

## ABSTRACT

In a previous work the authors developed a method for elastic seismic analysis of structures; it was named quasidynamic method. In this paper such method is generalized to include elastoplastic behavior in terms of ductility factors, which are used to reduce the design spectra.

It is found that this new method leads to better results than those obtained with the seismic static criterium established in the Mexico City Seismic Code, when they are compared with the corresponding ones computed with the dynamic modal spectral procedure given in the same code.

The proposed method is simple and can be applied to both regular and irregular buildings and, therefore, is useful for practicing engineers related with aseismic design.

## RESUMEN

En una investigación previa efectuada por los autores se estudió, en forma paramétrica, la respuesta sísmica de edificios irregulares en elevación con comportamiento elástico. Con el fin de generalizar el método de análisis ahí propuesto, en este trabajo se estudia la influencia del comportamiento elastoplástico definido en términos de los espectros de diseño reducidos por ductilidad.

Se muestra que el procedimiento conduce a mejores resultados que los del método estático establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, tomando como base de comparación los resultados del método dinámico del mismo Reglamento.

El método ha sido denominado *cuasidinámico* y se puede emplear para analizar edificios regulares e irregulares en elevación; es de aplicación sencilla y útil para ingenieros de la práctica profesional que se dedican al diseño sísmico de edificios.

## 1. INTRODUCCION

El método de análisis sísmico estático del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref 1), se puede aplicar indistintamente para edificios regulares o irregulares en elevación. Sin embargo, se considera que si la distribución de fuerzas sísmicas laterales se hiciera tomando en cuenta la variación de masas y rigideces con la altura, como lo hace el método dinámico, el análisis sería más adecuado.

En la ref 2 se tiene un criterio normativo que toma en cuenta la distribución irregular de masas y rigideces mediante un método iterativo, en el que las fuerzas estáticas laterales dependen de la configuración deformada del sistema. El criterio establece que si al aplicar dicho método la respuesta difiere en más de treinta por ciento en dos ciclos consecutivos, debe hacerse un análisis sísmico dinámico modal.

En investigaciones anteriores (refs 3 a 5) se ha estudiado el comportamiento de edificios irregulares en elevación, cuando están sometidos

a solicitaciones sísmicas. Ha sido común encontrar que la respuesta dinámica modal espectral es menor que la obtenida con los métodos sísmicos estáticos, excepto en algunos casos de estructuras con reducciones bruscas de rigidez y masa.

El método que se presenta en esta investigación se formuló inicialmente en la ref 4 para estudiar la respuesta elástica de modelos estructurales de cortante y de flexión; su bondad se verificó con diferentes estructuraciones con o sin irregularidades en elevación. En este trabajo se generaliza el método para incluir el efecto inelástico, para lo cual se emplean los espectros de diseño del Reglamento (ref 1), reduciéndolos con factores de ductilidad iguales a 2, 4 y 6. Para estudiar la aproximación del método se toma como base de comparación la respuesta dinámica espectral con la participación de todos los modos.

En el cap 2 de este informe se presenta y verifica el método y se discuten los ajustes requeridos para lograr generalidad en su aplicación

con fines de diseño sísmico. Por sus características, se ha denominado método cuasidinámico de análisis sísmico de edificios.

En el cap 3 se presentan las conclusiones más relevantes que se obtuvieron, así como la recomendación para que el método cuasidinámico se incluya en el Reglamento del D F como procedimiento alternativo para análisis sísmico.

## 2. METODO CUASIDINAMICO PARA ANALISIS SISMICO DE EDIFICIOS

El método que aquí se propone para calcular la respuesta sísmica de estructuras parte del análisis sísmico estático convencional, el cual se modifica para lograr una distribución de fuerzas cortantes más acorde con las que se obtendrían con un análisis dinámico. Esa modificación se basa parcialmente en los resultados de estudios paramétricos de marcos rígidos (sistemas de cortante) y muros de cortante acoplados (sistemas de flexión).

### 2.1 Descripción del método

El método cuasidinámico consiste en lo siguiente:

a. Considerar que los edificios están empotrados en su base y calcular las fuerzas sísmicas horizontales, mediante el método estático convencional (ref 1):

$$P_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} \frac{c}{Q} W_T$$

donde

- $P_i$  fuerza sísmica horizontal que actúa estáticamente en la masa  $i$
- $Q$  factor de ductilidad
- $W_i$  peso de la masa  $i$
- $W_T$  carga gravitacional total de la estructura
- $c$  coeficiente sísmico
- $h_i$  altura de la masa  $i$  respecto a la base del edificio
- $n$  número total de niveles donde están concentradas las masas

b. Obtener los desplazamientos  $x_i$  que producen las fuerzas  $P_i$  en cada nivel, y con ellos determinar la aceleración de cada masa  $i$  mediante la ecuación

$$\ddot{x}_i = A(T_1, Q) C_1 x_i$$

con

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i x_i^2}$$

donde

- $A(T_1, Q)$  aceleración espectral de diseño para el modo fundamental
- $C_1$  factor de participación aproximado del modo fundamental

$T_1$  periodo fundamental

$m_i$  masa concentrada en el nivel  $i$

Calcular la aceleración de la manera antes indicada, implica que la configuración dada por los desplazamientos  $x_i$  se tome como una aproximación de la forma característica del primer modo.

El periodo fundamental se puede calcular empleando cualquier procedimiento. Uno que da resultados satisfactorios (ref 4), es el que se basa en el cociente de Schwartz (ref 1) dado por:

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{1}{g} \sum_{i=1}^n W_i x_i^2 / \sum_{i=1}^n P_i x_i \right)^{1/2}$$

siendo  $g$  la aceleración de la gravedad.

c. Calcular la fuerza sísmica lateral que actúa en cada masa, provocada por la aceleración  $\ddot{x}_i$ :

$$F_i = m_i \ddot{x}_i$$

A partir de éstas se obtienen las fuerzas cortantes para cada entrepiso  $r$ :

$$V_r = \sum_{i=r}^n F_i$$

donde el subíndice  $r$  indica que el nivel  $r$  está inmediatamente arriba del entrepiso  $r$ , siendo la base el nivel 0.

Las fuerzas cortantes  $V_r$  se aproximan a las cortantes con que contribuye el modo fundamental en

un análisis dinámico ( $V_{d1_r}$ ). Para obtener una cortante basal que se asemeje a la que se obtendría con la contribución de todos los modos ( $V_{d0}$ ), debe hacerse la corrección que a continuación se indica.

d. Multiplicar la cortante basal,  $V_0$ , por un factor correctivo,  $\alpha$ , para obtener una cortante basal corregida,  $V_0^*$ , que se aproxime a la cortante  $V_{d0}$

$$V_0^* = \alpha V_0$$

Se ha encontrado (ref 4) que el factor correctivo  $\alpha$  depende de la relación de cortantes basales  $V_0/V_{e0}$  ( $V_{e0}$  es la cortante basal obtenida con las fuerzas  $P_i$ ), y del espectro de diseño asociado con el sitio y tipo de suelo donde se desplante la estructura. En esta investigación se encontró que  $\alpha$  también depende del factor de ductilidad que se asigne a la estructura.

En el subcap 2.2 de este trabajo se determinan las ecuaciones para calcular  $\alpha$ , correspondientes a los espectros de diseño del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

e. Calcular las nuevas fuerzas laterales corregidas,  $F_i^*$ , que actúan en cada masa. Esto se hará de acuerdo con lo que se establece en el subcap 2.3.

f. Obtener las fuerzas cortantes de entrepiso,  $V_r^*$ , utilizando las fuerzas  $F_i^*$ , y los momentos de volteo correspondientes. Estas fuerzas cortantes se denominan cortantes sísmicas cuasidínamicas de entrepiso.

## 2.2 Determinación de los factores correctivos, $\alpha$ , para los espectros de diseño del Distrito Federal.

El factor correctivo  $\alpha$  se define como el cociente de la fuerza cortante basal que se obtiene en un análisis dinámico modal espectral, incorporando el efecto de todos los modos,

$V_{d0}$ , entre la fuerza cortante basal correspondiente al primer modo,  $V_{d10}$ , es decir

$$\alpha = V_{d0} / V_{d10}$$

En la ref 4 se obtuvo este factor utilizando los espectros elásticos de diseño ( $Q = 1$ ) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref 1). En ese trabajo se verificó también que al aplicar el método a las estructuras reales de la ref 3 los resultados fueron satisfactorios.

En la presente investigación el factor  $\alpha$  se calcula para las estructuras obtenidas con las combinaciones posibles de masa y rigidez indicadas en las figs 1 y 2 (la masa  $M_c - 1$  sólo se combina con la rigidez  $K_c - 3$ ), considerando que pudieran estar desplantadas en suelo firme, de transición o compresible del D F. A cada

modelo estructural se le asignan factores de ductilidad de 1, 2, 4 y 6.

Después de analizar varias funciones envolventes de los puntos mostrados en las figs 3 a 14, se decidió proponer la siguiente ecuación general para definir  $\alpha$ :

$$\alpha = 1 + \beta_1 \exp\{\beta_2 (V_0/V_{e0} - \beta_3)^{\beta_4}\}, \quad (1)$$

para  $\beta_3 \leq V_0/V_{e0} \leq 1$

donde  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  y  $\beta_4$  son constantes que dependen del tipo de suelo y del factor de ductilidad. En la tabla 1 se dan los valores que se obtuvieron de estas constantes para los distintos factores de ductilidad y zonas geotécnicas del Distrito Federal, al ajustar la ec 1 a los resultados de cada una de las figs 3 a 14.

Al notar la similitud entre algunas curvas se decidió reducir el número de ellas, a fin de simplificar la aplicación del método. De esta manera, se optó por emplear las siguientes:

### a) Terreno firme

Para todos los modelos de las figs 1 y 2 con  $Q = 1$ , y con  $Q = 2, 4$  y  $6$ , excepto el  $K_F - 3$ :

$$\alpha = 1 + 1.5 \cdot \exp\{-4.9 (V_0/V_{e0} - 0.108)^{0.75}\} \quad (2)$$

Con factores de ductilidad 2, 4 y 6, para el modelo  $K_F - 3$ :

$$\alpha = 1 + 1.7 \exp \{-4.95(V_0/V_{e0} - 0.108)\} \quad (3)$$

#### b) Terrenos de transición y compresible

Para cualquier factor de ductilidad y para todos los modelos de las figs 1 y 2, se empleará la ec 3.

En la fig 15 se muestran las curvas de  $\alpha$ , para fines de diseño, dadas por las ecs 2 y 3. Si se hace un análisis de estas curvas, podrá observarse que son envolventes de las presentadas en las figs 3 a 14.

#### 2.3 Obtención de cortantes de entrepisos cuasidínamica

En investigaciones recientes realizadas por los autores (refs 4 y 5), las fuerzas sísmicas cuasidínamicas en edificios irregulares en elevación se obtuvieron distribuyendo el cortante basal,  $V_0^*$ , en función de factores de ponderación que dependían del peso y el desplazamiento,  $x_i$ , de cada masa, como a continuación se indica.

$$F_i^* = \frac{W_i x_i}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} V_0^* \quad (4)$$

A fin de comprobar si esta distribución de fuerzas era adecuada al emplear espectros reducidos por ductilidad, se analizaron paramétricamente los modelos estructurales de las figs 1 y 2. Para los muros de cortante acoplados se em-

plearon dos relaciones de esbeltez, 1.2 y 3.6; la primera con 30 m de altura y 10 niveles, y la segunda con 90 m de altura y 30 niveles.

Los marcos rígidos se analizaron con relaciones de esbeltez de 2 y 4; la primera con 30 m de altura y 10 niveles, y la segunda con 60 m de altura y 20 niveles. Para todos los casos se usaron factores de ductilidad iguales a 1, 2, 4 y 6.

La respuesta estructural se calculó con el método cuasidínámico y con los métodos estático y dinámico espectral del Reglamento (ref 1). Al comparar los resultados, tomando como base de referencia a la respuesta dinámica, se encontró que el cuasidínámico da casi siempre mejores resultados que el estático, aunque para determinadas estructuras subestima con más frecuencia la respuesta en los entrepisos superiores; pero aún en estas estructuras el estático sobrestimó la respuesta en la mayoría de los niveles restantes, en mayor grado que el cuasidínámico.

Así, por ejemplo, en la fig 16 se presenta la comparación de respuestas para el modelo ( $K_F - 2$ ,  $M_F - 2$ ) con  $H/B = 1.2$  y  $Q = 1$ , cuando se analizó con el espectro de diseño para terreno compresible; se aprecia que la sobrestimación de cortantes del estático es hasta 3.4 veces las del dinámico, en tanto que la del cuasidínámico es 1.6.

En la fig 17 se muestra la comparación de respuestas para el modelo ( $K_C - 2$ ,  $M_C - 3$ ) con  $H/B = 4$  y  $Q = 6$ , cuando se analizó para la zona

de terreno compresible del D F. La sobrestimación de cortantes con el estático llega hasta cinco veces el dinámico, en tanto que la del cuasidinámico llega sólo a dos.

En ambas figuras se nota también que el cuasidinámico sobrestima de manera más uniforme con la altura que el estático, lo cual conduce a diseños con factor de seguridad sensiblemente igual para cada entrepiso.

En las tablas 2 a 7 se presenta el número de casos con error (entendido como aquellos en que el cortante cuasidinámico es menor que el dinámico), obtenidos al calcular las fuerzas cortantes cuasidinámicas con la ec 4; las comparaciones se hicieron para cada entrepiso.

