

CAPÍTULO III

PERIODOS, ACELERACIONES ESPECTRALES Y CORTANTES BASALES.

El trabajo evalúa, mediante el programa ECO-gc, tres planteamientos de estructuras reticulares por medio del análisis dinámico modal, las cuales se estudian para conocer las respuestas que existen al haber una irregularidad de rigidez (piso débil) y compararlas con los casos en que no existe irregularidad de rigidez (estructura reticular y estructura de muros de cortante). En el análisis se cumplirá con la mayor parte de las disposiciones establecidas en las NTCS-95 y en el RCDF-93.

Por medio del análisis dinámico, ECO-gc resuelve las ecuaciones de movimiento y, además de incluir las características de rigidez, toma en consideración las propiedades inerciales y de amortiguamiento. El análisis dinámico de una estructura debe tener presente todos los grados de libertad para representar por completo los posibles modos de deformación y las fuerzas de inercia importantes que puedan generarse. ECO-gc, como otra variedad de programas, está basado en el método del elemento finito. La presentación del método del elemento finito y su instrumentación para paquetes de cálculo rebasan el alcance de este trabajo. Por otra parte, aunque se cuente con herramientas de cálculo apropiadas para analizar un edificio tridimensional, debe observarse que es también de gran importancia la preparación de datos y la interpretación de resultados.

Para fines de diseño sismorresistente, lo que más interesa son las respuestas máximas. Como herramienta de mayor utilidad en la evaluación de la severidad de un sismo, se utiliza el espectro de respuesta, que es una representación gráfica de la respuesta

máxima en función del periodo natural de vibración del sistema estructural. Calculado el espectro de respuesta, puede saberse inmediatamente de una manera muy aproximada, el desplazamiento que tendrá la estructura cuando se somete a dicho movimiento del terreno.

El análisis modal espectral utiliza los modos de vibrar y el espectro de diseño, con base en que la estructura se comporta de manera elástica, suponiendo los entrepisos como diafragmas rígidos, tomando como grados de libertad dos desplazamientos ortogonales y un giro alrededor de un eje vertical por cada nivel.

De acuerdo con el RCDF-93, el espectro de diseño para los tres modelos es el de la Fig. 3.1. Si los periodos de la estructura se encuentran entre 0.6 y 3.9 seg., no hay disminución de fuerzas. Las fuerzas para el análisis dinámico modal se reducen dividiéndolas entre el factor Q' , el cual depende del factor de comportamiento sísmico Q , que en este caso es de 4 en ambas direcciones.

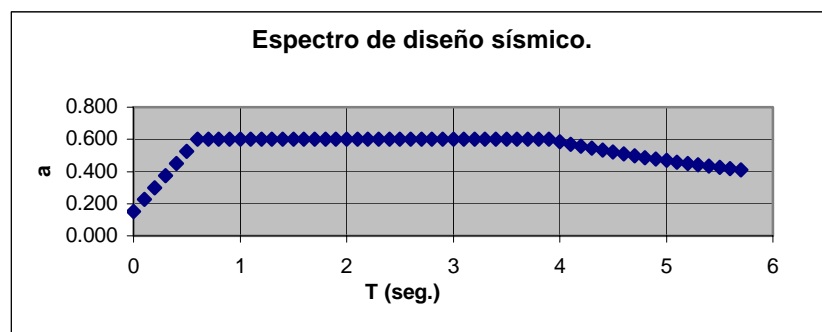


Fig. 3.1 Espectro de diseño sísmico.

La ordenada del espectro de aceleraciones, a , que se representa como fracción de la aceleración de la gravedad, está dada por las siguientes expresiones.

$$a = \left(1 + \frac{3T}{T_a}\right) \cdot \frac{c}{4}, \text{ si } T \text{ es menor que } T_a$$

$a=c$, si T está entre T_a y T_b

$a=q_c$, si T excede de T_b .

$$q = \left(\frac{T_b}{T}\right)^r$$

donde T es el periodo natural de vibración del modo que se considere, T_a y T_b los periodos característicos (T , T_a y T_b están expresados en segundos), c es el coeficiente sísmico, y r un exponente que depende de la zona a la que pertenezca la estructura. El coeficiente c es una cantidad adimensional que define la fuerza cortante horizontal actuante en la base de un edificio entre el peso de éste sobre dicho nivel. Para las edificaciones ubicadas en zona III, grupo B, el coeficiente sísmico se toma igual a 0.40. Y puesto que para las estructuras del grupo A se incrementa en un cincuenta por ciento, el coeficiente sísmico es: $c=0.4*1.5=0.6$. En el caso presente, los valores de los dos periodos característicos T_a y T_b son de 0.6 y 3.9 seg., respectivamente, y el exponente r es igual a 1.

Para fines de diseño, las fuerzas sísmicas obtenidas en el análisis dinámico modal pueden disminuirse dividiéndolas entre el factor reductor Q' . Puesto que los tres modelos satisfacen en su mayoría la sección 6 de las NTCS-95 referente a las condiciones de regularidad, con excepción del modelo conformado por piso débil que no satisface el inciso

10, el cual establece lo siguiente: “La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 100 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior”. Para el caso de estructuras que no satisfagan estas condiciones, se multiplicará Q' por 0.8. En este trabajo se estudiará el modelo de piso débil como una estructura regular, Q' es calculada de la siguiente manera:

$$Q' = Q \quad \text{si } T \geq T_a$$

$$Q' = 1 + \frac{T}{T_a} \times (Q - 1) \quad \text{Si } T < T_a$$

donde T es el periodo del modo que se considera cuando se usa el análisis sísmico modal.

Una de las ventajas de utilizar el análisis modal espectral es que sólo es necesario determinar las respuestas debido a los primeros modos, ya que la parte de la respuesta total del edificio debida a los modos superiores es muy pequeña.

Con base en la propuesta de configuración en los tres modelos, se procedió a obtener por medio de ECO-gc los primeros doce periodos, Q' y las aceleraciones espectrales para 2, 3, 4, 5 y 6 niveles consecutivamente.

3.1 Estructuras de dos niveles.

Los resultados de periodos, aceleraciones espectrales y factores Q' , para dos niveles, se resumen en las siguientes gráficas, donde se comentan los resultados más significativos.

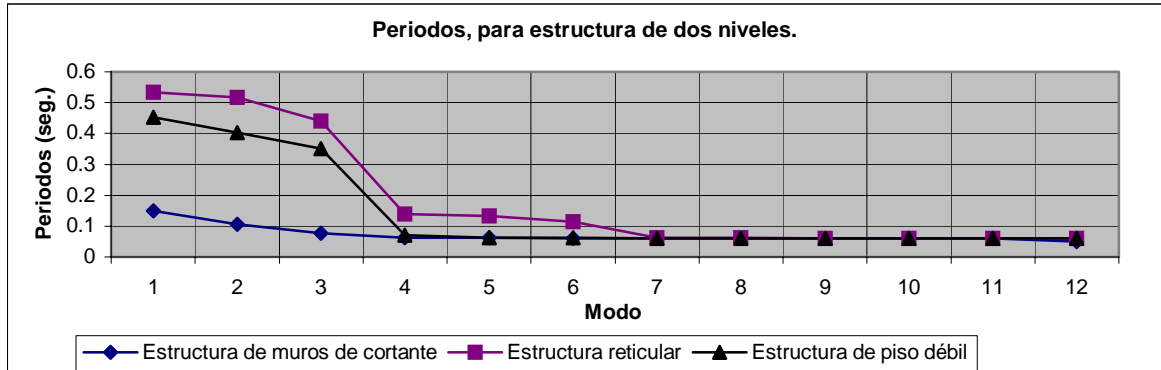


Fig. 3.2 Periodos para los modelos de dos niveles.

