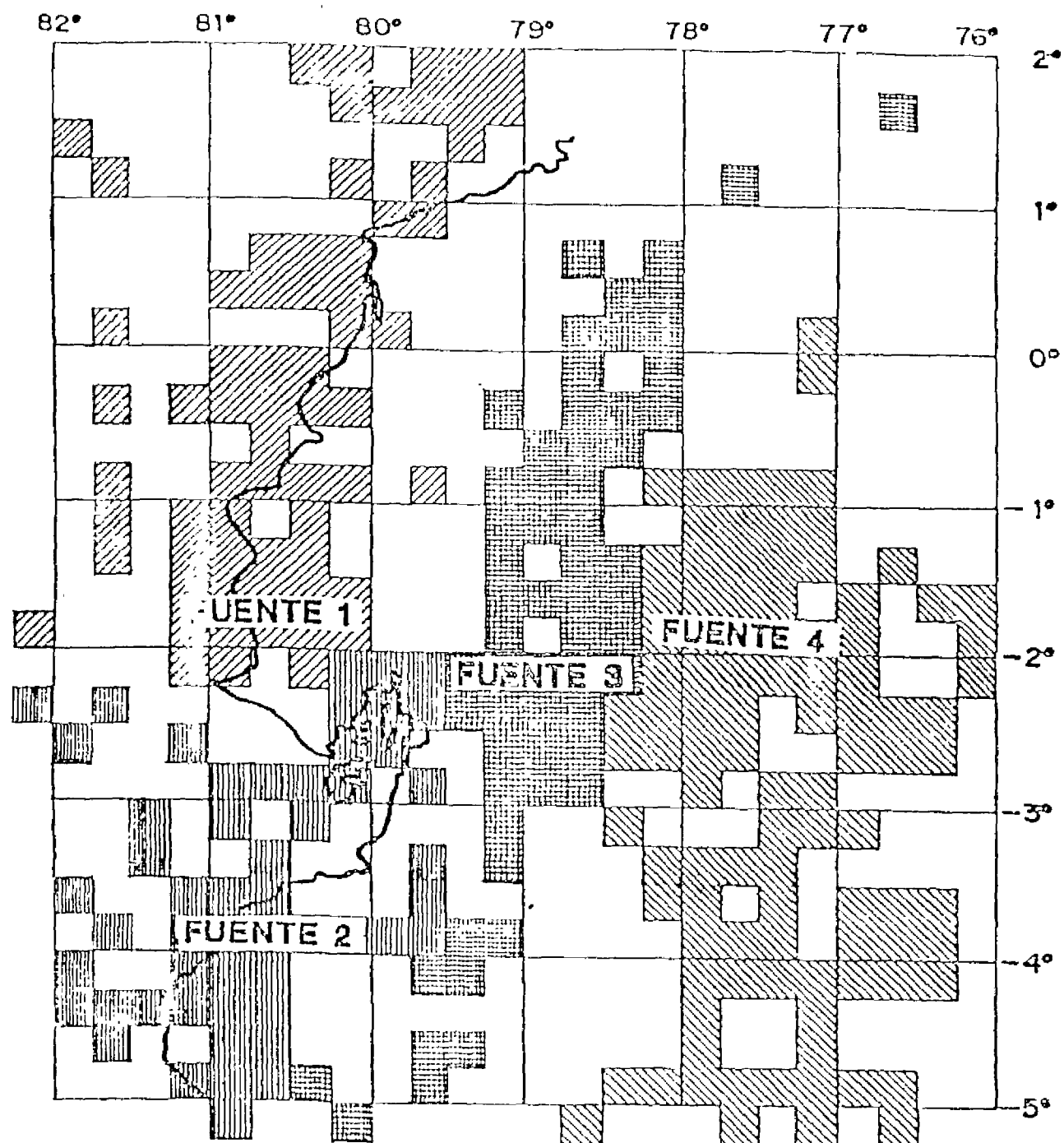


GRAFICO No 12.- Area Fuente 1 definida por O. Lara et al. en su estudio (ref 8)