En las tablas 2 a 4 puede notarse que para muros acoplados la frecuencia de subestimación a que conduce la ec 4 aumenta cuando se incrementa la relación de aspecto, y se tienen mayores porcentajes de error al crecer el factor de ductilidad hasta  $Q = 4$ . Se advierte también que para la zona de terreno firme existe mayor número de errores y éstos son más grandes que en el de transición y el compresible.

En marcos rígidos se nota que la frecuencia de error varía poco para terrenos firme y compresible (tablas 5 y 7) cuando cambia la relación de aspecto, y varía mucho en terreno de transición (tabla 6). Para factores de ductilidad de

1, 2 y 4, independientemente de la relación de aspecto, el número de casos con error se mantiene casi constante y disminuye para  $Q = 6$ . Para terreno firme se tiene que el error no pasa del 20 por ciento, en tanto que para los de transición y compresible no pasa del 10 por ciento.

Al comparar los errores consignados en las tablas 2 a 4 con los respectivos de las tablas 5 a 7, se nota que las estructuras con marcos rígidos presentan mucho menos errores y que éstos son menores que para las estructuras con muros de cortante acoplados.

Por lo antes discutido se puede inferir que la aproximación de la respuesta cuasidinámica está influida directamente por el tipo de suelo, estructuración, relación de aspecto y factor de ductilidad.

En la tabla 8 se presenta el caso en que se tuvo mayor subestimación de la respuesta con el método cuasidinámico. Las fuerzas cortantes y momentos de volteo calculados con los tres métodos corresponden al modelo con rigidez  $K_F = 2$ , masa  $M_F = 2$ , relación  $H/B = 3.6$  y  $Q = 4$ , desplazado en terreno firme. La subestimación del cuasidinámico alcanzó hasta un 52 por ciento en el entrepiso superior, en tanto que la del estático fue de 16 por ciento.

Después de realizar el examen detallado de la respuesta cuasidinámica de todos los modelos,

se decidió proponer otra distribución de fuerzas más efectiva.

La idea de partida consistió en buscar una distribución de aceleraciones cuasidinámicas que fuera función de los desplazamientos  $x_i$  y que incrementara la magnitud de las fuerzas sísmicas en la parte superior del edificio. Se encontró que eso se logra si cada  $x_i$  se modifica multiplicándola por el factor  $A_i$  definido como

$$A_i = \left(1 - \frac{x_{i-1}}{x_i} \frac{h_{i-1}}{H}\right)^\lambda - \left(1 - \frac{x_{i-1}}{x_i} \frac{h_i}{H}\right)^\lambda$$

donde

(5)

H altura total del edificio

$\lambda$  exponente para ajuste de aceleraciones

De esta manera, las fuerzas sísmicas se obtienen con la ecuación

$$F_i^* = \frac{W_i A_i x_i}{\sum_{i=1}^n W_i A_i x_i} V_0^* \quad (6)$$

A fin de asignar valores al parámetro  $\lambda$ , se hizo un estudio minucioso para las estructuras en las que se obtuvo las subestimaciones mayores al emplear la ec 4. Se aplicó para ellas, la ec 6 con valores de  $\lambda$  comprendidos entre 0.25 y 1.0.

En la tabla 9 se presentan los valores de las cortantes de entrepiso obtenidos con la ec 6,

para la estructura  $K_F - 2$ ,  $M_F - 2$  y distintos valores de  $\lambda$ . Se puede apreciar que con  $\lambda = 0.66$  la respuesta cuasidinámica sólo presenta un caso de subestimación del orden de 0.6 por ciento en el piso superior. Se observa, además, que el valor de  $\lambda = 0.75$  proporciona resultados bastante aceptables con subestimación sólo en la parte superior de 1.06 contra 1.25 ton.

En la tabla 10 se presenta la comparación de cortantes de entrepiso y momentos de volteo, calculados con los tres métodos mencionados, empleando la ec 4 para obtener fuerzas cuasidinámicas. Los resultados son para el modelo ( $K_F - 4$ ,  $M_F - 2$ ) con  $H/B = 3.6$ ,  $Q = 4$  y terreno firme. Se observa que la subestimación alcanzó un valor hasta del 40 por ciento en el entrepiso superior. En la tabla 11 se muestran los cortantes de entrepiso obtenidos con diferentes valores de  $\lambda$ ; se puede ver que para  $\lambda = 0.75$  los resultados son satisfactorios.

A fin de conocer la sobrestimación que se introduce al emplear la ec 6, se estudiaron aquellos casos en los que la ec 4 conducía a mayor exceso en la respuesta. El peor caso correspondió al modelo ( $K_F - 3$ ,  $M_F - 3$ ) con  $H/B = 3.6$ ,  $Q = 6$  y espectro de terreno firme; la sobrestimación alcanzó 171.8 por ciento y ocurrió en el entrepiso 22 (tabla 12). Para este modelo se puede ver que el valor adecuado para  $\lambda$  debería ser mayor que 1 (tabla 13), ya que con  $\lambda = 1$  se tienen cortantes cuasidinámicas mayores que las dinámicas.



Con fines ilustrativos se presentan también los resultados del modelo ( $K_C = 2$ ,  $M_C = 3$ ), con  $H/B = 4.0$ ,  $Q = 1$  y terreno firme. En este caso el método cuasidinámico con la ec 4 da respuestas con error en los dos entrepisos superiores (tabla 14). En la tabla 15 se muestran las constantes correspondientes a distintos valores de  $\lambda$ ; se nota que con  $\lambda = 0.9$  se evitan las subestimaciones (lo mismo se concluyó para  $Q = 2, 4$  y 6). Si con este modelo se usara  $\lambda = 1.0$  se tendrían errores de 10 a 13 por ciento en el entrepiso superior solamente.

Al hacer este tipo de análisis para los modelos con marcos rígidos, se encontró que la mayoría de los casos quedaban cubiertos con  $\lambda = 1.0$ . Las excepciones (aparte de las del párrafo anterior) requirieron que  $\lambda$  fuera igual a 0.9, aunque con  $\lambda = 1.0$  los errores en el entrepiso superior para el caso más desfavorable, eran tan sólo de 3 por ciento-modelos ( $K_C = 2$ ,  $M_C = 2$ ) y ( $K_C = 3$ ,  $M_C = 3$ ).

Finalmente, un análisis exhaustivo de todos los casos condujo a proponer los siguientes valores de  $\lambda$ , con los cuales se eliminaron prácticamente todas las subestimaciones y las pocas que quedaron fueron insignificantes:

- a. Para marcos rígidos, desplantados en cualquier tipo de terreno:  $\lambda = 1.0$
- b. Para muros de cortante acoplados, excepto los modelos que tienen a  $K_F = 3$ , se em-

pleará un valor de  $\lambda$  de acuerdo con lo siguiente:

En terreno firme:  $\lambda = 0.75$

En terrenos de transición y compresible:

$\lambda = 0.9$

- c. Para muros de cortante acoplados modelados con  $K_F = 3$  y todo tipo de terreno:

$\lambda = 0.9$

Vale la pena señalar que la ec 5 está inspirada en una del código chileno que tiene la forma (ref 6)

$$A_i = \left(1 - \frac{h_{i-1}}{H}\right)^\lambda - \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^\lambda \quad (7)$$

con  $\lambda = 0.5$ . En los análisis que se hicieron en este trabajo se intentó al principio usar la ec 7 ajustando el valor de  $\lambda$ , ya que con  $\lambda = 0.5$  se sobrestimó excesivamente la respuesta. Sin embargo, al interpretar los resultados se intuía la modificación que condujo a la ec 5, la cual resultó mejor que la ec 7.

## 2.4 Resultados

A fin de mostrar la eficacia del método cuasidinámico con los valores de  $\lambda$  propuestos, se presentan sólo los resultados de los modelos ( $K_F = 2$ ,  $M_F = 2$ ), ( $K_F = 3$ ,  $M_F = 3$ ) y ( $K_C = 3$ ,  $M_C = 1$ ), en suelo firme y compresible, con factores de ductilidad 1 y 6, relaciones de aspecto 1.2 y 3.6 en muros de cortante acoplados, y 2 y 4 en marcos rígidos (figs 18 a 29). Las

respuestas (fuerzas cortantes y momentos de volteo) del método dinámico se obtuvieron con el criterio de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de la respuesta de cada modo de vibrar.

En el estudio se incorporó también la modificación a las fuerzas cortantes del método estático que permite el Reglamento del D F, cuando se toma en cuenta el periodo fundamental de la estructura. Las figuras mostradas se escogieron de manera que incluyeran los casos en que dicha modificación lo mejoró sustancialmente.

Las letras y símbolos que se utilizan en las figuras se refieren a lo siguiente:

- V fuerzas cortantes de entrepiso
- M momentos de volteo
- r número de entrepiso
- e estático
- d dinámico
- \* cuasidinámico

La tilde sobre V o M significa que son valores reducidos.

Se aprecia en esas figuras que en general los resultados del método cuasidinámico se apegan más a los del dinámico que los del estático, modificado o no; esta concordancia fue aún mejor en casi todos los demás casos estudiados. Conviene destacar que la modificación de fuerzas cortantes del estático conduce, en algunos casos, a una respuesta mejor que la cuasidinámica en los

entrepisos superiores, pero de todas maneras sobre estima en exceso para los demás entrepisos. Asimismo, es importante señalar que en ciertos casos la modificación del método estático puede ocasionar subestimación (figs 19, 20 y 23).

En las figs 18 a 29 se muestran también los momentos de volteo obtenidos con los métodos estático y cuasidinámico, reducidos de acuerdo con el Reglamento del D F; esta reducción se basa en el hecho de que los momentos calculados integrando el diagrama de fuerzas cortantes resultan mayores que los dinámicos. En el caso del método estático esta reducción se aplicó a las fuerzas cortantes reducidas.

Se aprecia en dichas figuras que los valores así obtenidos resultan mejores que los originales, y que la reducción es mayor en los niveles inferiores. Solo en dos casos del cuasidinámico se obtuvieron valores en la base ligeramente menores que los dinámicos (menos del uno por ciento).

Se nota también que en los modelos de marcos rígidos la reducción condujo a una distribución más uniforme de la relación de momentos de volteo, con la altura, lo cual permite mantener un factor de seguridad casi constante.

Con base en las observaciones hechas en este estudio puede afirmarse que el método cuasidinámico es apropiado para estudiar la respuesta

sísmica de los edificios desplantados en cualquiera de las zonas sísmicas del D F, con distintas relaciones de esbeltez y factor de ductilidad menor que 6.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Conclusiones

Se ha presentado la extensión del método cuasi dinámico para calcular la respuesta sísmica de edificios irregulares en elevación, empleando los espectros reducidos por ductilidad del Reglamento de Construcciones del D F.

El ajuste del factor correctivo  $\alpha$  se hizo para cada zona geotécnica del Distrito Federal y cuatro factores de ductilidad ( $Q = 1, 2, 4$  y  $6$ ). Sin embargo, por la similitud encontrada entre algunas de las curvas elaboradas para tal fin, se decidió emplear curvas comunes que cubrieran los puntos correspondientes a varias de ellas, lo que permitió tener dos en total (fig 15). Así, para edificios desplantados en terreno firme, se calculará  $\alpha$  con las ecs 2 o 3, según sea la estructuración, y para los de transición y compresible, con la ec 3.

Con las ecuaciones propuestas en este trabajo para calcular  $\alpha$ , se ha incrementado el intervalo de aplicación del método cuasidinámico, ya que en la investigación precedente (ref 4) se requería que  $V_0/V_{e0}$  fuera mayor o igual a 0.2

y actualmente esa cota inferior se ha disminuido. Tal es el caso por ejemplo, de la zona de terreno firme donde el intervalo de aplicación es

$$\beta_3 = 0.108 \leq V_0/V_{e0} \leq 1.0$$

Para los terrenos de transición y compresible los valores de  $\beta_3$  pueden obtenerse de la tabla 1.

Otras conclusiones de interés acerca del método cuasidinámico son:

- Casi siempre da resultados bastante mejores que el estático.
- Es aplicable a estructuras regulares o irregulares en elevación hasta de 30 pisos con  $H/B \leq 3.6$ , para edificios de muros de cortante acoplados, y hasta de 20 pisos con  $H/B \leq 4$ , para edificios de marcos rígidos.
- Es práctico y de sencilla utilización en los despachos de cálculo; lo más complicado es obtener la configuración de desplazamientos estáticos  $x_i$ , lo cual no deber ser difícil en la actualidad para los ingenieros calculistas.
- En algunos casos en que fue aplicable, la reducción que permite el Reglamento del D F a las fuerzas cortantes calculadas con el método estático condujo a subestimaciones en los entrepisos superiores, tal como sucedió en el modelo ( $K_F = 2, M_F = 2$ ).
- El criterio de reducción de momentos de volteo es aplicable al método cuasidinámico

f. Para aplicar el método cuasidinámico en otras ciudades, es necesario obtener las ecuaciones para calcular  $\alpha$ , correspondientes a los espectros de diseño que se tengan en los reglamentos respectivos, mediante un trabajo de investigación semejante al que se presentó en este informe.

### 3.2 Recomendación

Como resultado de todo lo discutido en este trabajo, se recomienda estudiar la conveniencia de incluir el método cuasidinámico en el Reglamento del D F, como procedimiento opcional para el análisis sísmico de edificios. En tal caso será necesario simplificar aún más el método y hacer ajustes de curvas para  $\alpha$  que den valores medios en vez de envolventes, con el fin de no errar sistemáticamente y en exceso del lado de la seguridad.