Según se observa en la Fig.3.2, el modelo con los más amplios tres primeros periodos es el ER-02 (0.535, 0.518 y 0.439 seg.), siguiendo el PD-02 (0.452, 0.404 y 0.352 seg.) y, finalmente el MC-02 (0.149, 0.105 y 0.078 seg.) A partir del modo no. 7, los tres modelos registran aproximadamente el mismo valor en periodos. Las tres estructura presentan periodos menores al periodo característico T_a de 0.6 seg., por lo tanto hay reducción de aceleraciones espectrales, lo que significa una disminución en las fuerzas de diseño. El modelo ER-02 indica periodos de igual magnitud a partir del modo 7 con valor 0.06 seg. A partir de este modo, el modelo alcanza su periodo más corto para los modos siguientes; por su parte, el modelo PD-02 obtiene éste valor en el modo 6, y el modelo MC-02 en el modo 4, aunque éste último registra un periodo de 0.05 en el modo 12.

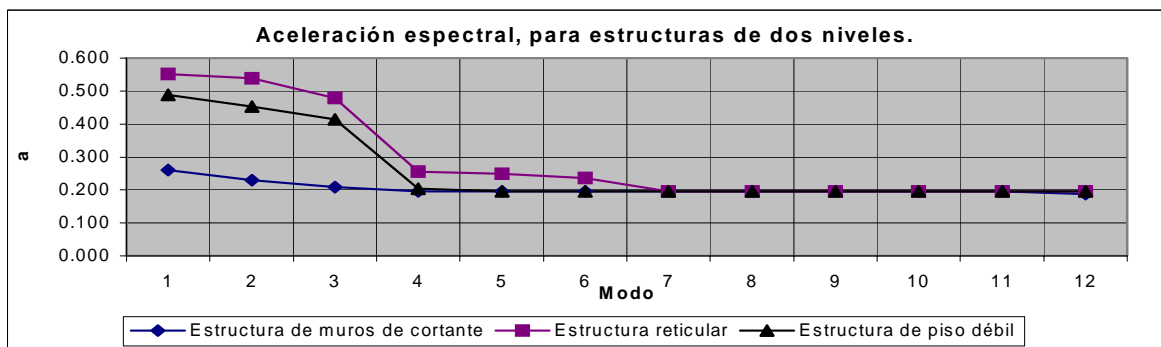


Fig. 3.3 Aceleraciones espectrales para los modelos de dos niveles.

Asimismo, el orden decreciente en aceleraciones es como sigue (Fig.3.3): las mayores aceleraciones se presentan en el modelo ER-02 (0.551, 0.538 y 0.479), alcanzando un valor mínimo a partir del modo 7 con un valor de 0.196. Después se tiene el modelo PD-02 (0.489, 0.453 y 0.414), cuyo valor mínimo aparece en modo 5 con un valor igual al del modelo ER-02, de 0.196. En último lugar está el modelo MC-02 (0.261, 0.229 y 0.208), y registra un valor mínimo de 0.187 en el modo 12. Las aceleraciones más significativas para los tres modelos son las de los primeros tres modos. La contribución de los modos superiores es muy pequeña en relación a los primeros tres modos de vibrar.

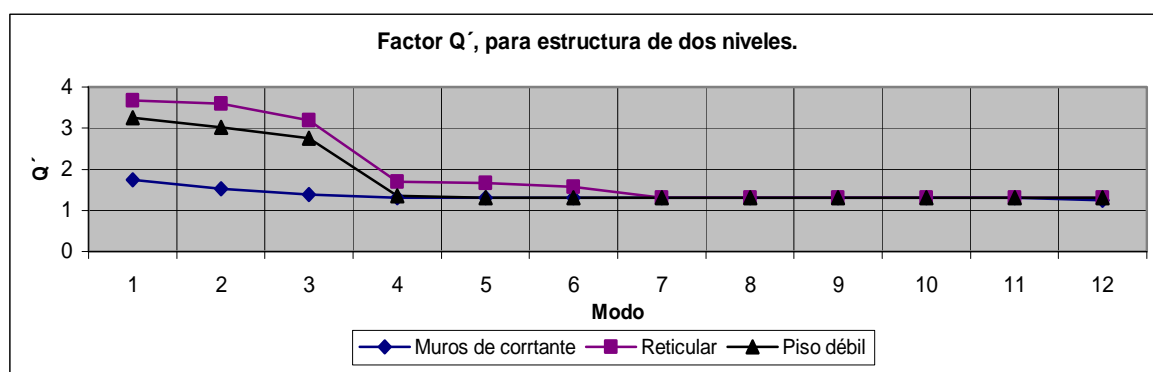


Fig. 3.4 Factor Q' para los modelos de dos niveles.

Dado que todos los periodos de los diferentes modos son menores que $T_a = 0.6$ seg., todos los factores Q' se reducen, teniendo en cuenta que las plantas tipo de los tres modelos son simétricas, $Q'_x = Q'_y$. En los tres primeros periodos, el modelo con el menor factor Q' , para los distintos modos en cuestión (Fig.3.4), es el MC-02 (1.743, 1.525 y 1.389), siguiendo el modelo PD-02 (3.259, 3.018 y 2.758). Por último, el modelo que indica las menores reducciones del factor Q' , es el ER-02 (3.672, 3.589 y 3.196). Se

observa que los factores de reducción Q' son más cercanos entre sí para los modelos PD-02 y el ER-02; el modelo MC-02 permite la mayor reducción del factor Q' .

Teniendo en consideración que a_j , siendo el subíndice j el modo en cuestión, está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g , las aceleraciones espectrales de diseño resultan, para los primeros tres modos, las siguientes:

a) Estructura reticular:

$$a_1 = 0.551 \times \frac{981}{3.672} = 147.20 \text{cm./seg.}^2$$

$$a_2 = 0.538 \times \frac{981}{3.589} = 147.05 \text{cm./seg.}^2$$

$$a_3 = 0.479 \times \frac{981}{3.196} = 147.03 \text{cm./seg.}^2$$

b) Estructura de piso débil:

$$a_1 = 0.489 \times \frac{981}{3.259} = 147.20 \text{cm./seg.}^2$$

$$a_2 = 0.453 \times \frac{981}{3.018} = 147.25 \text{cm./seg.}^2$$

$$a_3 = 0.414 \times \frac{981}{2.758} = 147.26 \text{cm./seg.}^2$$

c) Estructura de muros de cortante:

$$a_1 = 0.261 \times \frac{981}{1.742} = 146.98 \text{cm./seg.}^2$$

$$a_2 = 0.229 \times \frac{981}{1.525} = 147.31 \text{ cm./seg.}^2$$

$$a_3 = 0.208 \times \frac{981}{1.389} = 146.90 \text{ cm./seg.}^2$$

Si se considera $g=981 \text{ cm./seg.}^2$, a_1 , a_2 y a_3 coinciden, o dan resultados cercanamente idénticos, en los cuales la diferencia se da por el número de decimales. Estos valores se explican porque para $Q=4$, a y Q' tienen idéntica variación lineal entre cero y T_a .

En la Fig.3.5 se presenta el espectro de diseño sísmico reducido por el factor Q' , para $Q=4$ en la zona III grupo A. Como se mostró en los cálculos anteriores, la aceleración reducida tiene idéntica variación lineal entre 0 y T_a , por tener un factor de ductilidad $Q=4$.