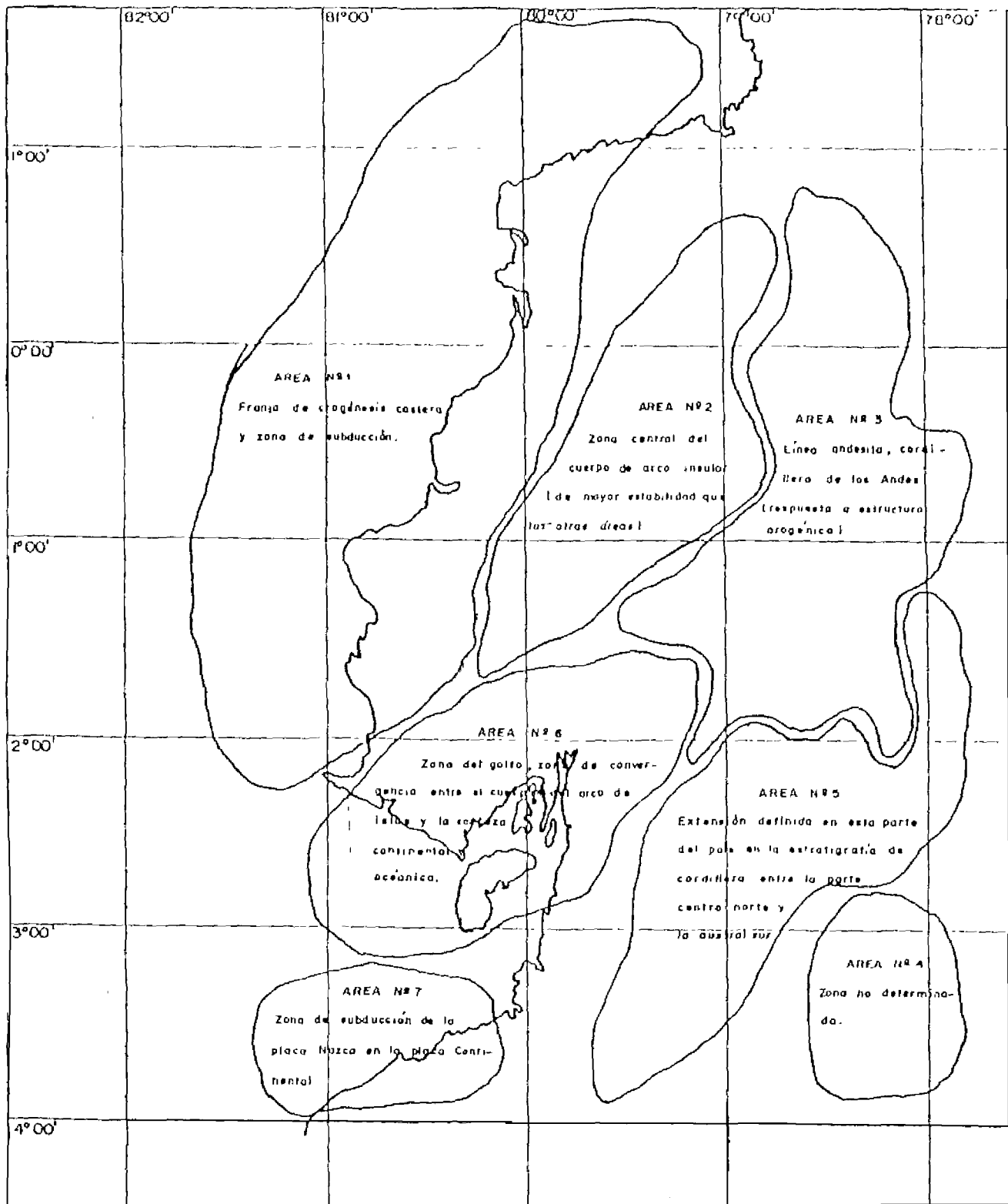