## 4. RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a Joel García y Raúl Paredes por la ayuda prestada en organizar la información que se empleó en esta investigación.

## 5. REFERENCIAS

1. "Manual de diseño por sismo, según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Instituto de Ingeniería, UNAM, 406,

México, julio, 1977

2. "Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings" Applied Technology Council, ATC3-06, California, USA, junio, 1978
3. "Bustamante, JI, "Seismic shears and overturning moments in buildings", *Procs of the Third World Conference on Earthquake Engineering*, Vol III, pp 144-160, Nueva Zelanda, 1965
4. Aranda, GR, Rascón, OA, y Díaz, OJ, "Método cuasidinámico para el análisis sísmico de edificios irregulares en elevación", *Informe de Investigación, Instituto de Ingeniería, UNAM*, México, julio, 1981
5. Aranda, GR, Rascón, OA, y Díaz, OJ, "Seismic analysis of irregular buildings", *Procs of the Seventh European Conference on Earthquake Engineering*, Atenas, Grecia, septiembre, 1982
6. "Earthquake resistant regulations. A world List", *International Association for Earthquake Engineering*, Tokio, Japón, agosto, 1980

## NOTACION

$A(T_1, Q)$  aceleración espectral de diseño para

	el modo fundamental	$V_{e0}$	cortante sísmica estática basal
$A_i$	coeficientes para distribución de aceleraciones	$V_{er}$	cortante sísmica estática en el entrepiso $r$
$B$	dimensión en planta del edificio, en la dirección analizada	$V_0$	cortante sísmica basal no corregida
$C_1$	factor de participación aproximado del modo fundamental	$V_0^*$	cortante sísmica basal cuasidinámica
$F_i$	fuerza sísmica que actúa en la masa $i$	$V_r$	cortante sísmica de entrepiso no corregida
$F_i^*$	fuerza sísmica cuasidinámica aplicada en la masa $i$	$V_r^*$	cortante sísmica cuasidinámica en el entrepiso $r$
$H$	altura total de la estructura	$W_i$	peso de la masa $i$
$M_{d0}$	momento sísmico de volteo dinámico, en la base de la estructura, calculado considerando todos los modos de vibrar	$W_T$	carga gravitacional total de la estructura
$M_{dr}$	momento sísmico de volteo dinámico, en el nivel $r$ , calculado considerando todos los modos de vibrar	$c$	coeficiente sísmico
$M_{er}$	momento sísmico estático de volteo en el nivel $r$	$g$	aceleración de la gravedad
$M_r^*$	momento de volteo cuasidinámico en el nivel $r$	$h_i$	altura de la masa $i$ respecto a la base del edificio
$P_i$	fuerza sísmica horizontal que actúa estáticamente en la masa $i$	$m_i$	masa concentrada en el nivel $i$
$Q$	factor de ductilidad	$n$	número total de niveles donde están concentradas las masas
$T_1$	periodo fundamental	$r$	índice para identificar entrepisos
$V_{d0}$	cortante sísmica dinámica basal, calculada considerando todos los modos de vibrar	$x_i$	desplazamiento de la masa $i$ causado por la fuerza $P_i$
$V_{dr}$	cortante sísmica dinámica en el entrepiso $r$ , calculada considerando todos los modos de vibrar	$\ddot{x}_i$	aceleración de la masa $i$ (excitación dinámica)
$V_{d10}$	igual que $V_{d0}$ pero empleando sólo el modo fundamental	$\alpha$	factor correctivo para cortante basal
		$\beta_i$	parámetros para definir al factor correctivo $\alpha$
		$\lambda$	exponente para ajuste de aceleraciones

TABLA 1. CONSTANTES  $\beta_1$  PARA CALCULAR EL FACTOR CORRECTIVO  $\alpha$  EN DISTINTAS ZONAS DEL D F

ZONA D F	$\beta_1$	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
FIRME I	$\beta_1$	1.500	1.700	1.800	1.700
	$\beta_2$	-4.900	-6.000	-5.430	-5.800
	$\beta_3$	0.108	0.108	0.108	0.108
	$\beta_4$	0.750	1.000	1.000	1.000
TRANSICION II	$\beta_1$	1.100	1.150	1.500	1.700
	$\beta_2$	-5.300	-5.360	-5.920	-7.400
	$\beta_3$	0.160	0.160	0.160	0.116
	$\beta_4$	0.750	0.750	1.000	1.000
COMPRESIBLE III	$\beta_1$	1.050	1.100	1.700	1.670
	$\beta_2$	-5.320	-5.400	-6.260	-7.400
	$\beta_3$	0.175	0.175	0.160	0.116
	$\beta_4$	0.750	0.750	1.000	1.000

TABLA 3. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS (EC 4) Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MUROS DE CORTANTE ACOPLADOS

ERROR %	TERRENO TRANSICION							
	H/B = 1.2				H/B = 3.6			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2			3	1	5	7	2	3
2 - 4			3		4	4	5	1
4 - 6			2	1	2	4	2	
6 - 8		1	1	1	1	2	3	2
8 - 10				2	3	1	4	2
10 - 15			3	2	5	6	4	1
15 - 20			3	1	1	3	3	1
20 - 25			1			1	3	
25 - 30					1		1	1
30 - 40						1	1	
TOTAL		1	16	8	22	29	28	11
TOTAL DE COMPARACIONES	220	220	220	220	360	360	360	360

TABLA 2. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS (EC 4) Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MUROS DE CORTANTE ACOPLADOS

ERROR %	TERRENO FIRME							
	H/B = 1.2				H/B = 3.6			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2		5	3	4	6	5	5	
2 - 4	1	5	3	4	1	3	3	5
4 - 6			6	2	3		1	3
6 - 8	1	1	1	1	3	5	3	
8 - 10			2	2	7	3	4	3
10 - 15			4	4	6	8	4	6
15 - 20		1	1	1	9	6	7	6
20 - 25				1	2	3	6	3
25 - 30			1	1	3	5	5	4
30 - 40					5	4	3	4
> 40					1	1	3	1
TOTAL	2	12	21	20	46	43	44	35
TOTAL DE COMPARACIONES	220	220	220	220	360	360	360	360

TABLA 4. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS (EC 4) Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MUROS DE CORTANTE ACOPLADOS

ERROR %	TERRENO COMPRESIBLE							
	H/B = 1.2				H/B = 3.6			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2			3	1	6	6	5	1
2 - 4		1	2		4	5	4	
4 - 6			3	1	1	6	5	2
6 - 8			3	1	3	2	3	1
8 - 10				2	1	2	4	
10 - 15			2	2	2	5	5	2
15 - 20			4	1	1	2	3	
20 - 25			1				3	1
25 - 30						1	1	
30 - 40							1	
TOTAL		1	18	8	18	29	34	7
TOTAL DE COMPARACIONES	220	220	220	220	360	360	360	360

TABLA 5. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MARCOS RIGIDOS

ERROR %	TERRENO FIRME							
	H/B = 2				H/B = 4			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2	4	4	5		1	2	2	3
2 - 4	1	1	1		1	1	1	2
4 - 6	1	1	1	2	1	1	1	1
6 - 8	1	1		4	4	4	4	
8 - 10			1		1	1	1	1
10 - 15	6	5	5	2	2	2	2	1
15 - 20		1	1		1	1	1	
TOTAL	13	13	14	8	11	12	12	8
TOTAL DE COMPARACIONES	130	130	130	130	260	260	260	260

TABLA 6. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MARCOS RIGIDOS

ERROR %	TERRENO DE TRANSICION							
	H/B = 2				H/B = 4			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2	7	8	10		1	1	3	
2 - 4	1	2	2		2	2	2	
4 - 6	2	1	1		1	1	1	
6 - 8	1	2	1		1			
8 - 10			1			1	1	
TOTAL	11	13	15		5	5	7	
TOTAL DE COMPARACIONES	130	130	130	130	260	260	260	260

TABLA 7. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MARCOS RIGIDOS

ERROR %	TERRENO COMPRESIBLE							
	H/B = 2				H/B = 4			
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2	4	7	10		9	7	8	
2 - 4	3	3	2		4	4	5	
4 - 6		2	4		2	4	3	
6 - 8	1	1	1		1		1	
8 - 10			1			1	1	
TOTAL	8	13	18		16	16	18	
TOTAL DE COMPARACIONES	130	130	130	130	260	260	260	260

TABLA 8. COMPARACION DE LA RESPUESTA PARA EL MODELO ( $K_F-2, M_F-2$ ), CON  $H/B=3.6$ ,  
 $Q=4$ , EN TERRENO FIRME

ENTREPISO	CORTANTE, ton			MOMENTO, ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO) <sup>ⓐ</sup>				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
							POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
	$V_F$	$V_D$	$V_{D_r}$	$M_F$	$M_D$	$M_{D_r}$	V	M	V	M	V	M
20	0.597	1.253	1.044	1.721	3.759	3.133	-52.364	-52.364	-2.775	-0.144	-16.674	-16.674
19	1.254	2.531	2.267	5.854	10.445	10.232	-40.633	-43.356	-3.921	-0.337	-3.759	-2.039
18	2.267	3.514	3.246	12.418	19.720	19.071	-27.836	-26.044	-4.052	-0.525	22.798	11.563
17	3.246	4.072	3.761	22.453	31.348	30.384	-19.486	-20.379	-3.257	-0.653	41.443	24.561
16	4.072	4.069	3.770	35.457	45.075	43.724	-9.473	-20.394	-1.977	-0.691	60.015	32.154
15	4.069	3.614	3.411	52.474	60.720	58.755	-0.153	-13.580	-0.054	-0.605	78.301	52.753
14	3.614	6.351	12.401	73.079	78.126	123.959	8.644	-6.461	2.316	-0.370	96.203	46.345
13	6.351	6.276	14.941	97.084	97.167	174.743	16.754	0.430	4.453	0.031	113.464	79.673
12	6.276	7.651	17.109	128.047	117.745	258.762	30.848	7.742	0.809	0.809	130.136	93.306
11	7.651	8.656	23.233	154.600	132.795	328.464	30.256	13.583	10.452	1.312	145.705	106.553
10	8.656	9.583	26.157	224.243	168.190	434.933	39.652	24.644	16.071	3.480	172.962	132.179
9	9.583	10.242	29.117	278.774	214.542	574.790	44.244	29.940	18.473	4.712	184.397	144.377
8	10.242	10.918	32.036	326.114	242.375	720.727	45.344	34.520	20.571	6.143	193.944	156.041
7	10.918	11.614	35.079	376.765	271.759	839.873	44.534	38.644	22.577	7.704	193.944	167.084
6	11.614	12.338	38.034	430.439	302.759	939.873	44.193	43.202	23.540	9.373	203.200	177.427
5	12.338	13.038	40.954	487.071	335.454	1039.873	44.190	45.710	24.443	11.153	212.902	187.003
4	13.038	13.839	43.774	546.751	369.374	1039.873	44.447	47.669	24.827	12.254	216.390	193.760
3	13.839	14.615	46.575	607.676	406.209	1039.873	40.187	49.889	24.827	14.779	218.341	203.545
2	14.615	15.458	49.165	671.141	444.634	1039.873	39.435	50.991	24.827	16.473	219.304	210.000
1	15.458	16.179	51.674	736.402	484.704	1039.873	34.417	51.406	23.550	18.440	219.399	216.569
0	16.179	16.946	54.050	803.156	527.073	1039.873	31.247	52.373	22.396	20.232	218.620	222.192
	16.946	17.657	56.269	871.073	571.405	1039.873	27.140	53.178	20.485	21.799	217.969	228.403
	17.657	18.312	58.321	939.873	617.724	1039.873	22.954	53.178	19.408	23.442	216.501	233.463
	18.312	19.005	60.251	1009.873	665.929	1039.873	18.705	51.602	17.743	25.113	215.114	238.523
	19.005	19.733	62.051	1080.973	716.033	1039.873	14.452	50.303	16.119	26.689	213.792	243.593
	19.733	20.507	63.744	1153.454	767.636	1039.873	10.204	48.931	14.626	28.070	212.465	248.654
	20.507	21.328	65.328	1227.147	821.147	1039.873	6.974	47.476	13.274	29.359	211.138	253.704
	21.328	22.194	66.804	1302.073	875.676	1039.873	4.256	47.577	12.471	30.641	210.814	258.754
	22.194	23.106	68.174	1378.147	931.114	1039.873	2.630	46.392	12.001	31.890	211.190	263.804

ⓐEl error negativo indica que existe subestimación con respecto a la respuesta dinámica

TABLA 9. COMPARACION DE CORTANTES DE ENTREPISO, EN TONELADAS, PARA DIFERENTES VALORES  
DEL PARAMETRO  $\lambda$ . MODELO ( $K_F-2, M_F-2$ ) CON  $H/B=3.6$ , EN TERRENO FIRME Y  $Q=4$