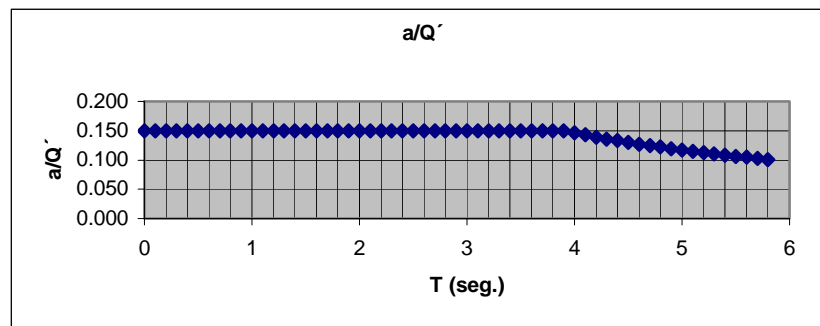


Fig. 3.5 Espectro de diseño reducido.

Para los tres distintos modelos, conformados por dos niveles, se obtuvieron sus pesos totales W_o , siendo de mayor peso el modelo MC-02 debido a que contiene mayor cantidad de muros de cortante: 1, 684.512 ton. El modelo siguiente es el PD-02 con W_o de

1,615.392 ton. Y, por último, el modelo de menor peso es el ER-02 de 1,563.552 ton., puesto que no tiene muros de cortante.

Conforme a las NTCS-95, en la sección 9.3, se establece la revisión por cortante basal, la cual estipula: “Si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se determina en la dirección que se considera una fuerza cortante basal V_o menor que $0.8 \cdot a \cdot W/Q'$, se incrementarán todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales correspondientes en una proporción tal que V_o iguale a este valor”.

Para las tres estructuras analizadas, la que presenta mayor cortante basal (V_o) es la del modelo PD-02 con un valor de 242.073 ton. en dirección X y de 241.825 ton. en dirección Y; el siguiente cortante basal de mayor valor es del modelo MC-02 con un valor de 226.606 ton. en dirección X y de 232.534 ton. en dirección Y; en último lugar se tiene el modelo ER-02 con valor de 224.078 ton. en dirección X y de 226.103 ton. en dirección Y. La diferencia referente a cortantes es más notable en la estructura de piso débil en comparación a la estructura reticular y a la de muros de cortante ya que las dos últimas presentan valores muy similares entre sí. En los tres casos, para ninguno de los modos se tienen que incrementar las fuerzas de diseño ya que los valores de $0.8 \cdot a \cdot W_o/Q'$ son menores que los cortantes basales. Los valores son en el mismo orden para el modelo PD-02 de 193.405 ton., el modelo MC-02 de 201.685 ton.; por último, el modelo ER-02 presenta un valor de 187.197 ton. Ninguno de los valores anteriores es mayor a V_o para los tres distintos modelos para dos niveles.

3.2 Estructuras de tres niveles.

Los resultados de periodos, aceleraciones espectrales y factores Q' para tres niveles se resumen en las siguientes gráficas, donde se comentan los resultados más significativos.

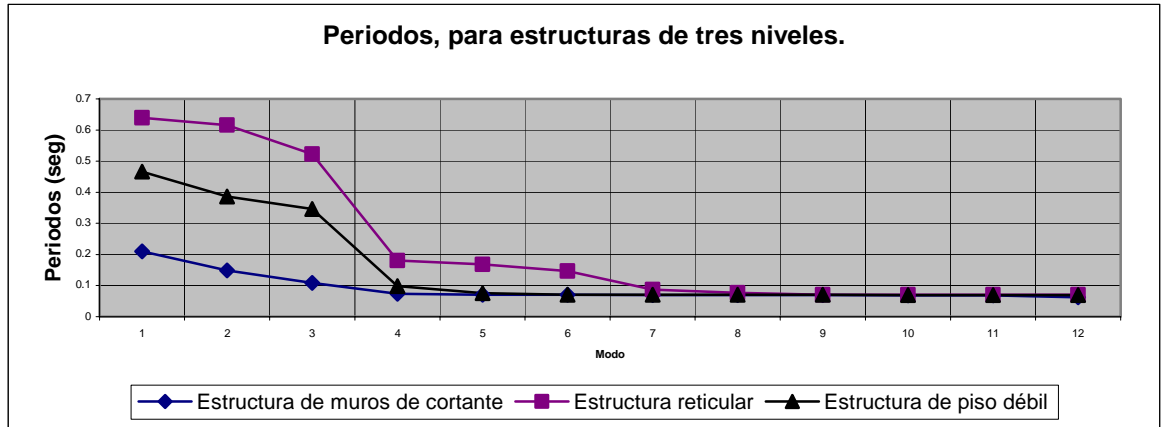


Fig. 3.6 Periodos para los modelos de tres niveles.

Conforme a la Fig.3.6 el modelo con mayor número de periodos es el ER-03 (0.639, 0.616 y 0.523 seg.), le sigue el modelo PD-03 (0.466, 0.386 y 0.347 seg.), y posteriormente se tiene el modelo MC-03 (0.210, 0.148 y 0.109 seg.) En los primeros dos modos de vibrar del modelo ER-03 se presentan periodos mayores al característico $T_a=0.6$ seg., lo que significa que la aceleración para los primeros dos modos no permite reducciones. Los siguiente tres modos del modelo aludido son muy cortos en relación a los primeros (0.180, 0.168 y 0.147 seg.) El valor mínimo para el modelo ER-03 es de 0.07 seg. a partir del modo 9, de igual manera para el modelo PD-03 a partir del modo 6; el modelo MC-03 toma un valor de 0.07 seg. a partir del modo 4 y en el modo 12 alcanza su mínimo periodo de 0.062 seg.

El modelo MC-03 tiene el cambio más brusco: de dos a tres niveles con un aumento de periodo en el modo 1 de un 44%; le sigue el modelo ER-03 con un aumento del 19 % en su primer modo, y por último, el modelo PD-03 con un aumento de 3.10%. Cabe mencionar que a partir del segundo modo este modelo se comporta de una manera diferente en relación con los otros dos, ya que en el segundo y tercer modo, en lugar de aumentar su periodo de vibración, éste disminuye de 0.404 a 0.386 seg. y de 0.352 a 0.347 seg.

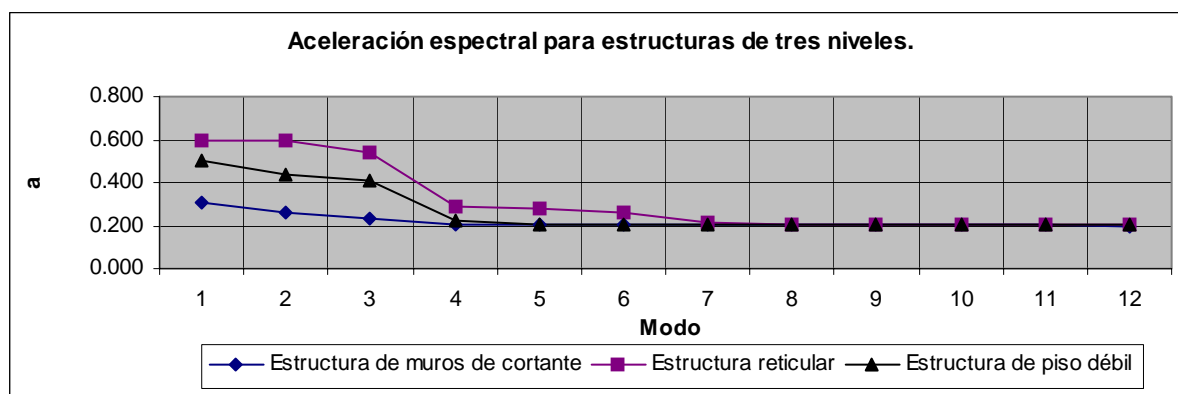


Fig. 3.7 Aceleraciones espectrales para los modelos de tres niveles.

