

## 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:

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

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 ( $V_{d1r}$ ). 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 cuasid $\bar{u}$ námicas 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  $K_F - 3$ :

$$\alpha = 1 + 1.7 \exp \{-4.95(V_0/V_{e_0} - 0.108)\} \quad (3)$$

### 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 cuasi dinámicas

En investigaciones recientes realizadas por los autores (refs 4 y 5), las fuerzas sísmicas cuasidinámicas 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 cuasidinámico 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 cuasidinámico 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 cuasidinámico.

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 cuasidinámico 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  $Q = 4$ , desplantado 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

$$A_i = \left(1 - \frac{x_{i-1}}{x_i} \frac{h_{i-1}}{H}\right)^\lambda - \left(1 - \frac{x_{i-1}}{x_i} \frac{h_i}{H}\right)^\lambda \quad (5)$$

donde

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 entresijos 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 entresijo 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 entresijo 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  $V_0/V_{e_0}$  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

$$\beta_3 = 0.108 \leq V_0/V_{e_0} \leq 1.0$$

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:

- a. Casi siempre da resultados bastante mejores que el estático.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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 entresijos superiores, tal como sucedió en el modelo ( $K_F - 2, M_F - 2$ ).
- e. 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	$V_{e_0}$	cortante sísmica estática basal
$A_i$	coeficientes para distribución de aceleraciones	$V_{e_r}$	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 $i$
$M_{d_0}$	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
$M_{d_r}$	momento sísmico de volteo dinámico, en el nivel $r$ , calculado considerando todos los modos de vibrar	$c$	coeficiente sísmico
$M_{e_r}$	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
$V_{d_0}$	cortante sísmica dinámica basal, calculada considerando todos los modos de vibrar	$x_i$	desplazamiento de la masa $i$ causado por la fuerza $P_i$
$V_{d_r}$	cortante sísmica dinámica en el entrepiso $r$ , calculada considerando todos los modos de vibrar	$\ddot{x}_i$	aceleración de la masa $i$ (excitación dinámica)
$V_{d1_0}$	igual que $V_{d_0}$ 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	
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL DE COMPARACIONES</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>

**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	
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>		<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	
<b>TOTAL DE COMPARACIONES</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>

**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	
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>18</b>		<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	
<b>TOTAL DE COMPARACIONES</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>	<b>260</b>