ENTRE- PISO	$V_{D_r}$	$V_F$	$\lambda$							
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75 **	0.80	0.90	1.0
20	1.25312	0.52674	2.58575	2.25439	1.62892	1.24520	1.06361	0.96405	0.77427	0.45029
19	2.26714	1.25483	4.61893	4.12059	2.94475	2.15235	2.26926	2.03971	1.73385	1.44834
18	3.24617	2.25483	6.48019	5.67229	4.24475	3.24506	3.44107	3.21579	2.80205	2.44343
17	4.07157	3.27778	8.10603	7.46130	6.26925	5.21520	4.74192	4.47427	3.97553	3.52395
16	4.86500	4.40176	9.67426	9.00914	7.78280	6.61406	6.09160	5.79334	5.20091	4.71313
15	5.61438	5.60579	11.15721	10.43441	9.20651	8.02263	7.47016	7.15187	6.54541	5.97818
14	6.34056	6.86816	12.53725	11.80758	10.61913	9.43375	8.65764	8.25659	7.59640	7.29374
13	6.99476	8.16845	13.81125	13.07593	11.90505	10.80164	10.23579	9.90479	9.26317	8.64959
12	7.67139	9.48743	15.03700	14.44594	13.26198	12.14763	11.58915	11.26329	10.62699	10.01225
11	8.29000	10.80719	16.15122	15.60703	14.51545	13.43396	12.90287	12.58344	11.97005	11.36791
10	8.85000	12.11043	17.17706	16.76073	15.67433	14.66515	14.14452	13.82441	13.27681	12.69736
9	9.36273	13.38250	18.11352	17.66729	16.75439	15.82777	15.26378	14.93613	14.33081	13.73735
8	9.81835	14.60257	18.94343	18.50713	17.75160	16.91437	16.45157	16.12307	15.52703	15.12557
7	10.21800	15.77980	19.73274	19.35097	18.64377	17.91248	17.54039	17.21214	16.62251	16.30144
6	10.56000	16.90719	20.48642	20.11040	19.49002	18.82997	18.50654	18.30437	17.86526	17.48435
5	10.84813	17.91129	21.00745	20.75746	20.28026	19.47267	19.38462	19.20931	18.85385	18.49300
4	11.07819	18.89009	21.42009	21.28511	20.85323	20.41690	20.17309	20.02415	19.72095	19.41145
3	11.25813	19.84444	21.73444	21.70559	21.45339	21.07235	20.87103	20.74740	20.44444	20.23527
2	11.38444	20.85066	22.36839	22.45223	22.25120	21.64506	21.47529	21.37920	21.17289	20.96218
1	11.45778	21.81636	22.66023	22.85329	22.56803	22.17330	22.17934	22.12122	21.97539	21.79171
0	11.57861	22.74130	22.99344	23.07774	22.84724	22.58182	22.54252	22.52431	22.45318	22.32066
	11.64618	23.62577	23.26332	23.35093	23.09234	22.81829	22.78203	22.74813	22.65903	22.56259
	11.75707	24.46333	23.46693	23.55953	23.21073	23.11270	23.07281	23.04403	22.98214	22.91721
	11.86211	25.25420	23.64847	23.74353	23.37513	23.31851	23.28791	23.25803	23.22907	23.18750
	11.961700	26.00319	23.80447	23.90112	23.54739	23.48971	23.44700	23.43092	23.40778	23.38332
	12.056743	26.71577	23.94035	24.03818	23.68334	23.63670	23.59364	23.57018	23.53918	23.51819
	12.14740	27.39374	24.05864	24.15630	23.81331	23.76057	23.71550	23.69333	23.65976	23.63990
	12.23440	28.04140	24.16364	24.26530	23.93700	23.87552	23.82471	23.80421	23.76314	23.73700
	12.31829	28.66329	24.25642	24.36542	24.05342	23.98342	23.94342	23.92442	23.88342	23.85742
	12.40056	29.26342	24.34342	24.45842	24.15842	24.08342	24.04342	24.02442	23.98342	23.95742

\*\* Valor seleccionado



TABLA 10. COMPARACION DE LA RESPUESTA PARA EL MODELO ( $K_F=4, M_F=2$ ), CON  $H/B=3.6$ ,  
 $Q=4$ , EN TERRENO FIRME

ENTREPISO	CORTANTE, ton			MOMENTO, ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO <sup>®</sup> )				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
							POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
	$V_F$	$V_d$	$V_e$	$M_F$	$M_d$	$M_e$	V	M	V	M	V	M
1	0.615	1.032	1.044	1.944	2.117	2.123	-40.785	-40.785	-1.542	-0.084	0.474	0.474
2	1.300	2.183	2.267	6.014	6.513	6.532	-24.991	-24.991	-2.732	-0.231	10.700	7.505
3	2.309	3.813	3.946	12.041	13.143	13.071	-28.855	-28.855	-3.354	-0.408	22.157	15.285
4	3.524	5.491	5.761	20.000	21.825	21.645	-27.794	-27.794	-3.407	-0.501	34.774	23.670
5	4.913	7.306	7.750	30.043	32.800	32.490	-14.977	-14.977	-2.593	-0.714	46.736	31.110
6	6.474	9.285	10.011	42.047	45.739	45.271	-10.259	-10.259	-1.790	-0.776	59.271	41.110
7	8.213	11.481	12.401	56.047	60.727	60.075	-10.259	-10.259	-1.483	-0.776	71.415	50.467
8	10.124	13.941	14.941	72.047	77.440	76.532	-4.144	-4.144	-0.433	-0.534	83.521	59.704
9	12.209	16.624	17.699	90.047	96.731	95.569	-3.440	-3.440	-0.330	-0.394	94.790	68.024
10	14.474	19.524	20.699	110.047	116.731	115.369	-2.732	-2.732	-0.141	-0.141	105.303	78.024
11	16.913	22.641	23.911	132.047	138.731	137.169	-1.855	-1.855	-0.084	-0.084	115.077	87.024
12	19.513	25.985	27.355	156.047	162.731	160.909	-1.113	-1.113	-0.042	-0.042	124.210	95.753
13	22.274	29.561	31.031	182.047	188.731	186.569	-0.644	-0.644	-0.021	-0.021	132.773	104.207
14	25.199	33.376	34.946	210.047	216.731	214.169	-0.376	-0.376	-0.011	-0.011	140.654	112.384
15	28.284	37.431	39.001	240.047	246.731	243.569	-0.214	-0.214	-0.006	-0.006	147.473	120.141
16	31.524	41.726	43.296	272.047	278.731	275.169	-0.124	-0.124	-0.003	-0.003	153.653	127.474
17	34.913	46.261	47.831	306.047	312.731	308.569	-0.074	-0.074	-0.002	-0.002	159.294	134.249
18	38.454	50.936	52.506	342.047	348.731	337.569	-0.044	-0.044	-0.001	-0.001	164.426	140.491
19	42.149	55.751	57.321	380.047	386.731	374.569	-0.024	-0.024	-0.000	-0.000	169.054	146.141
20	45.984	60.706	62.276	420.047	426.731	407.569	-0.014	-0.014	-0.000	-0.000	173.174	151.240
21	50.049	65.791	67.361	462.047	468.731	441.569	-0.009	-0.009	-0.000	-0.000	176.784	155.804
22	54.334	71.006	72.576	506.047	512.731	487.569	-0.004	-0.004	-0.000	-0.000	180.894	160.804
23	58.839	76.351	77.921	552.047	558.731	533.569	-0.002	-0.002	-0.000	-0.000	185.404	165.304
24	63.554	81.826	83.396	600.047	606.731	581.569	-0.001	-0.001	-0.000	-0.000	189.414	169.804
25	68.479	87.431	88.996	650.047	656.731	629.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	193.924	174.304
26	73.604	93.166	94.731	702.047	708.731	679.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	198.934	178.804
27	78.929	99.031	100.596	756.047	762.731	729.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	203.944	183.304
28	84.454	105.026	106.591	812.047	818.731	785.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	208.954	187.804
29	90.179	111.151	112.716	870.047	876.731	843.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	213.964	192.304
30	96.104	117.406	118.971	930.047	936.731	903.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	218.974	196.804
31	102.229	123.791	125.356	992.047	998.731	965.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	223.984	201.304
32	108.554	130.306	131.871	1056.047	1062.731	1029.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	228.994	205.804
33	115.079	136.951	138.516	1122.047	1128.731	1095.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	233.994	210.304
34	121.804	143.726	145.291	1190.047	1196.731	1163.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	238.994	214.804
35	128.729	150.631	152.196	1260.047	1266.731	1233.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	243.994	219.304
36	135.854	157.666	159.231	1332.047	1338.731	1305.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	248.994	223.804
37	143.179	164.831	166.396	1406.047	1412.731	1379.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	253.994	228.304
38	150.704	172.126	173.691	1482.047	1488.731	1455.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	258.994	232.804
39	158.429	179.551	181.116	1560.047	1566.731	1533.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	263.994	237.304
40	166.354	187.106	188.671	1640.047	1646.731	1613.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	268.994	241.804
41	174.479	194.791	196.356	1722.047	1728.731	1695.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	273.994	246.304
42	182.804	202.596	204.161	1806.047	1812.731	1779.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	278.994	250.804
43	191.329	210.521	212.086	1892.047	1898.731	1865.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	283.994	255.304
44	200.054	218.566	220.131	1980.047	1986.731	1953.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	288.994	259.804
45	208.979	226.731	228.296	2070.047	2076.731	2043.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	293.994	264.304
46	218.104	235.016	236.581	2162.047	2168.731	2135.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	298.994	268.804
47	227.429	243.421	244.986	2256.047	2262.731	2229.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	303.994	273.304
48	236.954	251.946	253.511	2352.047	2358.731	2325.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	308.994	277.804
49	246.679	260.591	262.156	2450.047	2456.731	2423.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	313.994	282.304
50	256.604	269.356	270.921	2550.047	2556.731	2523.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	318.994	286.804
51	266.729	278.241	279.806	2652.047	2658.731	2625.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	323.994	291.304
52	277.054	287.246	288.811	2756.047	2762.731	2729.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	328.994	295.804
53	287.579	296.371	297.936	2862.047	2868.731	2835.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	333.994	300.304
54	298.304	305.616	307.181	2970.047	2976.731	2943.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	338.994	304.804
55	309.229	314.981	316.546	3080.047	3086.731	3053.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	343.994	309.304
56	320.354	324.466	326.031	3192.047	3198.731	3165.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	348.994	313.804
57	331.679	334.071	335.636	3306.047	3312.731	3279.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	353.994	318.304
58	343.204	343.796	345.361	3422.047	3428.731	3395.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	358.994	322.804
59	354.929	353.641	355.206	3540.047	3546.731	3513.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	363.994	327.304
60	366.854	363.606	365.171	3660.047	3666.731	3633.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	368.994	331.804
61	378.979	373.691	375.256	3782.047	3788.731	3755.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	373.994	336.304
62	391.304	383.896	385.461	3906.047	3912.731	3879.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	378.994	340.804
63	403.829	394.221	395.786	4032.047	4038.731	4005.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	383.994	345.304
64	416.554	404.666	406.231	4160.047	4166.731	4133.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	388.994	349.804
65	429.479	415.231	416.796	4290.047	4296.731	4263.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	393.994	354.304
66	442.604	425.916	427.481	4422.047	4428.731	4395.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	398.994	358.804
67	455.929	436.721	438.286	4556.047	4562.731	4529.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	403.994	363.304
68	469.454	447.646	449.211	4692.047	4698.731	4665.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	408.994	367.804
69	483.179	458.691	460.256	4830.047	4836.731	4803.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	413.994	372.304
70	497.104	469.856	471.421	4970.047	4976.731	4943.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	418.994	376.804
71	511.229	481.141	482.706	5112.047	5118.731	5095.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	423.994	381.304
72	525.554	492.546	494.111	5256.047	5262.731	5249.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	428.994	385.804
73	540.079	504.071	505.636	5402.047	5408.731	5405.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	433.994	390.304
74	554.804	515.716	517.281	5550.047	5556.731	5563.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	438.994	394.804
75	569.729	527.481	529.046	5700.047	5706.731	5713.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	443.994	399.304
76	584.854	539.366	540.931	5852.047	5858.731	5865.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	448.994	403.804
77	599.179	551.371	552.936	6006.047	6012.731	6017.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	453.994	408.304
78	613.704	563.496	565.061	6162.047	6168.731	6175.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	458.994	412.804
79	628.429	575.741	577.306	6320.047	6326.731	6333.569	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	463.994	417.304
80	643.354	588.106	589.671	6480.047	6486.731	6493.569	-0					

TABLA 12. COMPARACION DE LA RESPUESTA PARA EL MODELO ( $K_F=3, M_F=3$ ), CON  $H/B=3.6$ ,  
 $Q=6$ , EN TERRENO FIRME

ENTREPISO	CORTANTE, Ton			MOMENTO, Ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO) <sup>a</sup>				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
							POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
	$V_r$	$V_d$	$V_{dr}$	$M_r$	$M_d$	$M_{dr}$	V	M	V	M	V	M
30	1.927	1.752	3.394	5.911	5.273	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
29	1.905	1.832	3.273	5.874	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
28	1.883	1.810	3.152	5.837	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
27	1.861	1.788	3.031	5.800	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
26	1.839	1.766	2.910	5.763	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
25	1.817	1.744	2.789	5.726	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
24	1.795	1.722	2.668	5.689	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
23	1.773	1.700	2.547	5.652	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
22	1.751	1.678	2.426	5.615	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
21	1.729	1.656	2.305	5.578	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
20	1.707	1.634	2.184	5.541	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
19	1.685	1.612	2.063	5.504	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
18	1.663	1.590	1.942	5.467	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
17	1.641	1.568	1.821	5.430	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
16	1.619	1.546	1.700	5.393	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
15	1.597	1.524	1.579	5.356	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
14	1.575	1.502	1.458	5.319	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
13	1.553	1.480	1.337	5.282	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
12	1.531	1.458	1.216	5.245	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
11	1.509	1.436	1.095	5.208	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
10	1.487	1.414	0.974	5.171	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
9	1.465	1.392	0.853	5.134	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
8	1.443	1.370	0.732	5.097	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
7	1.421	1.348	0.611	5.060	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
6	1.399	1.326	0.490	5.023	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
5	1.377	1.304	0.369	4.986	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
4	1.355	1.282	0.248	4.949	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
3	1.333	1.260	0.127	4.912	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
2	1.311	1.238	0.006	4.875	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181
1	1.289	1.216	-0.115	4.838	5.274	10.187	10.193	10.193	0.020	0.002	93.101	93.181