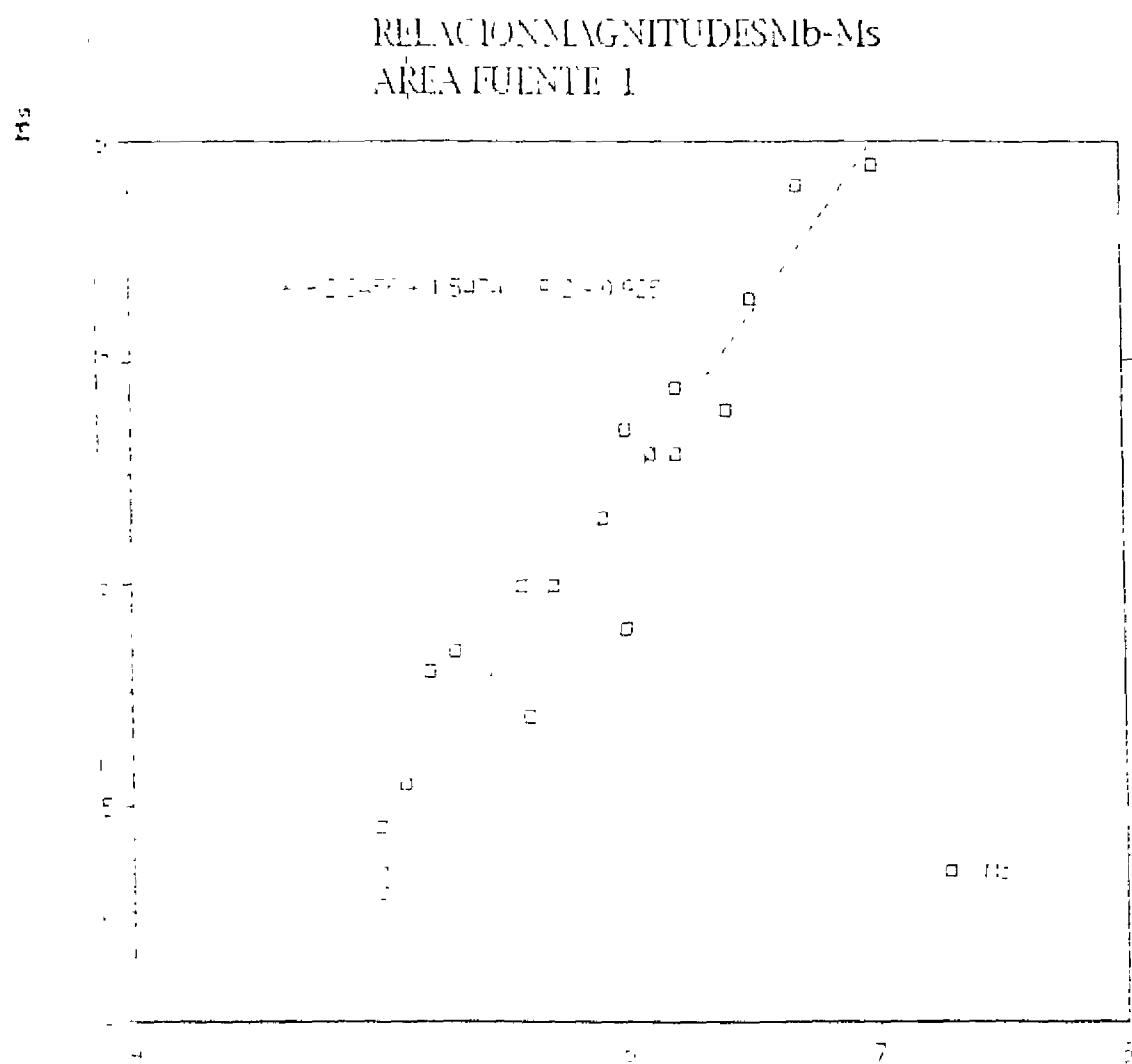