El modelo con mayores aceleraciones espectrales (Fig.3.7) es el ER-03 (0.600, 0.600 y 0.542). Como se puntualizó anteriormente, los primeros dos modos no aceptan disminución ya que el periodo es mayor al característico T_a de 0.6 seg. Las posteriores tres aceleraciones espectrales para los modos tres a seis tienen una menor contribución en la respuesta total del edificio (0.285, 0.276 y 0.260) y, a partir del modo 9, la aceleración tiene un valor constante de 0.200. El modelo que sigue es el PD-03 (0.500, 0.440 y 0.410); este modelo alcanza un valor constante a partir del modo 6 con un valor de 0.200. Por último se tiene el modelo MC-03 (0.346 0.322 y 0.306), el cual presenta la menor aceleración espectral en el modo 12 con valor de 0.290. Las aceleraciones significativas

son las de los primeros tres modos en los tres distintos modelos. Para los siguientes tres modos, conviene considerar el modelo ER-03 debido a que sus aceleraciones espectrales son mayores en relación con los otros dos modelos.

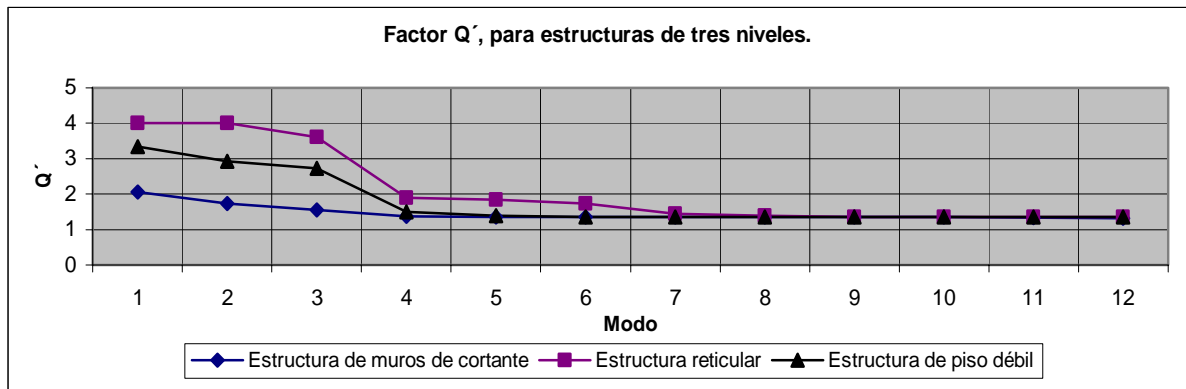


Fig. 3.8 Factor Q' para los modelos de tres niveles.

Para los primeros tres modos, el modelo con menor factor Q' con base en la Fig.3.8 es el MC-03 (2.051, 1.742 y 1.545), le sigue el modelo PD-03 (3.331, 2.930 y 2.733). Entretanto, el modelo ER-03, en los primeros dos modos, el factor Q' no acepta reducción debido a que los dos primeros periodos son mayores al característicos T_a . El tercer factor Q' del modelo ER-03 es de 3.62. La notoria diferencia en relación a los modelos de 2 niveles es que el PD-03 tiene valores de Q' entre los valores de los otros dos modelos en cuestión en comparación con los modelos de dos niveles donde el factor Q' del modelo PD-02 es cercano al modelo ER-02.

Como lo muestra la Fig. 3.5, para $Q=4$ los valores menores a $T_a= 0.6$ seg., no presentan reducción puesto que a y Q' tienen idéntica variación lineal entre cero y T_a .

Debido a que la aceleración está expresada como fracción de la gravedad, la aceleración para tres los niveles es:

$$a_1 = 0.600 \times \frac{981}{4} = 147.15 \text{ cm./seg.}^2$$

Se observa que la aceleración es la misma para todos los casos y disminuye sólo si el periodo en cuestión es mayor que $T_b = 3.9$ seg.; por lo tanto no se aplica, ya que se trata con estructuras de pocos niveles, las cuales no alcanzan valores mayores a 3.9 seg.

Para los modelos conformados por tres niveles se obtuvo sus pesos totales W_o , siendo el de mayor peso el modelo MC-03 con un total de 2, 495.808 ton. Le sigue el PD-03 con un peso total de 2,426.688 ton., y por último, el modelo de menor peso ER-03 con un total de 2,323.008 ton. En peso total en sismo, el modelo con mayor peso es el modelo MC-03 por el número de muros de cortante adicionales al modelo PD-03.

En los modelos analizados para tres niveles, se presenta el mayor cortante basal en el PD-03 con valor de 362.387 ton. en dirección X, y 361.274 ton. en dirección Y. En segundo lugar le sigue es el modelo MC-03 con valor de 319.014 ton. en dirección X, y 330.486 ton. en dirección Y. En tercer lugar el modelo que presenta menores cortantes es el ER-03 con un valor de 316.439 ton. en dirección X, y de 322.583 ton. en dirección Y. En ninguno de los casos se tienen que incrementar las fuerzas de diseño. Los valores de $0.8 \cdot a \cdot W_o / Q'$ son del mismo orden para el modelo PD-03 de 291.203 ton., para el MC-03

de 299.497 ton., y por último para el ER-03 de 291.203 ton. La variación que hay en los tres corresponden a los pesos totales, siendo mayor el modelo MC-03 por el número de muros de cortante, le sigue el PD-03, y por último con menor valor el modelo ER-03 por no tener ningún muro de cortante.

3.3 Estructuras de cuatro niveles.

Los resultados de periodos, aceleraciones espectrales y factores Q' , para cuatro niveles, se resumen en las siguientes gráficas, donde se comentan los resultados más significativos.

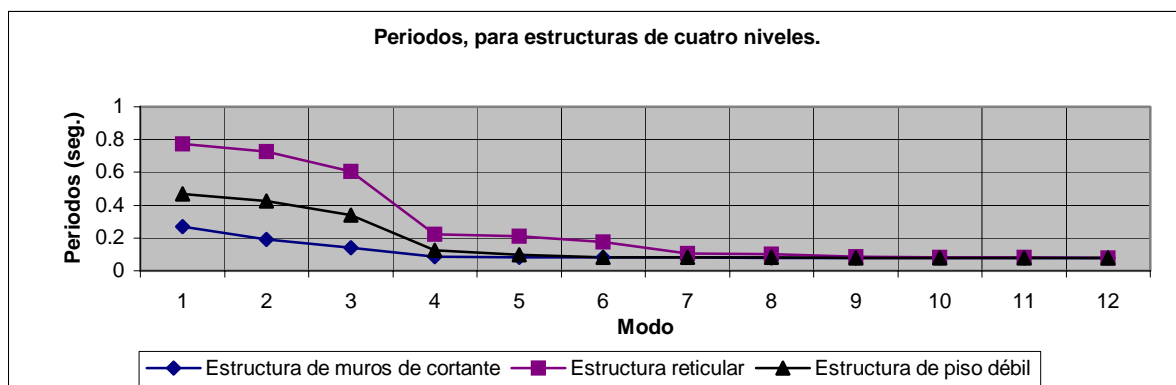


Fig. 3.9 Periodos para los modelos de cuatro niveles.

El modelo con periodos de mayor amplitud con base en la Fig.3.9 es el ER-04 (0.772, 0.728 y 0.606 seg.), le sigue el modelo PD-04 (0.469, 0.426 y 0.341 seg.) y en último se presenta el MC-04 (0.271, 0.191 y 0.139 seg.). En los primeros tres modos de vibrar el ER-03 presenta periodos mayores al característico $T_a=0.6$ seg., lo que significa

que la aceleración para los primeros tres modos no acepta reducciones. Los siguiente tres modos de la estructura son muy cortos en relación a los primeros (0.221, 0.211 y 0.176 seg.). El menor valor para el modelo ER-04 es de 0.08 seg. a partir del modo 10; asimismo, para el modelo PD-04 a partir del modo 6 alcanzando un valor mínimo en los modos 11 y 12 de 0.078 seg. El modelo MC-03 toma un valor de 0.08 seg. a partir del modo 5 y, en el modo 12, alcanza su mínimo periodo con un valor de 0.078 seg.