<sup>a</sup>El error negativo indica que existe subestimación con respecto a la respuesta dinámica

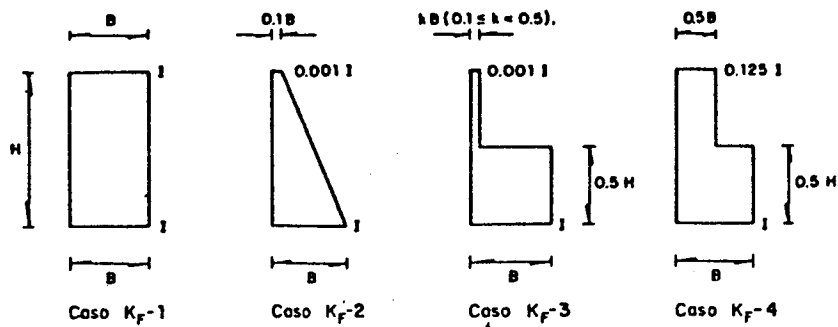
TABLA 13. COMPARACION DE CORTANTES DE ENTREPISO, EN TONELADAS, PARA DIFERENTES VALORES DEL  
PARAMETRO  $\lambda$ . MODELO ( $K_F=3, M_F=3$ ), CON  $H/B=3.6$ , EN TERRENO FIRME Y  $Q=6$

ENTREPISO	$V_d$	$V_r$	$\lambda$								$V_{dr}$ Modificado
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75	0.80	0.90**	1.0	
30	1.75774	1.43700	5.19756	4.77937	3.98971	3.27573	2.94613	2.75997	2.41122	2.07403	1.43700
29	1.63151	1.38047	4.84991	4.44911	3.71811	3.07778	2.79531	2.62258	2.29550	1.98045	1.38047
28	1.50438	1.32945	4.51991	4.12911	3.45811	2.85811	2.60811	2.45811	2.15811	1.86811	1.32945
27	1.43725	1.28041	4.20004	3.81004	3.20004	2.60004	2.35004	2.20004	1.90004	1.65004	1.28041
26	1.37012	1.23133	3.88017	3.49017	2.88017	2.38017	2.13017	1.98017	1.68017	1.43017	1.23133
25	1.30300	1.18020	3.56030	3.17030	2.56030	2.06030	1.81030	1.66030	1.36030	1.11030	1.18020
24	1.23587	1.12900	3.24043	2.85043	2.24043	1.74043	1.49043	1.34043	1.04043	0.79043	1.12900
23	1.16875	1.07513	2.92056	2.53056	1.92056	1.42056	1.17056	1.02056	0.72056	0.47056	1.07513
22	1.10162	1.02200	2.60069	2.21069	1.60069	1.10069	0.85069	0.70069	0.40069	0.15069	1.02200
21	1.03450	0.96087	2.28082	1.89082	1.28082	0.78082	0.53082	0.38082	0.08082	-0.17082	0.96087
20	0.96737	0.89775	1.96095	1.57095	0.96095	0.46095	0.21095	0.06095	-0.24095	-0.49095	0.89775
19	0.90025	0.83462	1.64108	1.25108	0.64108	0.14108	-0.11082	-0.36082	-0.61082	-0.86082	0.83462
18	0.83312	0.77050	1.32121	0.93121	0.32121	-0.18121	-0.43121	-0.68121	-0.93121	-1.18121	0.77050
17	0.76600	0.70637	1.00134	0.61134	0.00134	-0.46134	-0.71134	-0.96134	-1.21134	-1.46134	0.70637
16	0.69887	0.64225	0.68147	0.29147	-0.32147	-0.77147	-1.02147	-1.27147	-1.52147	-1.77147	0.64225
15	0.63175	0.57812	0.36160	-0.04160	-0.63160	-0.98160	-1.23160	-1.48160	-1.73160	-1.98160	0.57812
14	0.56462	0.51400	0.04173	-0.36173	-0.71173	-1.06173	-1.31173	-1.56173	-1.81173	-2.06173	0.51400
13	0.49750	0.45087	-0.36186	-0.71186	-1.06186	-1.31186	-1.56186	-1.81186	-2.06186	-2.31186	0.45087
12	0.43037	0.38675	-0.68199	-1.03199	-1.38199	-1.63199	-1.88199	-2.13199	-2.38199	-2.63199	0.38675
11	0.36325	0.32262	-0.99212	-1.34212	-1.69212	-1.94212	-2.19212	-2.44212	-2.69212	-2.94212	0.32262
10	0.29612	0.25850	-1.30225	-1.65225	-1.99225	-2.24225	-2.49225	-2.74225	-2.99225	-3.24225	0.25850
9	0.22900	0.19437	-1.61238	-1.96238	-2.30238	-2.55238	-2.80238	-3.05238	-3.30238	-3.55238	0.19437
8	0.16187	0.12925	-1.92251	-2.27251	-2.60251	-2.85251	-3.10251	-3.35251	-3.60251	-3.85251	0.12925
7	0.09475	0.06412	-2.23264	-2.58264	-2.90264	-3.15264	-3.40264	-3.65264	-3.90264	-4.15264	0.06412
6	0.02762	0.00000	-2.54277	-2.89277	-3.20277	-3.45277	-3.70277	-3.95277	-4.20277	-4.45277	0.00000
5	-0.03950	-0.06987	-2.85290	-3.20290	-3.50290	-3.75290	-4.00290	-4.25290	-4.50290	-4.75290	-0.06987
4	-0.10662	-0.13800	-3.16303	-3.51303	-3.80303	-4.05303	-4.30303	-4.55303	-4.80303	-5.05303	-0.13800
3	-0.17375	-0.20712	-3.47316	-3.82316	-4.10316	-4.35316	-4.60316	-4.85316	-5.10316	-5.35316	-0.20712
2	-0.24087	-0.27625	-3.78329	-4.13329	-4.40329	-4.65329	-4.90329	-5.15329	-5.40329	-5.65329	-0.27625
1	-0.30800	-0.34537	-4.09342	-4.44342	-4.70342	-4.95342	-5.20342	-5.45342	-5.70342	-5.95342	-0.34537

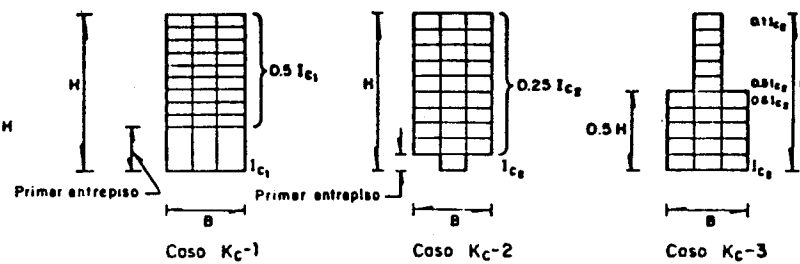
\*\* Valor seleccionado

TABLA 14. COMPARACION DE LA RESPUESTA PARA EL MODELO ( $K_c=2, M_c=3$ ), CON  $H/B=4$ ,  
 $Q=1$ , EN TERRENO FIRME

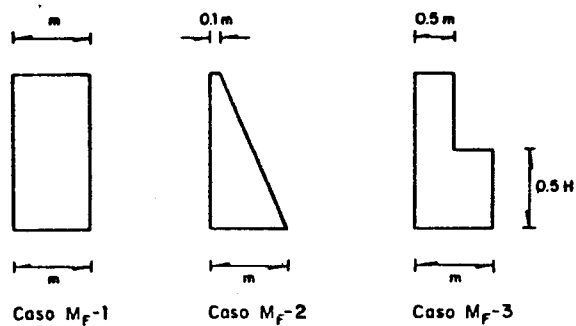
ENTREPISO	CORTANTE, ton			MOMENTO, ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO) <sup>®</sup>				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
							POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
	$V_r$	$V_d$	$V_{er}$	$M_r$	$M_d$	$M_{er}$	V	M	V	M	V	M
1	12.0133	14.2234	35.2064	36.0444	43.4032	105.418	-17.323	-17.323	-1.948	-0.143	142.223	142.223
2	23.5253	24.7849	68.631	106.6182	117.303	311.232	-8.025	-8.025	-0.273	-0.205	177.177	165.409
3	24.5253	24.7849	100.337	106.6182	117.303	311.232	-8.025	-8.025	-0.273	-0.205	177.177	165.409
4	44.451	43.049	130.261	344.988	317.916	1005.365	18.144	8.516	0.514	0.514	242.322	215.607
5	44.451	43.049	130.261	344.988	317.916	1005.365	18.144	8.516	0.514	0.514	242.322	215.607
6	64.451	63.049	184.350	701.331	573.403	2043.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
7	64.451	63.049	184.350	701.331	573.403	2043.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
8	84.451	83.049	252.481	903.474	719.557	2641.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
9	84.451	83.049	252.481	903.474	719.557	2641.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
10	104.451	103.049	320.612	1115.615	921.710	3239.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
11	104.451	103.049	320.612	1115.615	921.710	3239.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
12	124.451	123.049	388.743	1327.756	1123.861	3837.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
13	124.451	123.049	388.743	1327.756	1123.861	3837.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
14	144.451	143.049	456.874	1539.897	1332.002	4435.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
15	144.451	143.049	456.874	1539.897	1332.002	4435.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
16	164.451	163.049	525.005	1752.038	1544.143	5033.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
17	164.451	163.049	525.005	1752.038	1544.143	5033.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
18	184.451	183.049	593.136	1964.179	1756.284	5631.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
19	184.451	183.049	593.136	1964.179	1756.284	5631.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
20	204.451	203.049	661.267	2176.320	1968.425	6229.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
21	204.451	203.049	661.267	2176.320	1968.425	6229.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
22	224.451	223.049	729.398	2388.461	2180.566	6827.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
23	224.451	223.049	729.398	2388.461	2180.566	6827.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
24	244.451	243.049	797.529	2600.602	2392.707	7425.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
25	244.451	243.049	797.529	2600.602	2392.707	7425.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
26	264.451	263.049	865.660	2812.743	2604.848	8023.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
27	264.451	263.049	865.660	2812.743	2604.848	8023.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
28	284.451	283.049	933.791	3024.884	2816.989	8621.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
29	284.451	283.049	933.791	3024.884	2816.989	8621.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
30	304.451	303.049	1001.922	3237.025	3029.130	9219.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
31	304.451	303.049	1001.922	3237.025	3029.130	9219.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
32	324.451	323.049	1070.053	3449.166	3241.271	9817.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
33	324.451	323.049	1070.053	3449.166	3241.271	9817.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
34	344.451	343.049	1138.184	3661.307	3453.412	10415.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
35	344.451	343.049	1138.184	3661.307	3453.412	10415.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
36	364.451	363.049	1206.315	3873.448	3665.553	11013.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
37	364.451	363.049	1206.315	3873.448	3665.553	11013.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
38	384.451	383.049	1274.446	4085.589	3877.694	11611.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
39	384.451	383.049	1274.446	4085.589	3877.694	11611.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
40	404.451	403.049	1342.577	4297.730	4089.835	12209.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
41	404.451	403.049	1342.577	4297.730	4089.835	12209.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
42	424.451	423.049	1410.708	4509.871	4301.976	12807.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
43	424.451	423.049	1410.708	4509.871	4301.976	12807.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
44	444.451	443.049	1478.839	4722.012	4514.117	13405.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
45	444.451	443.049	1478.839	4722.012	4514.117	13405.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
46	464.451	463.049	1546.970	4934.153	4726.258	14003.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
47	464.451	463.049	1546.970	4934.153	4726.258	14003.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
48	484.451	483.049	1615.101	5146.294	4938.400	14601.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
49	484.451	483.049	1615.101	5146.294	4938.400	14601.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
50	504.451	503.049	1683.232	5358.435	5150.541	15199.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
51	504.451	503.049	1683.232	5358.435	5150.541	15199.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
52	524.451	523.049	1751.363	5570.576	5362.682	15797.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
53	524.451	523.049	1751.363	5570.576	5362.682	15797.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
54	544.451	543.049	1819.494	5782.717	5574.823	16395.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
55	544.451	543.049	1819.494	5782.717	5574.823	16395.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
56	564.451	563.049	1887.625	5994.858	5786.964	16993.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
57	564.451	563.049	1887.625	5994.858	5786.964	16993.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
58	584.451	583.049	1955.756	6207.000	5999.105	17591.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
59	584.451	583.049	1955.756	6207.000	5999.105	17591.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
60	604.451	603.049	2023.887	6419.141	6211.246	18189.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
61	604.451	603.049	2023.887	6419.141	6211.246	18189.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
62	624.451	623.049	2092.018	6631.282	6423.387	18787.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
63	624.451	623.049	2092.018	6631.282	6423.387	18787.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
64	644.451	643.049	2160.149	6843.423	6635.528	19385.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
65	644.451	643.049	2160.149	6843.423	6635.528	19385.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
66	664.451	663.049	2228.280	7055.564	6847.669	19983.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
67	664.451	663.049	2228.280	7055.564	6847.669	19983.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
68	684.451	683.049	2296.411	7267.705	7059.810	20581.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
69	684.451	683.049	2296.411	7267.705	7059.810	20581.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
70	704.451	703.049	2364.542	7479.846	7271.951	21179.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
71	704.451	703.049	2364.542	7479.846	7271.951	21179.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
72	724.451	723.049	2432.673	7691.987	7484.092	21777.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
73	724.451	723.049	2432.673	7691.987	7484.092	21777.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
74	744.451	743.049	2500.804	7904.128	7696.233	22375.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
75	744.451	743.049	2500.804	7904.128	7696.233	22375.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
76	764.451	763.049	2568.935	8116.269	7908.374	22973.133	32.084	15.307	1.755	2.430	280.600	244.510
77	764.451	76										