GRAFICO No 13.- Relacion de las escalas de Magnitud Ms y Mb en el Area Fuente 1.



ANEXO 4:

ANALISIS TEORICO Y EXPERIMENTAL PARA DEFINIR UNA
FORMULA SIMPLE PARA LA DETERMINACION DEL PRIMER
PERIODO DE VIBRACION DE EDIFICIOS DE CONCRETO
ARMADO EN GUAYAQUIL PONENCIA PUBLICADA EN
LAS IX JORNADAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
Y SISMORESISTENTE EN LA ESPE,
QUITO-ECUADOR
MAYO 1995

ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL PARA DEFINIR UNA FÓRMULA SIMPLE PARA LA DETERMINACIÓN DEL PRIMER PERÍODO DE VIBRACIÓN DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO EN GUAYAQUIL

¹ Antonio La Tegola

² Walter Mera

ABSTRACTO

Usando la técnica de la vibración ambiental con instrumentos y programas de computación apropiados, se ha obtenido el primer período de vibración en las dos direcciones principales de 36 edificios de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil.

Todos los datos obtenidos de estas mediciones han sido tratados usando las expresiones empíricas de varios Códigos, obteniendo el parámetro numérico de la aplicación de dichas expresiones empíricas.

Todos los parámetros encontrados de cada expresión fueron procesados estadísticamente, encontrando la mejor relación que se ajuste al coeficiente óptimo. De la comparación entre los resultados teóricos y los experimentales de 7 edificios, se muestra la contribución de los elementos no-estructurales, la cual no puede ser despreciada.

INTRODUCCIÓN

Para obtener la respuesta sísmica de estructuras, es muy importante la determinación del período natural de dichas estructuras.

El período natural es evaluado teóricamente con referencia solo a la rigidez de la estructura, pero el período real es generalmente desconocido debido a la presencia de los elementos no-estructurales, los cuales en diferentes maneras, contribuyen a la rigidez efectiva de la estructura.

Dichos elementos influyen en la estructura de diferentes maneras, dependiendo de su propia tipología y tienen una gran influencia en edificios con poco número de pisos.

Desafortunadamente, el análisis para la determinación teórica del período natural tomando en cuenta la contribución de los elementos no-estructurales a la rigidez de la estructura está restringido debido a la dificultad en modelar la estructura o debido al gran tiempo de computación que esto involucra.

Se han propuesto varias expresiones empíricas para la determinación del primer período de estructuras, sin embargo el período teórico así calculado es siempre mayor que el verdadero período, con la desventaja de escoger fuerzas sísmicas

menores de un espectro de respuesta, por lo tanto teniendo factores de seguridad menores

El alcance de este trabajo es de tomar los resultados de una investigación experimental previa, en la cual el primer período de vibración de 36 edificios de hormigón armado ha sido determinado con una técnica particular (medición de la vibración ambiental) y con estos resultados la evaluación de las limitaciones de las expresiones empíricas propuestas por diferentes Códigos ha sido realizada

Para algunos de los edificios de hormigón armado medidos, se ha realizado un análisis teórico el cual permite la introducción de coeficientes de corrección en las expresiones empíricas

Para obtener mejor resultados, los edificios han sido adicionalmente clasificados de acuerdo a su uso o destino, porque a más de los elementos estructurales resistentes, los elementos no-estructurales tienen una notable influencia

Usando las varias expresiones propuestas en los diferentes Códigos, se ha seleccionado la expresión que mejor se ajusta a los valores experimentales, modificando los parámetros numéricos y usando herramientas estadísticas, haciendo referencia al 95% del nivel superior de confiabilidad (lower percentile p 5%)

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los análisis experimentales han sido elaborados usando la técnica de la medición de la vibración ambiental. A continuación se presenta una descripción del equipo y los programas usados

Para determinar los períodos de vibración de 36 edificios y diferentes suelos de Guayaquil, se ha utilizado un equipo Kinemetrics (el SSR-1), el cual consiste de un registrador de eventos sísmicos que registra eventos en memoria solida RAM y de tres sensores (SS-1), los cuales son sismómetros de periodo corto que operan en modo horizontal o vertical y registran con un muestreo de 100 sps

Seleccionando los parametros apropiados, el SSR-1 puede registrar continuamente la señal que proviene de los sensores, la cual consiste en los pequeños desplazamientos de las estructuras causados por la vibración ambiental (viento, tráfico, máquinas, etc.) y también los causados por los microtemblores. Los sensores son colocados en la parte superior de los edificios y son orientados en las dos direcciones principales ortogonales de la estructura (ejes 1 y 2). Adicionalmente, se toma la medición de la vibración ambiental en la base del edificio para determinar el periodo natural de vibración del suelo. El tiempo promedio de registro en cada caso es de tres a cinco minutos. Las señales registradas son guardadas en un computador para su procesamiento posterior.

Luego de que se ha realizado la medición de la vibración ambiental, los registros son recuperados del SSR-1 usando un computador portátil y son procesados con un programa de computación apropiado para el cálculo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) de la señal. Este proceso matemático permite la transformación de la señal obtenida, del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. También se determina la Función de Densidad Espectral de Potencia, y ambos procedimientos conducen al cálculo de la frecuencia natural de vibración de la estructura medida, ya sea un edificio o el suelo. El inverso de la frecuencia natural es el período natural de vibración de dicha estructura.