El modelo que tiene un cambio notable de tres a cuatro niveles es el MC-04, presentando un incremento en periodo en el modo 1 de un 29.05%. Este cambio es notablemente menor a 44%, el cual se presentó de dos a tres niveles. El modelo ER-04 presenta un aumento del 20.81% en su primer modo. En último lugar, el modelo PD-04 presenta un aumento corto de 0.64% para su primer modo. A partir de su tercer modo, este modelo se comporta de una manera distinta en relación con los otros debido a que en su tercer modo, en lugar de aumentar su periodo de vibración, éste disminuye en el modo tres de 0.347 a 0.341 seg. al pasar de tres a cuatro niveles.

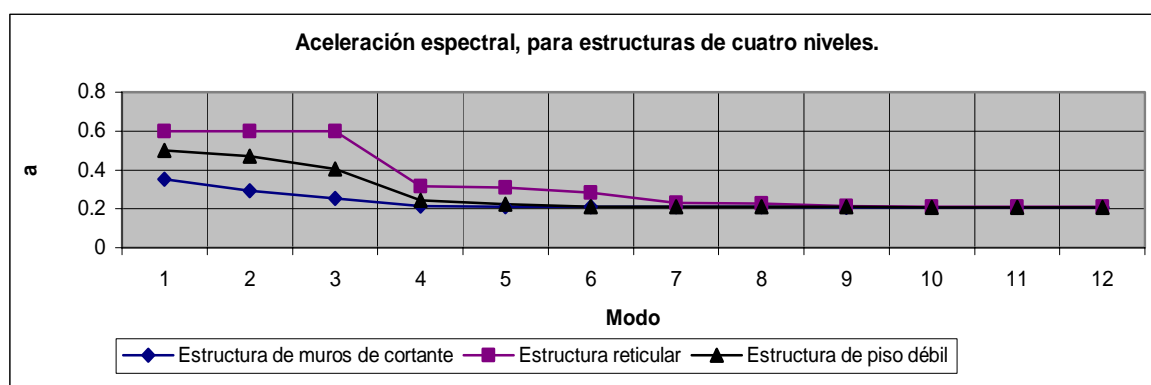


Fig. 3.10 Aceleraciones espectrales para los modelos de cuatro niveles.

Conforme a los resultados de la Fig. 3.10, el modelo con mayor aceleración espectral es el ER-04, el cual, en sus primeros tres modos, no acepta reducciones ya que los periodos son mayores al característico T_a . Sus siguientes tres periodos tienen una menor contribución en los primeros tres modos (0.316, 0.308, 0.282). El modelo que le sigue es el PD-04 (0.502, 0.470 y 0.406); a partir del modo 4, este modelo presenta poca contribución en relación a los primeros tres modos. Por último, se tiene el modelo MC-04 (0.353, 0.293 y 0.255). Aunque las aceleraciones para efecto de diseño no sufren ningún cambio para ninguno de los tres modelos, es interesante comparar estos resultados, ya que, de presentarse un factor Q distinto de 4, las aceleraciones son de primordial importancia. Entre tanto, la estructura con resultados satisfactorios con relación a aceleraciones es el modelo MC para todos los modos en cuestión.

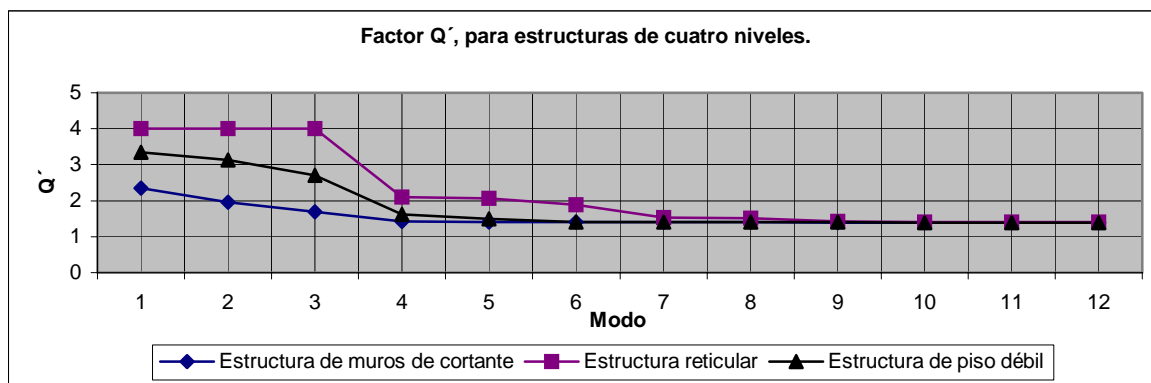


Fig. 3.11 Factor Q' para los modelos de cuatro niveles.

La Fig. 3.11 muestra como el modelo con mayor reducción de factor Q' al MC-04 (2.354, 1.954 y 1.697), siguiéndole el PD-04 (3.346, 3.133 y 2.705). Para el modelo ER-04 no hay reducción del factor Q' en los primeros tres modos; por lo tanto, $Q'=Q$. Los valores para los siguientes tres modos son mayores (2.105, 2.056 y 1.879) a los otros dos modelos

en cuestión. Se observa que los factores Q' para los modos tres a seis en el modelo ER-04 se acercan al mismo orden que los factores Q' para los primeros modos del MC-04; ello implica un beneficio que otorgan los muros de cortante en comparación a una estructura conformada únicamente por marcos rígidos sin ningún muro de cortante. La aceleración es la misma para los tres casos e igual a 147.15cm./seg.^2

Los pesos totales en sismo son para el modelo MC-04 de 3,307.104 ton., para el PD-04 de 3,237.985 ton., y para el ER-04 de 3,082.465 ton. Con respecto a cortantes basales, otra vez el modelo que presenta mayor cortante es el PD-04 con un valor de 481.193 ton. en dirección X, y de 473.798 ton. en dirección Y; el modelo que le sigue es el MC-04 con un valor de 412.828 ton. en dirección X, y 423.777 ton. en dirección Y. El modelo que presenta los menores cortantes basales es el ER-04 con valores 408.426 ton. en dirección X, y 411.469 ton. en dirección Y. La mayor variación entre los tres casos lo presenta la estructura conformada por piso débil debido a que en ella se presentan cortantes de un 18.69% mayores a la estructura reticular en dirección X, y de 15.15% en dirección Y.

3.4 Estructuras de cinco niveles.

Los resultados de periodos, aceleraciones espectrales y factores Q' para cinco niveles se resumen en las siguientes gráficas donde se comentarn los resultados más significativos.

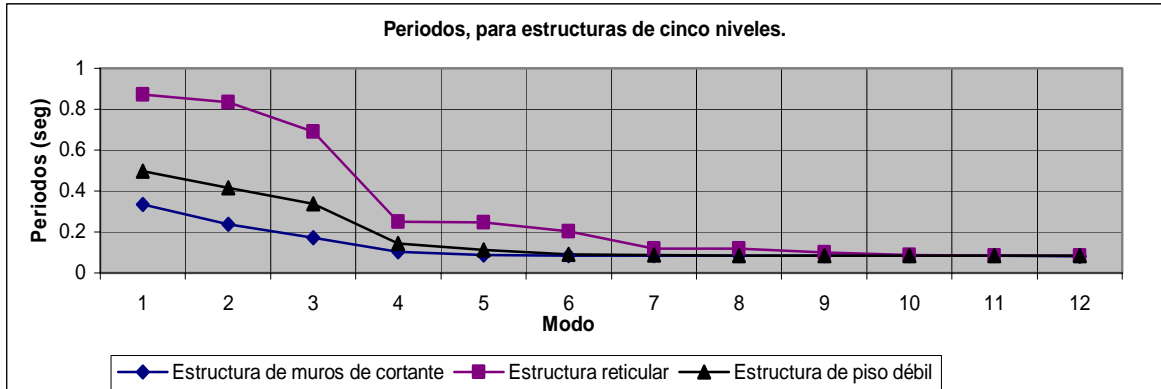


Fig. 3.12 Periodos para los modelos de cinco niveles.