a) Rigideces, con  $I=12.5 \text{ m}^4$

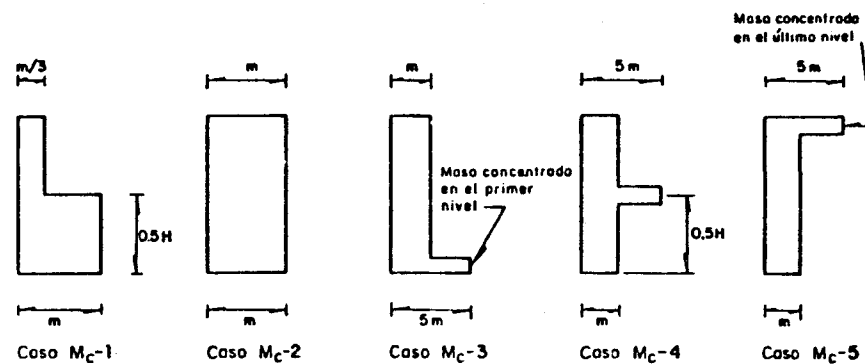


a) Rigideces con  $I_{c1}=0.02 \text{ m}^4$ ,  $I_{c2}=0.034 \text{ m}^4$



b) Masas, con  $m=10 \text{ T} \cdot \text{seg}^2/\text{m}$

Para  $H/B = 1.2$ ,  $n = 10$   
 Para  $H/B = 3.6$ ,  $n = 30$   
 $n = \text{número de pisos}$

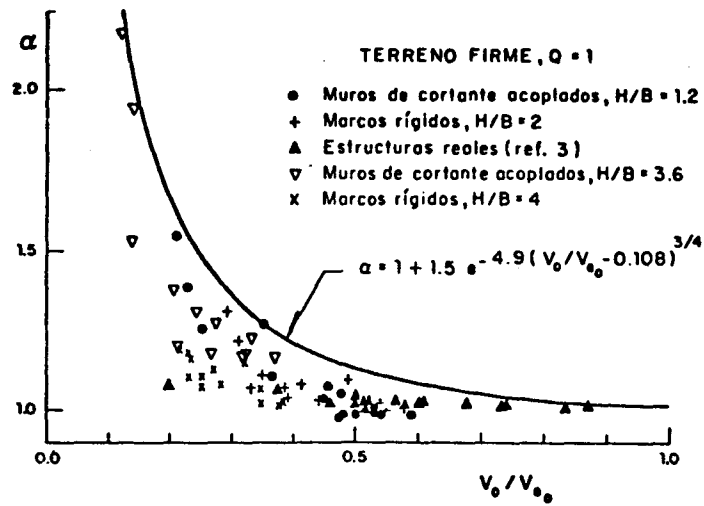
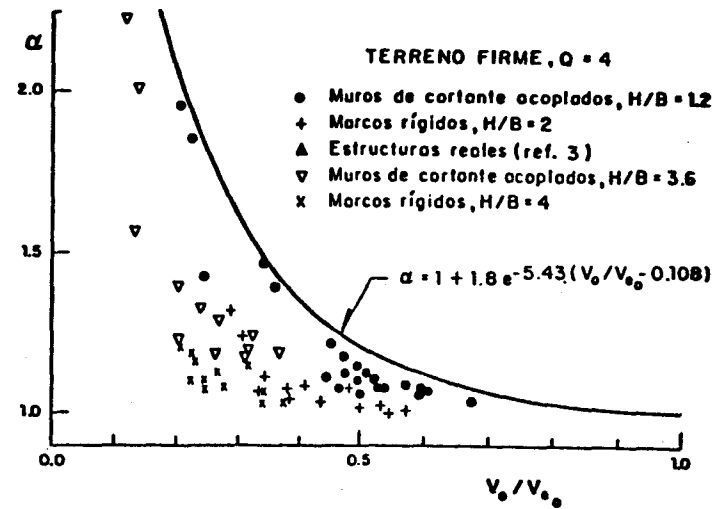
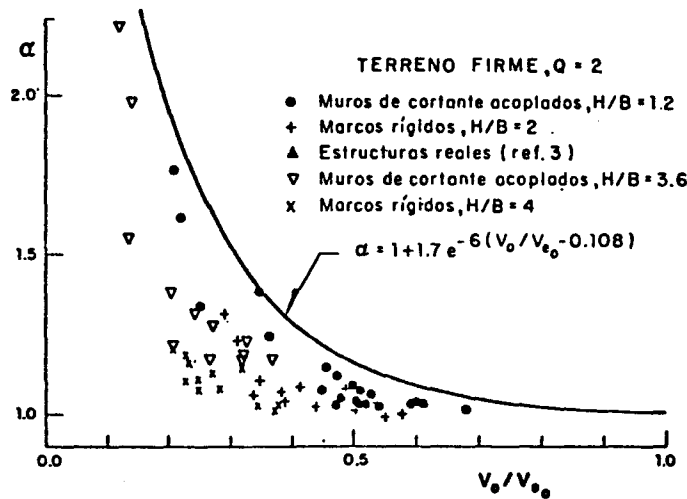
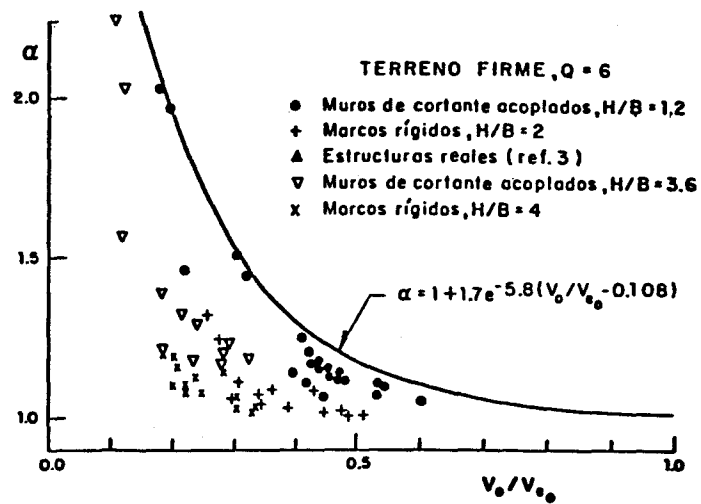


b) Masas, con  $m=10.0 \text{ T} \cdot \text{seg}^2/\text{m}$

Para  $H/B = 2$ ,  $n = 10$   
 Para  $H/B = 4$ ,  $n = 20$   
 $n = \text{número de pisos}$

Fig 1 Variación de parámetros en los modelos de muros de cortante acoplados

Fig 2 Variación de parámetros en los modelos de marcos

Fig 3 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D.F.Fig 5 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D.F.Fig 4 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D.F.Fig 6 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D.F.