El período natural así calculado es realmente el período verdadero de la estructura, como fue demostrado (A. La Tegola, W. Mera, 1994, Ref 4) y que no es influenciado por el período del suelo

Las características de los edificios medidos, destinación o uso, tipo de estructura, características geométricas de la base y los periodos medidos, son presentados en la Tabla 1. En esta Tabla, el período teórico de algunas de las estructuras está presentado en las dos últimas columnas para los edificios que se pudo obtener el diseño estructural

EVALUACION NUMERICA

Todos los datos de los resultados experimentales son usados en las diferentes expresiones empíricas propuestas por varios Códigos, y en particular aquellos que a continuación se presentan

Del Código Italiano

$$T = \alpha \cdot (H/\sqrt{L}) \quad (a)$$

$$T = \alpha \cdot (H/\sqrt{L}) \sqrt{(H/(H+L))} \quad (b)$$

$$T = \alpha \cdot (H/\sqrt{L}) \sqrt{(H/(H+2L))} \quad (c)$$

Del Uniform Building Code (U B C) de California

$$T = \alpha \cdot (H/\sqrt{L}) \quad (a)$$

$$T = \alpha \cdot N \quad (d)$$

y del Eurocode EC8_

$$T = \alpha \cdot N \quad (d)$$

$$T = \alpha \cdot (H/\sqrt{L}) \sqrt{(H/(H+L))} \quad (b)$$

$$T = \alpha \cdot H^{3/4} \quad (c)$$

en los cuales

T es el primer período natural en la dirección de análisis en seg

H es la altura del edificio en metros

L es la base del edificio en la dirección de análisis en metros

TABLA 1

Edificio	Uso	Estruc	N.Piso	H (m)	L1 (m)	L2 (m)	T1 seg	T2 seg	T1t seg	T2t seg
La Previsora	Banco	Concret	35	132.0	60.0	30.0	1.60	2.25	1.89	2.25
Forma	Oficina	Concret	29	104.4	38.7	16.2	1.60	2.30		
La Merced	Oficina	Concret	28	100.8	31.5	17.1	1.38	2.24		
Fortín	Viviend	Concret	26	93.6	31.5	16.2	1.58	2.34		
S. Francisco	Oficina	Concret	25	90.0	39.6	36.9	2.07	2.15		
MAG	Oficina	Concret	25	90.0	28.8	23.4	1.99	2.07		
Unamur	Oficina	Concret	24	86.4	40.0	15.0	1.38	2.15		
Induauto	Oficina	Concret	23	82.8	34.2	17.1	1.70	2.35		
Valra	Oficina	Concret	21	75.6	43.2	21.6	1.17	1.55	1.46	1.71
Huancavilca	Oficina	Concret	20	72.1	20.7	18.1	1.35	1.63		
La Moneda	Oficina	Concret	19	68.4	27.0	23.4	1.00	1.54		
Beo Pacifico	Banco	Concret	17	61.2	45.0	22.5	1.22	1.45		
Balmoral	Viviend	Concret	15	54.0	23.1	16.8	0.53	0.71		
Sol Oriente	Hotel	Concret	14	47.9	19.8	9.2	0.93	1.31		
Sta. Marta	Viviend	Concret	14	47.9	37.2	14.5	0.80	1.02		
Veneza	Viviend	Concret	14	47.9	28.9	15.2	0.70	0.93		
Rocasa	Oficina	Concret	13	44.5	32.1	19.2	1.03	1.12		
Sourvin	Oficina	Concret	12	41.1	27.0	14.4	0.80	0.81	1.48	1.73
Alcat	Oficina	Concret	12	41.1	19.5	12.8	0.80	0.80		
Parlamento	Oficina	Concret	12	41.1	18.2	6.3	0.77	1.13		
P. Continent	Parque	Concret	11	37.6	34.2	28.8	0.87	1.10	1.10	1.35
Astillerio	Viviend	Concret	11	37.6	24.2	18.6	0.59	0.92		
MCO	Viviend	Concret	10	34.2	22.1	12.5	0.77	0.91		
Oro Verde	Hotel	Concret	10	34.2	51.5	26.8	0.67	0.77		
El M. Alvar	Oficina	Concret	9	29.1	13.1	12.6	0.70	0.75	1.40	1.42
Bonds	Oficina	Concret	8	25.9	13.5	12.6	0.70	0.80	1.18	1.76
El Bolívar	Viviend	Concret	8	25.9	27.1	12.6	0.71	0.74		
Panamericas	Hospit	Concret	7	23.9	36.9	22.5	0.42	0.71		
San Agustín	Oficina	Concret	6	19.4	21.6	14.4	0.54	0.57		
Soka	Hospit	Concret	5	16.2	43.5	21.4	0.40	0.50		
Est. Capwell	Estadio	Concret	5	16.2	28.2	14.6	0.35	0.39		
C. C. Colon	Colegio	Concret	4	13.0	32.4	19.8	0.59	0.61		
Hosp. B-SS	Hospit	Concret	4	13.0	65.6	24.2	0.40	0.41		
Clin Alvar	Hospit	Concret	4	13.0	39.6	29.7	0.39	0.40	0.72	0.83
Col. San José	Colegio	Concret	4	13.0	29.2	15.3	0.34	0.34		
UCSG	Univers	Concret	4	13.0	52.5	11.5	0.27	0.31		