Para cinco niveles, con respecto a la Fig. 3.12, el modelo con mayores periodos es el ER-05 (0.871, 0.836 y 0.692 seg.), luego se presenta el modelo PD-05 (0.495, 0.414 y 0.337 seg.), y por último el modelo con periodos cortos es el MC-05 (0.336, 0.236 y 0.172 seg.). Para los primeros tres modos de vibrar del modelo ER-05, se presentan periodos característicos mayores a $T_a=0.6$ seg., por lo que sus aceleraciones no aceptan reducción; los siguientes tres modos de la estructura aludida son cortos en relación con los primeros (0.250, 0.246 y 0.203 seg.). El menor valor para los tres modelos es de 0.084 seg.

El modelo que presenta un cambio mayor de cuatro a cinco niveles es el MC-05, teniendo un incremento en periodo en el modo 1 de 23.99%. Como puede observarse, este modelo aumenta en menor proporción en cada nivel que es incrementado. El siguiente cambio importante se da en el modelo ER-05 con un aumento de un 12.82 %, menor con relación a los cambios para menor número de niveles. Por último, el modelo con escaso cambio fue el PD-05 con un aumento de 5.54%; éste es un cambio notable con relación a los cambios ocurridos en este modelo para menor número de niveles. Para su modo 2 disminuye el periodo de 4 a 5 niveles en 0.427 a 0.414 seg.

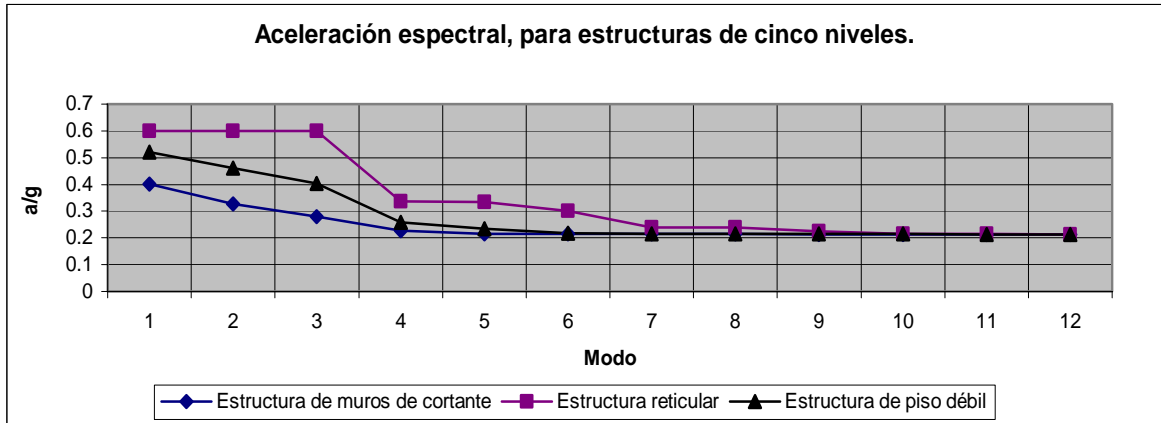


Fig. 3.13 Aceleraciones espectrales para los modelos de cinco niveles.

Con base en la Fig. 3.13, el modelo ER-05 no acepta reducciones de aceleraciones espectrales en sus primeros tres modos; sus aceleraciones en los siguientes presentan mayor contribución con relación a los otros dos modelos analizados (0.337, 0.334 y 0.302). El modelo que le sigue es el PD-05 (0.522, 0.461 y 0.403). Por último, se tiene el modelo MC-05 (0.402, 0.327 y 0.279).

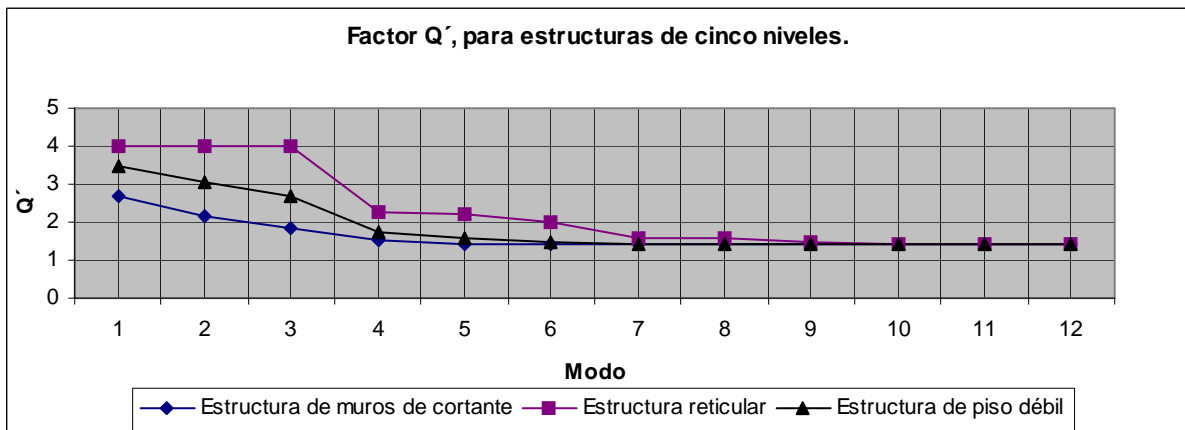


Fig. 3.14 Factor Q' para los modelos de cinco niveles.

Conforme a la Fig. 3.14, el factor Q' que acepta mayor reducción es el del modelo MC-05 (2.677, 2.182 y 1.861), siguiéndole el PD-05 (3.476, 3.071 y 2.685); para el modelo ER-05 no hay reducciones de Q' y por ello en sus primeros tres modos $Q'=4$.

Los pesos totales en sismo son: para el modelo MC-05 de 4,118.401 ton., para el PD-04 de 4,049.281 ton., y para el ER-04 de 3,841.921 ton. En cuanto a cortantes basales, el modelo que presenta el mayor cortante es el PD-04 con un valor de 591.893 ton. en dirección X, y de 577.837 ton. en dirección Y; le sigue el MC-04 con un valor de 501.017 ton. en dirección X, y 514.684 ton. en dirección Y; el modelo que presenta menores cortantes es el ER-04 con un valor de 491.650 ton. en dirección X, y 498.125 ton. en dirección Y. La variación notable entre los tres casos lo presenta la estructura conformada por piso débil; en ella se presentan cortantes de un 20.39% mayores a la estructura reticular en dirección X, y de 16.00% en dirección Y.

3.5 Estructuras de seis niveles.

Los resultados de periodos, aceleraciones espectrales y factores Q' para seis niveles se resumen en las siguientes gráficas.