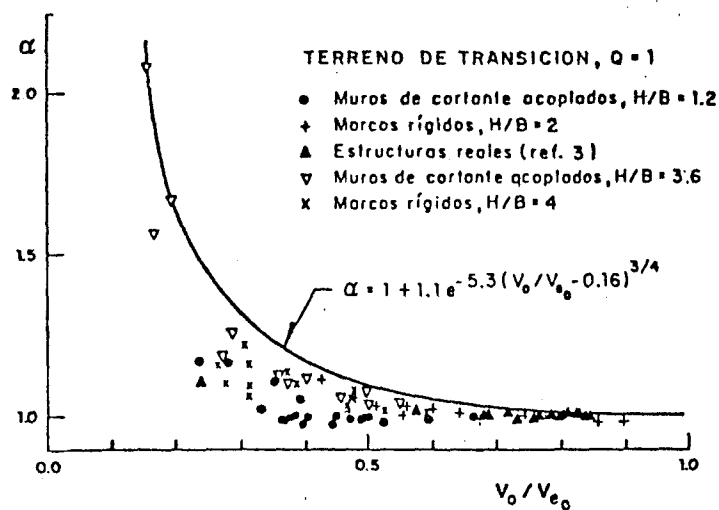


Fig 7 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

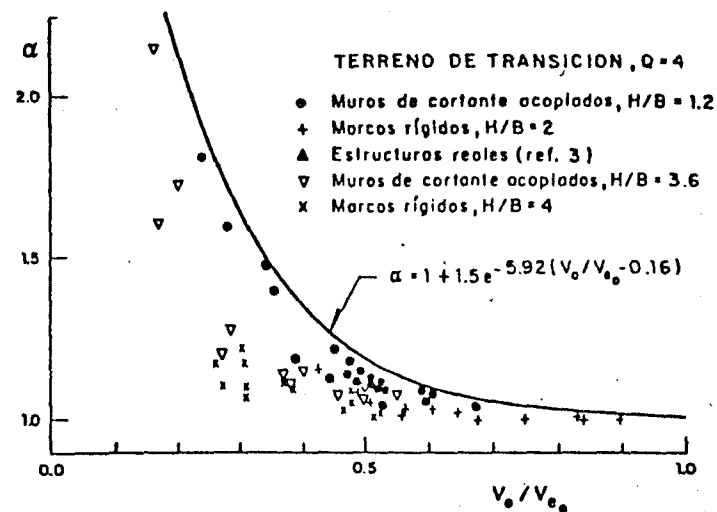


Fig 9 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

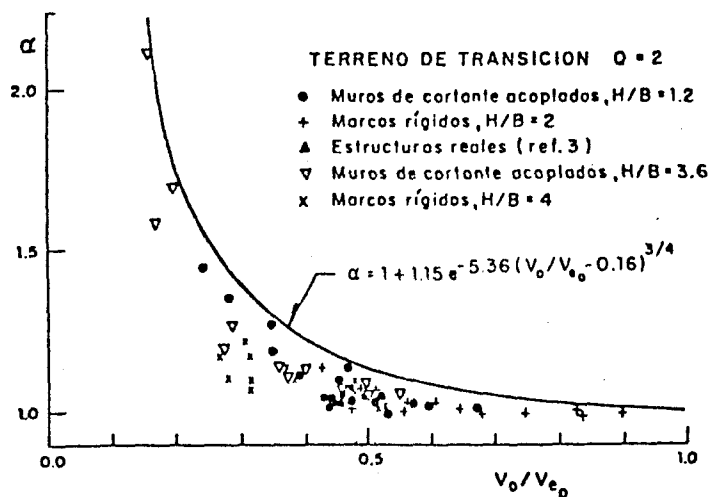


Fig 8 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

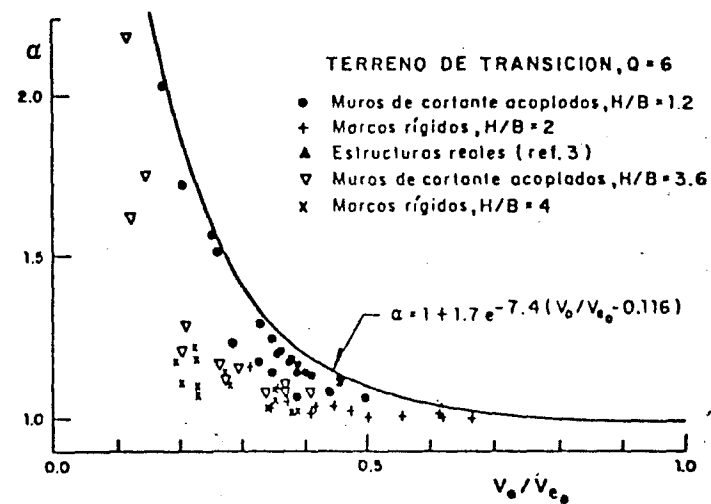
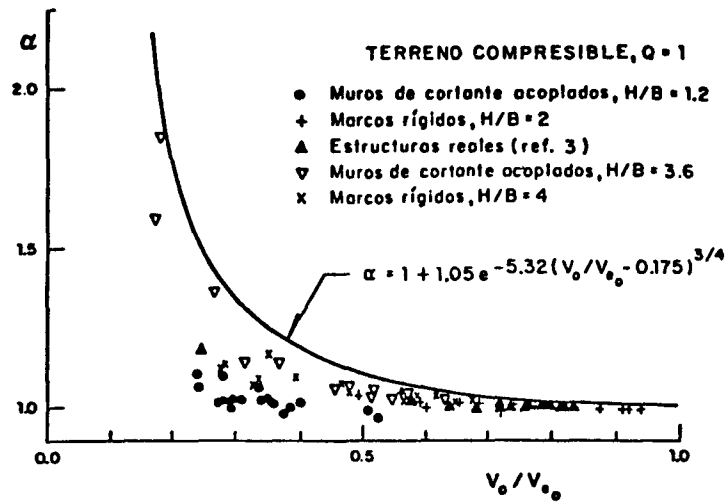
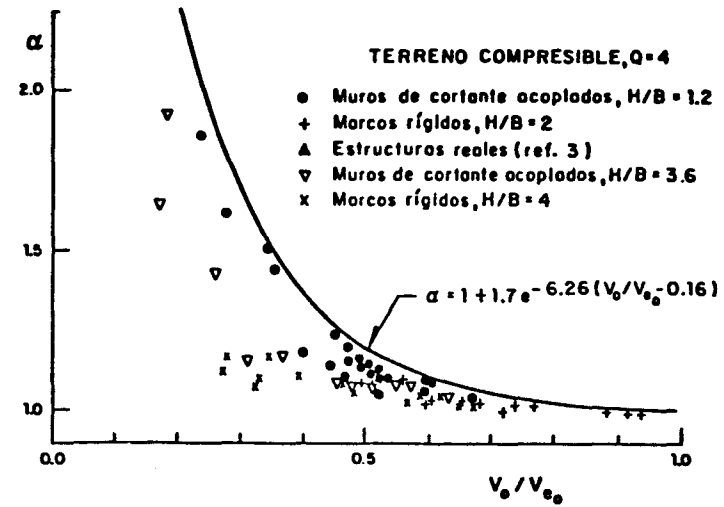
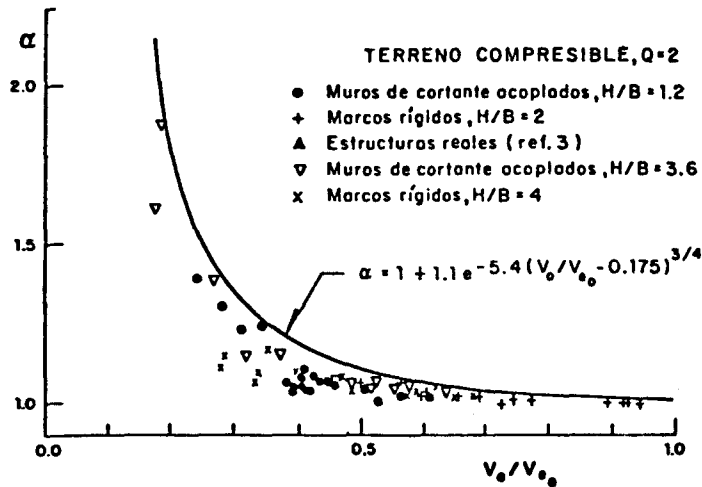
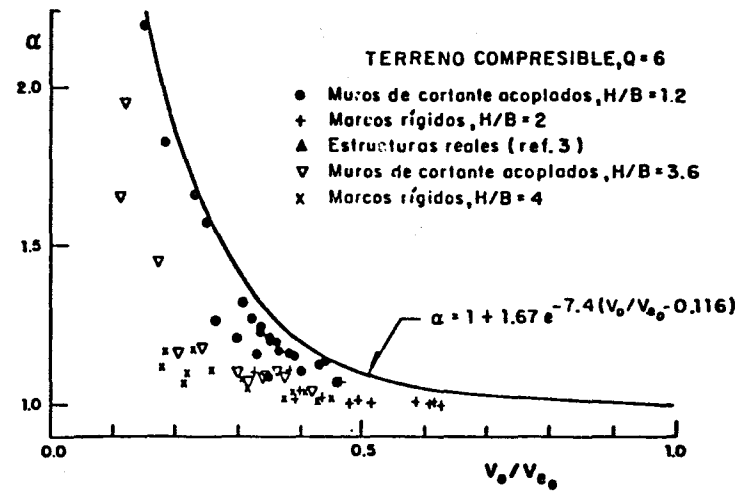


Fig 10 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

Fig 11 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.Fig 13 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.Fig 12 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.Fig 14 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.

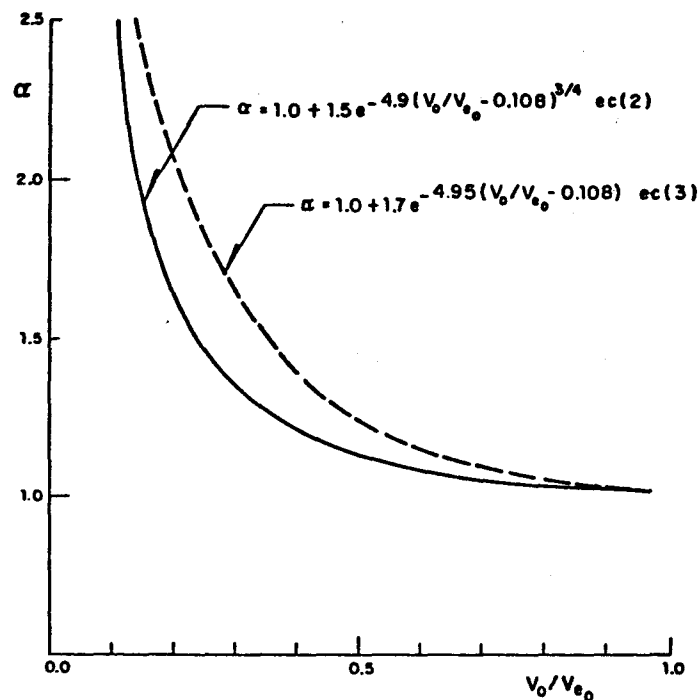


Fig 15 Envolventes de diseño para factor correctivo  $\alpha$

Espectro de diseño para terreno compresible del D.F. con  $Q=1$

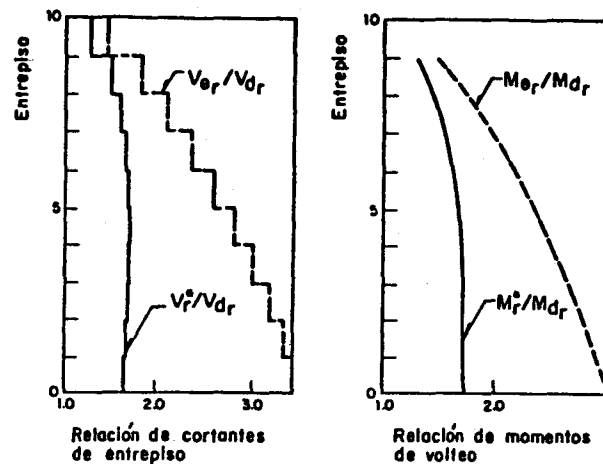


Fig 16 Comparación de resultados para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con espectro de terreno compresible, factor de ductilidad de  $Q=1$  y relación de aspecto  $H/B=1.2$

Espectro de diseño para terreno compresible del D.F. con  $Q=6$

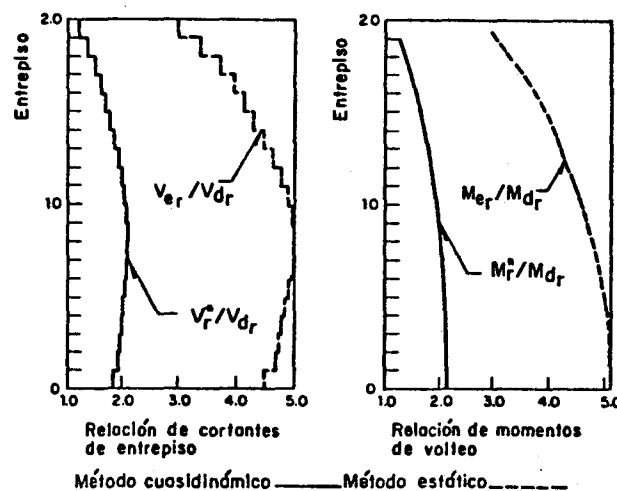


Fig 17 Comparación de resultados para el modelo ( $K_C-2$ ,  $M_C-3$ ), con espectro de terreno compresible, factor de ductilidad de  $Q=6$  y relación de aspecto  $H/B=4$



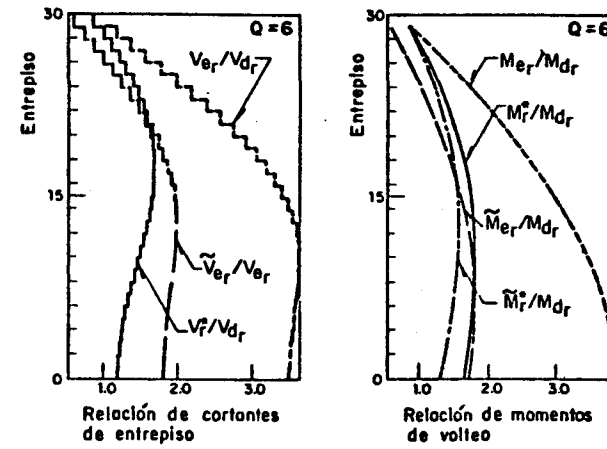
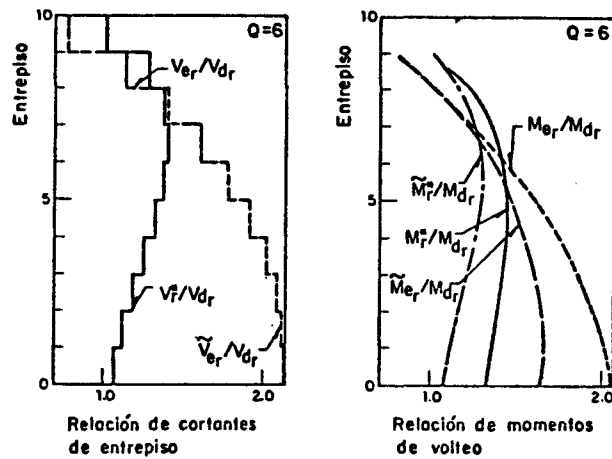
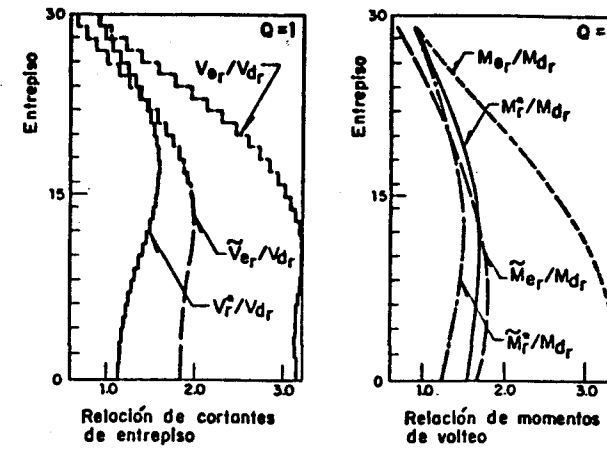
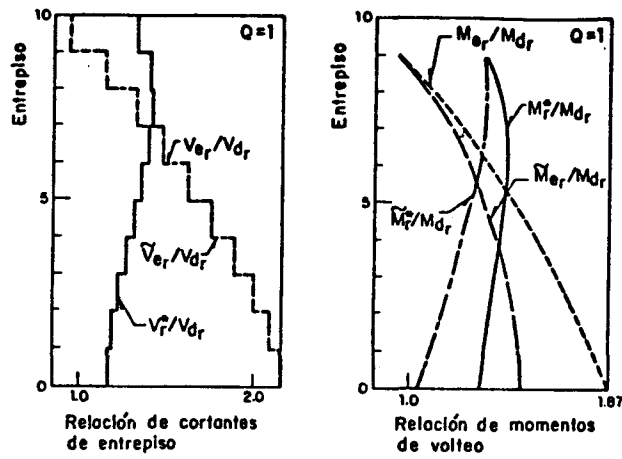


Fig 18 Comparaciones para el modelo ( $K_F=2$ ,  $M_F=2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno firme

Fig 19 Comparaciones para el modelo ( $K_F=2$ ,  $M_F=2$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno firme

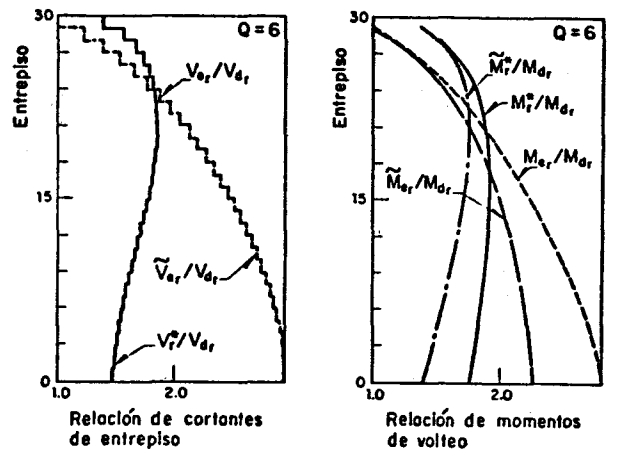
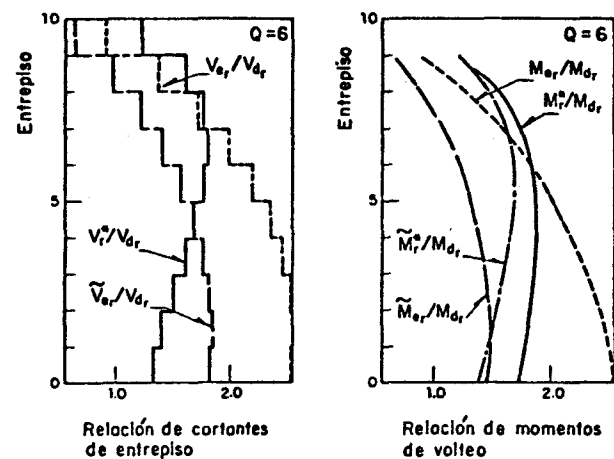
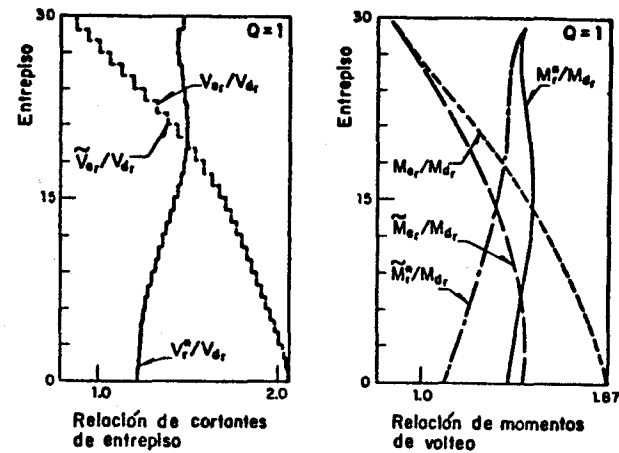
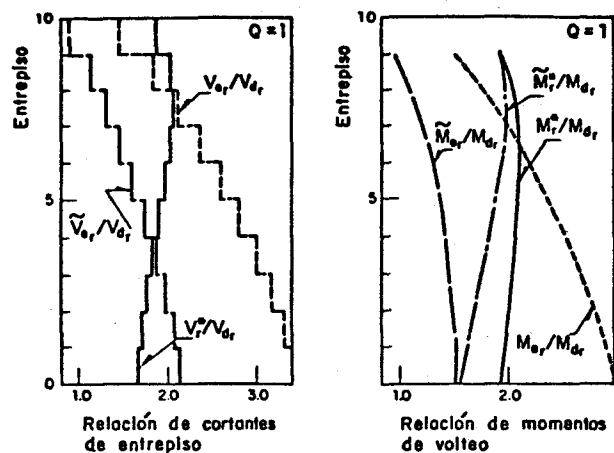