El coeficiente α de los varios Códigos en las diferentes expresiones experimentales asume diferentes valores. Para todos los edificios medidos y para todas las expresiones empíricas propuestas, los correspondientes coeficientes α han sido calculados y son reportados en la Tabla 2.

TABLA 2

Edificio	(a)1	(a)2	(b)1	(b)2	(c)1	(c)2	(d)1	(d)2	(e)1	(e)2
La Previsora	0.094	0.093	0.113	0.103	1.130	0.113	0.046	0.064	0.041	0.058
Forma	0.095	0.089	0.112	0.095	0.126	0.102	0.055	0.079	0.049	0.070

S. Francisco	0.145	0.145	0.174	0.172	0.198	0.196	0.083	0.086	0.071	0.074
MAG	0.119	0.111	0.136	0.125	0.152	0.137	0.080	0.083	0.068	0.071
Unamur	0.101	0.096	0.122	0.104	0.140	0.112	0.058	0.090	0.049	0.076
Induauto	0.120	0.117	0.143	0.129	0.162	0.140	0.074	0.102	0.052	0.086
Vahra	0.102	0.095	0.128	0.108	0.149	0.119	0.056	0.074	0.046	0.060
Huancavilca	0.085	0.096	0.097	0.108	0.107	0.118	0.068	0.082	0.055	0.086
La Moneda	0.076	0.109	0.090	0.126	0.102	0.141	0.053	0.081	0.042	0.065
Ico Pacifico	0.134	0.112	0.176	0.131	0.210	0.148	0.072	0.085	0.056	0.066
Balmoral	0.047	0.054	0.056	0.062	0.064	0.069	0.035	0.047	0.027	0.036
Sol Oriente	0.086	0.083	0.103	0.091	0.117	0.098	0.066	0.094	0.051	0.072
Sta. Marta	0.102	0.081	0.135	0.093	0.163	0.103	0.057	0.073	0.044	0.056
Veneza	0.079	0.076	0.099	0.087	0.117	0.097	0.050	0.066	0.038	0.051
Rocasa	0.131	0.110	0.172	0.132	0.205	0.151	0.079	0.086	0.080	0.065
Souvin	0.101	0.075	0.130	0.087	0.154	0.098	0.067	0.068	0.049	0.050
Alcar	0.086	0.070	0.104	0.080	0.120	0.089	0.067	0.067	0.049	0.049
Parlamento	0.080	0.069	0.096	0.074	0.110	0.079	0.064	0.094	0.047	0.070
P. Continental	0.135	0.157	0.187	0.209	0.227	0.250	0.079	0.100	0.057	0.072
Astillerio	0.077	0.106	0.099	0.129	0.117	0.149	0.054	0.084	0.039	0.061
NCO	0.107	0.097	0.137	0.114	0.162	0.128	0.077	0.094	0.054	0.066
Oro Verde	0.141	0.117	0.223	0.156	0.262	0.187	0.067	0.077	0.047	0.054
T. M. Alvar	0.139	0.091	0.203	0.110	0.252	0.125	0.078	0.083	0.056	0.060
Bonds	0.099	0.110	0.122	0.134	0.142	0.154	0.088	0.100	0.061	0.070
T. Bolivar	0.143	0.101	0.204	0.124	0.251	0.142	0.089	0.093	0.062	0.064
Panamericana	0.107	0.141	0.170	0.169	0.216	0.239	0.060	0.101	0.039	0.066
San Agustín	0.129	0.111	0.188	0.117	0.232	0.176	0.090	0.095	0.058	0.062
Solca	0.163	0.143	0.313	0.218	0.411	0.272	0.080	0.100	0.050	0.062
T. J. Capwell	0.115	0.092	0.190	0.127	0.243	0.154	0.070	0.078	0.013	0.048
C. C. Colon	0.258	0.209	0.483	0.342	0.632	0.420	0.148	0.153	0.086	0.089
Hosp. II SS	0.249	0.155	0.813	0.262	0.830	0.347	0.100	0.103	0.058	0.060
Chin Alvar	0.189	0.168	0.380	0.304	0.503	0.396	0.098	0.100	0.057	0.058
Col. San Jose	0.141	0.102	0.255	0.151	0.331	0.187	0.085	0.085	0.050	0.050
UCSC	0.150	0.081	0.338	0.111	0.453	0.135	0.068	0.078	0.039	0.045