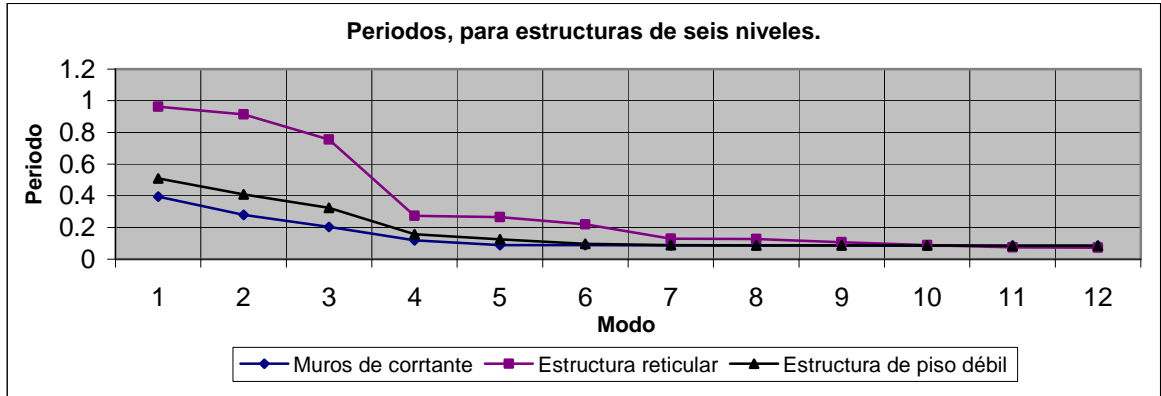


Fig. 3.15 Periodos para los modelos de seis niveles.

Como se muestra en la Fig. 3.15, para los tres primeros periodos de la estructura conformada por seis niveles el modelo con mayores periodos es el ER-06 (0.963, 0.914 y 0.754 seg.), le sigue el PD-06 (0.509, 0.410 y 0.323 seg.); por último, con periodos cortos el MC-06 (0.396, 0.280 y 0.203 seg.). El modelo ER-06 supera al periodo característico $T_a=0.6$ seg., por ello sus aceleraciones no aceptan reducciones y los siguientes tres modos de la estructura aludida son cortos en relación con los primeros (0.273, 0.266 y 0.220 seg.). El menor periodo para los tres modelos es de 0.084 seg. en el modelo MC-06 desde el modo 11, 0.085 seg. para el modelo PD-06 desde el modo 11, y 0.72 seg. para el ER-06 en el modo 12.

El modelo que registra mayor cambio de cinco a seis niveles es el MC-05, pues presenta un aumento de periodo en el modo no. 1 de un 23.99%. Este modelo aumenta en menor proporción cada nivel que se incrementa. El siguiente cambio importante se da en el modelo ER-05, el cual presenta un aumento de un 12.82 % menor con relación a los cambios ocurridos para escasos niveles. Por último, el modelo que presenta el menor

cambio es el PD-05 con un aumento de 5.54%, el cual es un cambio notable con relación a los cambios sufridos en este modelo para menor número de niveles; en su modo no. 2 disminuye su periodo de 4 a 5 niveles de 0.427 a 0.414 seg.

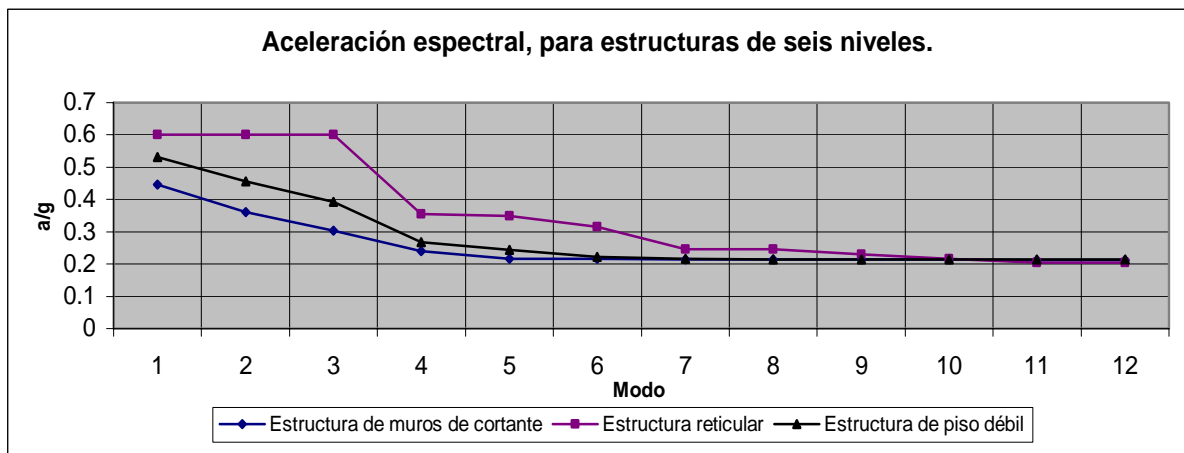


Fig. 3.16 Aceleraciones espectrales para los modelos de seis niveles.

El modelo ER-06 no acepta reducciones en su aceleración para los primeros tres modos. En los siguientes tres periodos se presentan aceleraciones pequeñas en relación con sus primeros tres modos (0.355, 0.350 y 0.315). El modelo posterior es el PD-06 (0.532, 0.457 y 0.392); sus aceleraciones a partir del cuarto modo experimentan una tendencia más cercana al modelo MC-06. Por último, tenemos el modelo MC-06 (0.447, 0.360 y 0.303).

De no diseñar con base en $Q=4$, el modelo que presenta mayor consideración en aceleraciones es el ER, ya que este modelo es el que presenta menor rigidez y, por ello, sus periodos y sus aceleraciones son mayores a las de los otros dos modelos en cuestión.