Fig 20 Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

Fig 21 Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno compresible

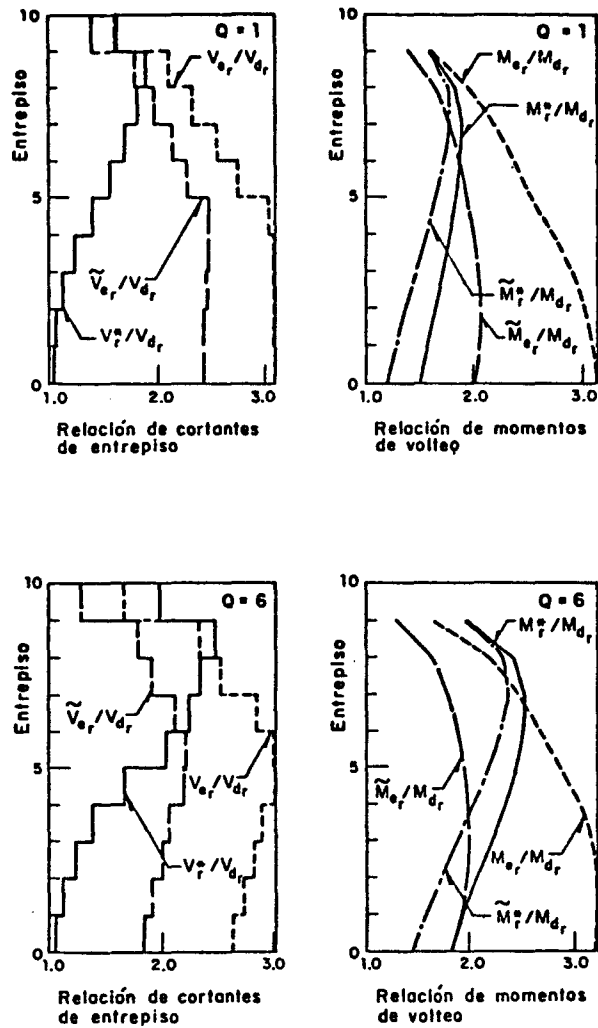


Fig 22 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno firme

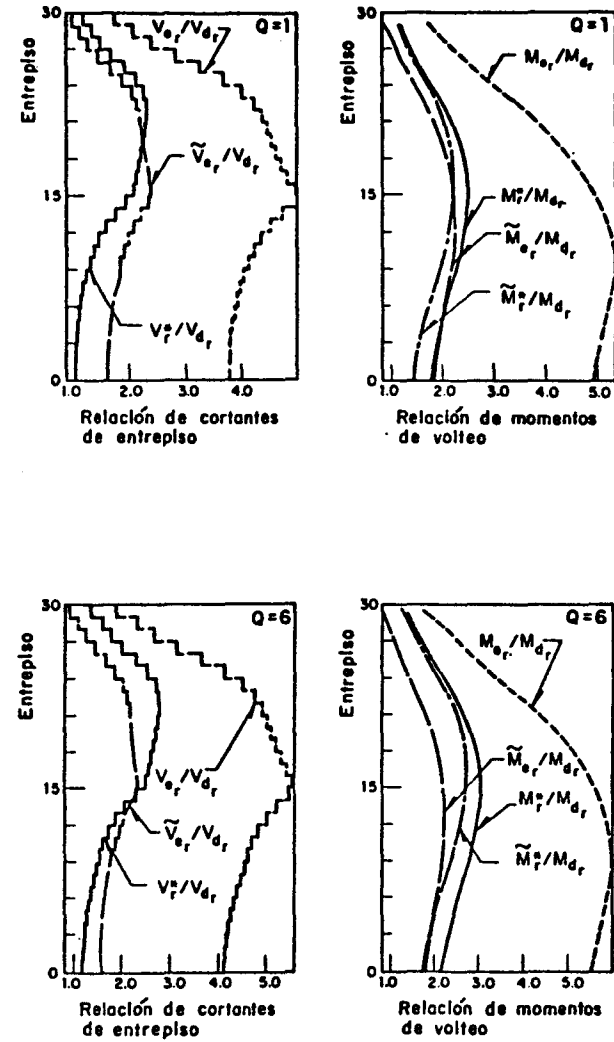


Fig 23 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno firme

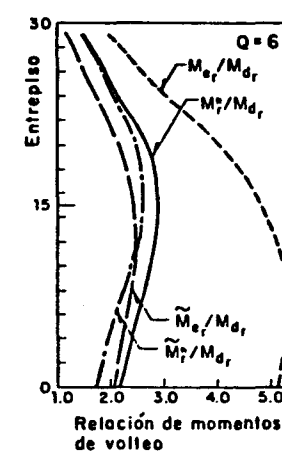
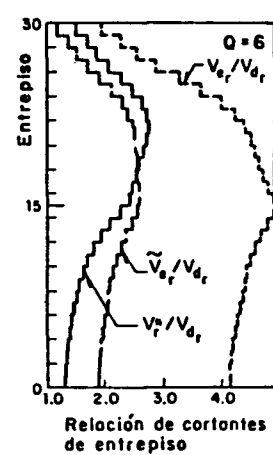
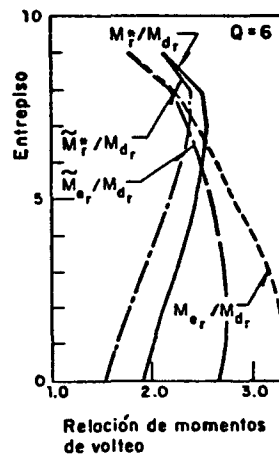
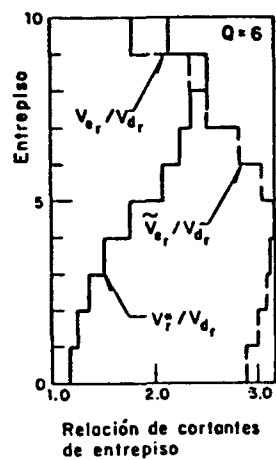
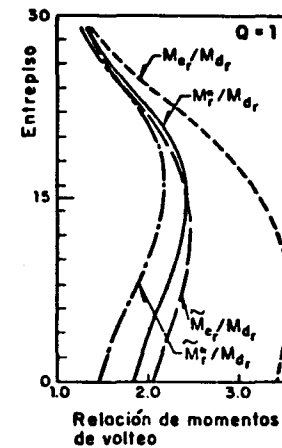
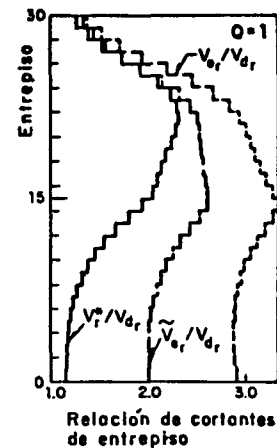
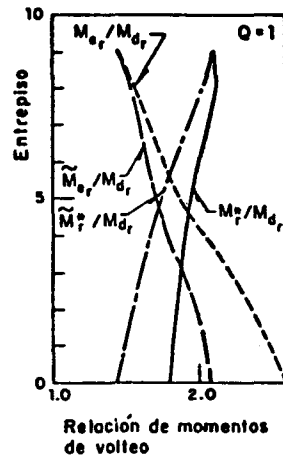
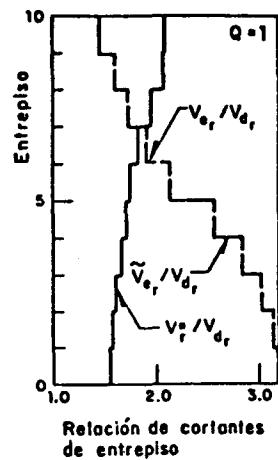


Fig 24 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

Fig 25 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno compresible

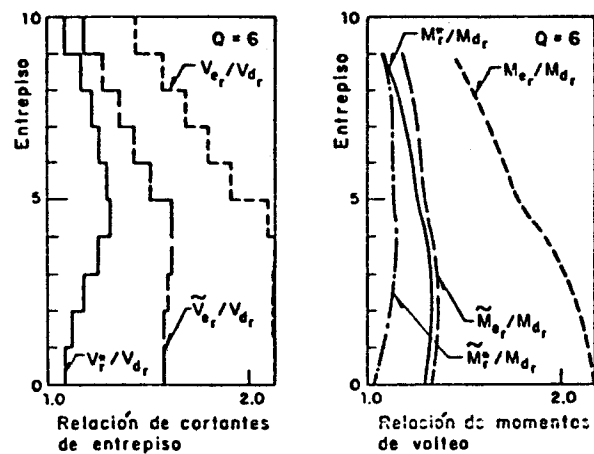
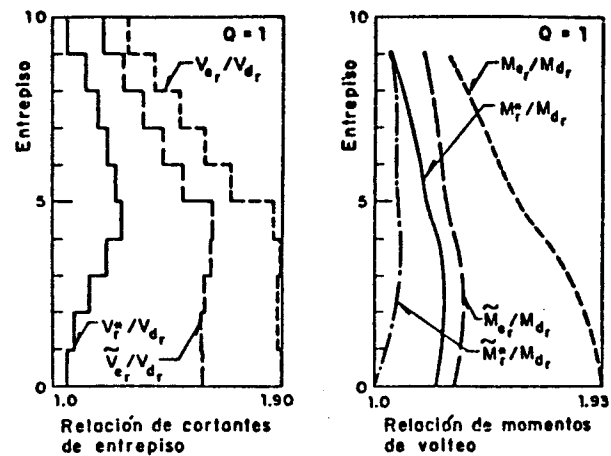


Fig 26 Comparaciones para el modelo  $(K_C-3, M_C-1)$  con relación de aspecto  $H/B = 2$  en terreno firme

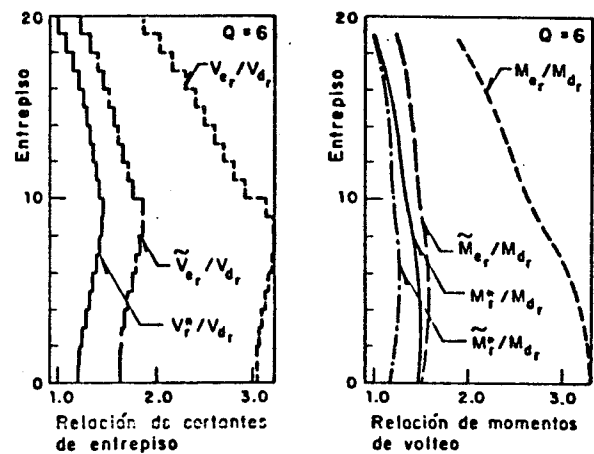
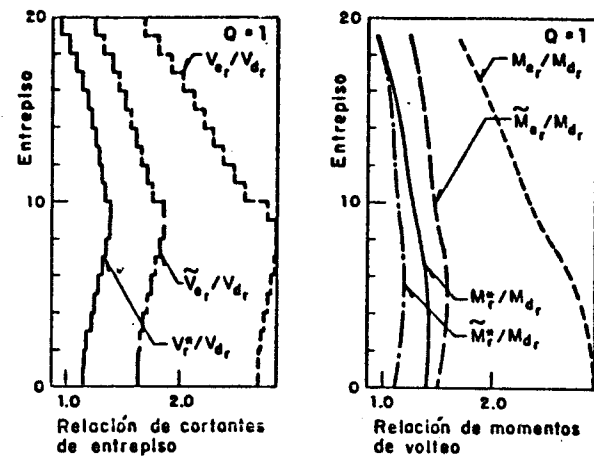


Fig 27 Comparaciones para el modelo  $(K_C-3, M_C-1)$  con relación de aspecto  $H/B = 1$  en terreno firme