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para evaluar el parámetro α , se ha realizado un procedimiento estadístico calculando el valor promedio de n muestras y la desviación estándar cuadrática:

$$\mu_{\alpha} = \sum \alpha_i / n \quad \delta_{\alpha} = \sqrt{\sum (\alpha_i - \mu_{\alpha})^2 / (n-1)}$$

Por lo tanto se propone los diferentes valores de α con referencia al lower percentile $p=5\%$

$$\alpha = \mu_{\alpha} - t(p,n) \delta_{\alpha}$$

en el cual $t(p,n)$ es el Coeficiente de Student

En el caso examinado, para propósitos estadísticos, han sido considerados $2 \times 29 = 58$ valores del coeficiente α relacionado a 29 edificios que pueden ser asumidos como pertenecientes a una población homogénea

En la Tabla 3 se muestra los valores estadísticos del parámetro α de las diferentes expresiones

TABLA 3

FORMULA	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Valor Promedio	0.102	0.127	0.147	0.075	0.058
Desviac cuadrática media	0.024	0.038	0.050	0.016	0.012
Lower percentile al 5%	0.064	0.064	0.064	0.049	0.038

De las expresiones empíricas diferentes, la que mejor se ajusta con los resultados experimentales es la expresión tipo (b), la cual permite la evaluación teórica del periodo de la estructura en las dos direcciones principales del edificio considerando los parámetros H y L . Estas expresiones presentan la menor dispersión de los valores como se muestra en las figuras del anexo 1

CONCLUSIONES

La revisión de los resultados experimentales revela que la expresión empírica que mejor se ajusta a la evaluación teórica del primer periodo de vibración de estos edificios es