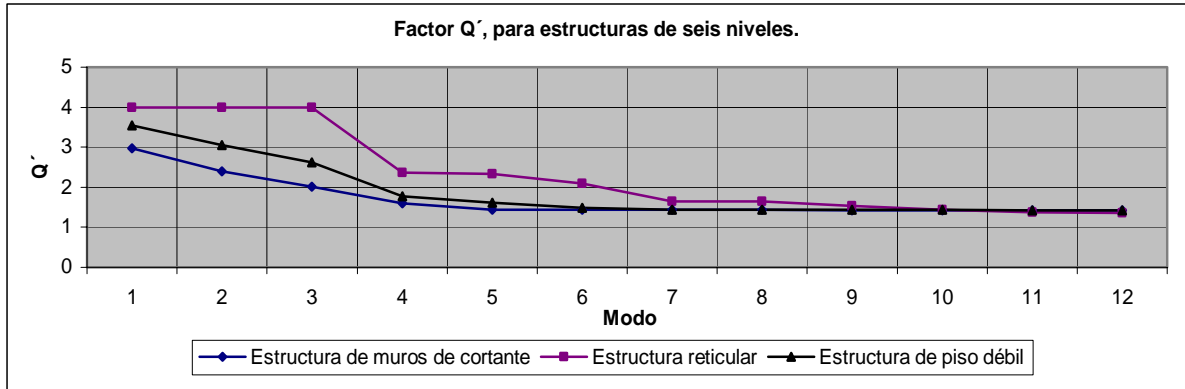


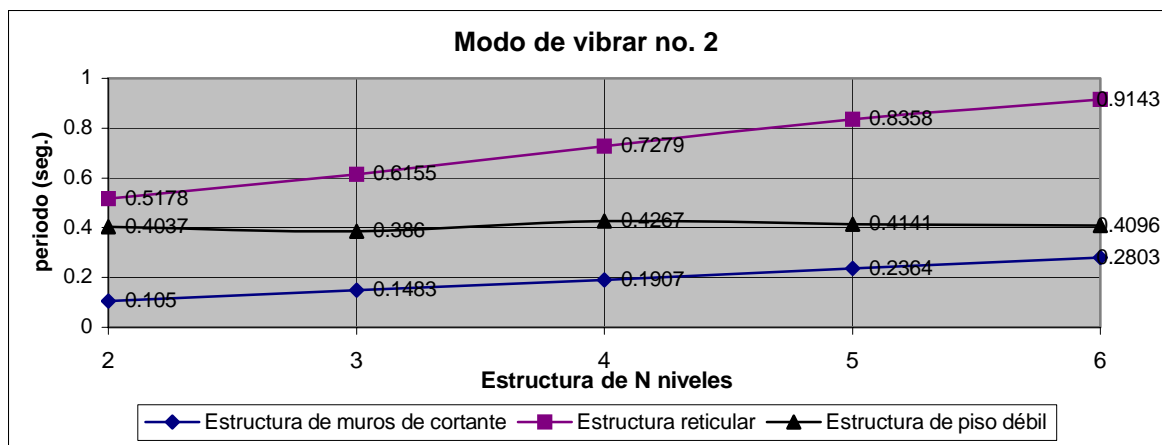
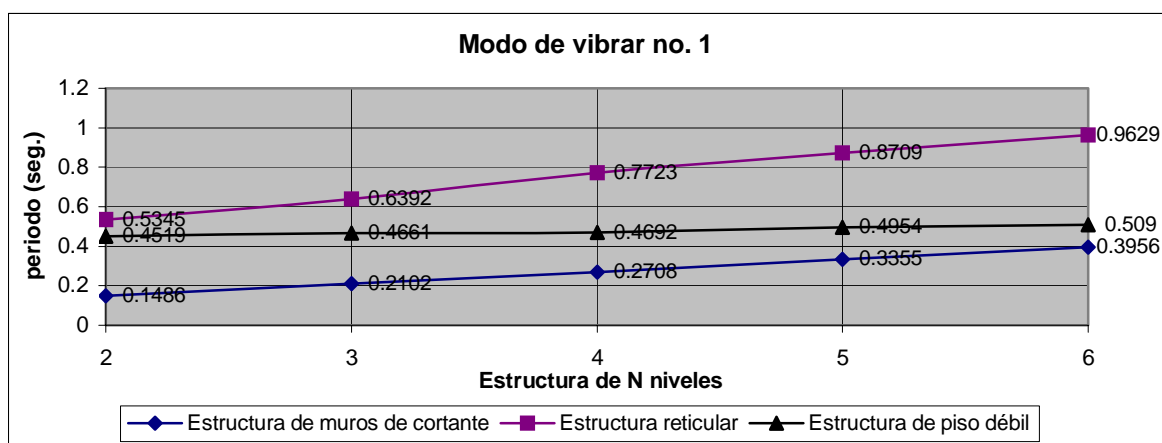
Fig. 3.17 Factor Q' para los modelos de seis niveles.

El factor Q' que acepta mayor reducción es el del modelo MC-05 (2.978, 2.402 y 2.017), siguiendo el PD-05 (3.545, 3.048 y 2.617); para el ER-05 no hay reducciones de Q' ; por lo tanto, para sus primeros tres modos $Q'=4$.

Los pesos totales en sismo son: para el modelo MC-06 de 4,929.697 ton., para el PD-04 de 4,860.577 ton., y para el modelo ER-06 de 4,601.377 ton. Con respecto a cortantes basales, el modelo que presenta mayor cortante es el PD-06 con un valor de 690.549 ton. en dirección X, y de 666.375 ton en dirección Y; el modelo que le sigue es el MC-06 con un valor de 601.456 ton. en dirección X, y 603.947 ton. en dirección Y. El modelo que presenta los menores cortantes es el ER-06 con valores de 571.360 ton. en dirección X, y 578.758 ton. en dirección Y. La variación más grande entre los tres casos la presenta la estructura conformada por piso débil, pues en ella se presentan cortantes de un 20.86% mayores a la estructura reticular en dirección X, y de 15.14% en dirección Y.

3.6 Variaciones para los primeros tres modos.

En la siguiente sección se resumen las respuestas importantes de los primeros tres modos donde se observa claramente la tendencia que mantiene cada modelo en relación a los otros.



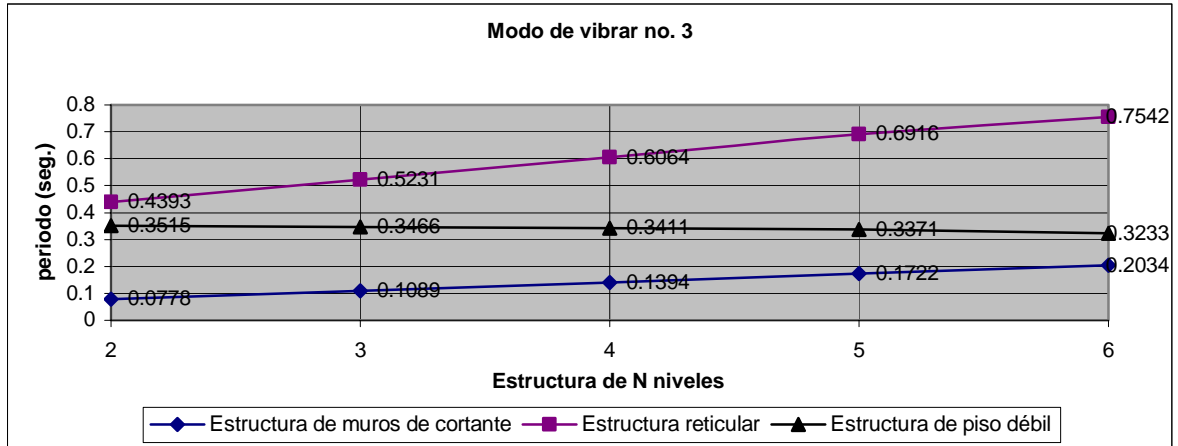


Fig. 3.18 Tres primeros modos, de dos a seis niveles.

El modelo PD presenta un comportamiento extraño. Para el caso de pocos niveles sus valores se acercan al modelo ER; conforme aumenta en niveles se acerca al modelo MC. Los modelos ER y MC tienen un comportamiento similar de tipo lineal para cada piso que incrementan. El modelo PD tiene comportamiento casi constante presentando poco aumento de nivel a nivel, e inclusive en algunos casos presenta disminución en periodo.

3.7 Conclusiones.

La aceleración no cambia para ninguno de los tres modelos, pero se analizan las aceleraciones espectrales y el factor Q' para tener un punto de comparación en los tres modelos. La estructura reticular presenta los mayores periodos y, conforme se incrementa el número de niveles, se acerca a un punto crítico. La estructura de piso débil tiene un comportamiento diferente en relación con los demás modelos en cuestión; para cada nivel que se incrementa se mantienen casi constantes sus periodos y, en algunos modos, inclusive

hay disminución. El modelo de muros de cortante es un modelo que no presenta problema, debido a que todos sus periodos son cortos.

El resultado predominante de este capítulo se presenta en los cortantes basales, los cuales se muestran en la tabla 3.1.

Cortantes basales (Ton)						
Número de niveles	Modelo ER		Modelo PD		Modelo MC	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
2	224.078	226.103	242.073	241.825	226.606	232.534
3	316.439	322.583	362.387	361.274	319.014	330.486
4	408.426	411.469	481.193	473.798	412.828	423.777
5	491.65	498.125	591.893	577.837	501.017	514.684
6	571.36	578.758	690.549	666.375	601.456	603.947

Tabla.3.1

Con respecto a cortantes basales, la estructura que da, para todos los casos, los mayores valores, es la de piso débil. Este resultado en cortante repercute principalmente en el diseño de columnas, ya que se presentan mayores valores en momentos y cortantes. La estructura reticular y la de muros de cortante muestran cortantes basales muy similares entre sí, dando mayores valores la estructura de muros de cortante. La estructura reticular, por su parte, expone menores cortantes, debido a que es la que presenta menores masas concentradas a diferencia de los demás modelos.