$$T = 0.064 (H/\sqrt{I}) \sqrt{(H/(H+L))}$$

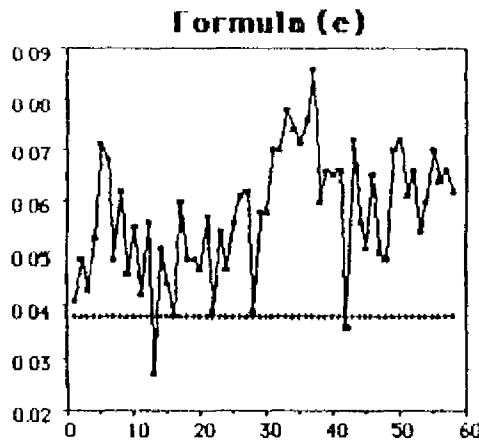
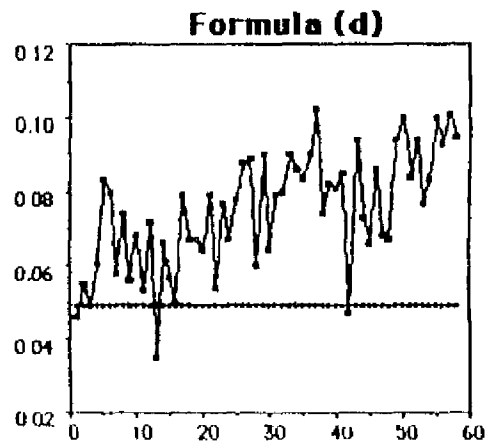
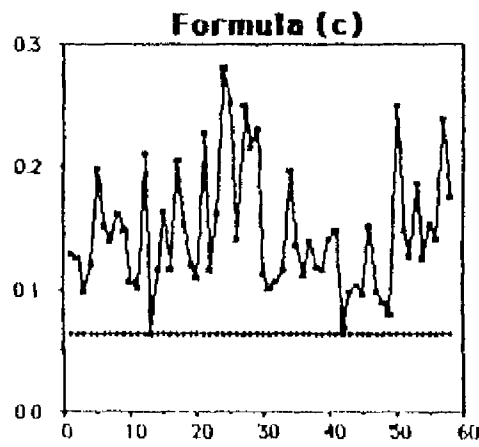
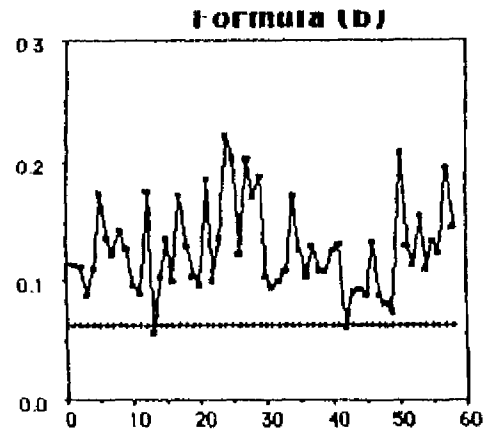
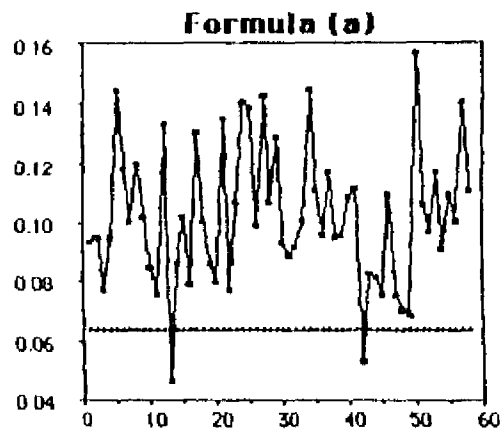
Esta expresión es tomada de varios Códigos, y en particular del Eurocode EC8, para edificios en los cuales la presencia de paredes o particiones es considerada. Es evidente que debido a la contribución al comportamiento dinámico de los elementos no-estructurales, un incremento importante en la rigidez de la estructura es obtenido, el cual resulta en periodos menores que aquellos calculados con respecto a la rigidez de la estructura sola.

Es importante mencionar que en la expresión del Eurocode EC8 el valor dado para el coeficiente α es 0.080, este valor corresponde al valor del lower percentile $p=15.6\%$. Por lo tanto, con este criterio, generalmente se considera que el primer periodo de vibración de la estructura será mayor que el periodo real y en consecuencia las aceleraciones sísmicas que son tomadas de la porción derecha del espectro de respuesta resultan en valores menores.

REFERENCIAS

- 1 Eurocode EC8, Redraft , March 1993 Structures in Seismic Regions
- 2 Criteri generali per la verifica delle sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi 1978 MM LL PP italiano Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche 1986 MM LL PP italiano
- 3 Uniform Building Code 1991 International Conference of Building Officials, California
- 4 La Tegola A, Mera W, 1994 'Experimental Dynamic Measurement of Tall Buildings with Steel Structures' Stessa 94, Timisoara, Romania
- 5 Mera W 1991 'Vulnerabilidad Sismica de Guayaquil Determinacion de los periodos de vibracion de estructuras y de suelos usando la medicion de la vibración ambiental riesgo de resonancia' Boletín de la Coordinación de Investigación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil N 5

ANEXO 1



Coeficiente α para edificios
evaluados con diferentes formulas

Valores de α al lower percentile $p=5\%$