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)Ⓢ				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
	$V_r^d$	$V_r^e$	$V_r^f$	$M_r^d$	$M_r^e$	$M_r^f$	POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
							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	2.831	2.267	5.654	10.445	10.222	-40.633	-43.356	-3.921	-0.327	3.729	-2.039
18	2.267	5.214	3.746	12.418	19.720	22.071	-27.826	-26.044	-4.052	-0.522	22.798	11.523
17	3.746	8.072	5.761	22.453	31.348	35.384	-19.486	-24.379	-3.257	-0.453	41.443	24.541
16	5.761	12.418	8.790	35.384	45.075	50.724	-9.478	-24.324	-1.977	-0.491	60.015	32.154
15	8.790	18.011	12.401	50.724	60.720	68.755	-0.153	-13.580	-0.054	-0.405	78.301	52.753
14	12.401	26.117	18.011	68.755	78.126	89.929	0.244	-6.461	2.316	-0.370	96.203	66.345
13	18.011	38.223	26.117	89.929	97.167	114.747	16.754	0.430	4.493	0.031	113.424	79.673
12	26.117	54.330	38.223	114.747	117.745	137.643	33.048	7.031	7.742	0.209	130.156	93.306
11	38.223	74.437	54.330	137.643	133.795	158.722	30.256	13.353	10.425	0.304	145.705	106.553
10	54.330	100.544	74.437	158.722	143.000	180.800	35.533	19.304	13.426	1.310	160.047	119.540
9	74.437	132.651	100.544	180.800	158.190	204.933	39.652	24.644	16.071	3.480	172.962	132.179
8	100.544	170.758	132.651	204.933	174.524	231.067	41.824	29.940	18.473	4.712	184.327	144.377
7	132.651	214.865	170.758	231.067	190.914	259.190	45.844	35.232	20.571	6.143	193.944	156.041
6	170.758	264.972	214.865	259.190	210.300	289.323	48.864	40.524	22.679	7.704	201.939	167.084
5	214.865	321.079	264.972	289.323	231.686	321.456	45.134	45.802	23.540	9.373	203.250	177.427
4	264.972	383.186	321.079	321.456	254.072	355.589	44.190	45.710	24.443	11.125	212.902	187.003
3	321.079	451.293	383.186	355.589	278.458	391.722	42.447	47.669	24.827	12.254	216.341	195.760
2	383.186	525.400	451.293	391.722	304.844	429.855	40.167	49.589	24.670	14.779	218.341	203.545
1	451.293	605.507	525.400	429.855	333.230	469.988	38.174	50.991	24.403	16.783	219.304	210.504
	525.400	691.614	605.507	469.988	363.616	511.121	34.417	51.406	23.550	18.440	219.399	216.569
	605.507	783.721	691.614	511.121	395.002	558.254	31.247	52.373	22.396	20.232	218.620	222.192
	691.614	881.828	783.721	558.254	428.388	611.387	28.074	53.178	20.926	22.145	217.799	228.043
	783.721	985.935	881.828	611.387	463.774	670.520	25.002	53.602	19.405	24.144	216.501	233.042
	881.828	1096.042	985.935	670.520	501.160	735.653	22.025	53.602	17.743	26.143	215.114	237.523
	985.935	1212.149	1096.042	735.653	540.546	806.786	19.142	53.303	16.119	28.142	213.727	241.503
	1096.042	1334.256	1212.149	806.786	581.932	883.919	16.266	52.931	14.624	30.141	212.340	245.014
	1212.149	1462.363	1334.256	883.919	625.318	967.052	13.390	52.477	13.171	32.140	211.338	248.024
	1334.256	1596.470	1462.363	967.052	670.704	1056.185	10.514	51.932	11.701	34.139	210.190	250.725
	1462.363	1736.577	1596.470	1056.185	718.090	1151.318	7.638	51.297	10.230	36.138	208.792	253.026
	1596.470	1882.684	1736.577	1151.318	767.476	1253.451	4.762	50.572	8.759	38.137	207.191	254.927
	1736.577	2034.791	1882.684	1253.451	817.862	1362.584	1.886	49.757	7.288	40.136	205.390	256.428
	1882.684	2192.898	2034.791	1362.584	869.248	1478.717	-1.090	48.852	5.817	42.135	203.390	257.529
	2034.791	2357.005	2192.898	1478.717	921.634	1601.850	-3.166	47.857	4.346	44.134	201.190	258.230
	2192.898	2527.112	2357.005	1601.850	974.020	1731.983	-5.242	46.772	2.875	46.133	198.790	258.531
	2357.005	2703.219	2527.112	1731.983	1026.406	1869.116	-7.318	45.607	1.404	48.132	196.190	258.432
	2527.112	2885.326	2703.219	1869.116	1083.792	2013.249	-9.394	44.372	-0.067	50.131	193.390	258.033
	2703.219	3073.433	2885.326	2013.249	1143.178	2164.382	-11.470	43.077	-1.598	52.130	190.390	257.334
	2885.326	3267.540	3073.433	2164.382	1204.564	2322.515	-13.546	41.732	-3.127	54.129	187.190	256.335
	3073.433	3467.647	3267.540	2322.515	1267.950	2487.648	-15.622	40.347	-4.656	56.128	183.790	255.036
	3267.540	3673.754	3467.647	2487.648	1333.336	2659.781	-17.700	38.922	-6.185	58.127	180.190	253.437
	3467.647	3885.861	3673.754	2659.781	1400.722	2838.914	-19.776	37.457	-7.714	60.126	176.390	251.538
	3673.754	4103.968	3885.861	2838.914	1470.108	3025.047	-21.852	35.962	-9.243	62.125	172.390	249.439
	3885.861	4328.075	4103.968	3025.047	1541.494	3218.180	-23.928	34.437	-10.772	64.124	168.190	247.140
	4103.968	4558.182	4328.075	3218.180	1614.880	3418.313	-26.004	32.882	-12.301	66.123	163.790	244.641
	4328.075	4794.289	4558.182	3418.313	1690.266	3625.446	-28.080	31.297	-13.830	68.122	159.190	241.942
	4558.182	5036.396	4794.289	3625.446	1767.652	3839.579	-30.156	29.682	-15.359	70.121	154.390	239.043
	4794.289	5284.503	5036.396	3839.579	1847.038	4060.712	-32.232	28.037	-16.888	72.120	149.390	235.944
	5036.396	5538.610	5284.503	4060.712	1928.424	4288.845	-34.308	26.362	-18.417	74.119	144.190	232.645
	5284.503	5798.717	5538.610	4288.845	2011.810	4523.978	-36.384	24.667	-19.946	76.118	138.790	229.146
	5538.610	6064.824	5798.717	4523.978	2097.196	4765.111	-38.460	22.952	-21.475	78.117	133.190	225.547
	5798.717	6336.931	6064.824	4765.111	2184.582	5012.244	-40.536	21.227	-23.004	80.116	127.390	221.748
	6064.824	6614.038	6336.931	5012.244	2273.968	5265.377	-42.612	19.492	-24.533	82.115	121.390	217.749
	6336.931	6896.145	6614.038	5265.377	2365.354	5524.510	-44.688	17.747	-26.062	84.114	115.190	213.550
	6614.038	7183.252	6896.145	5524.510	2458.740	5789.643	-46.764	15.992	-27.591	86.113	108.790	209.051
	6896.145	7475.359	7183.252	5789.643	2554.126	6060.776	-48.840	14.227	-29.120	88.112	102.190	204.352
	7183.252	7772.466	7475.359	6060.776	2651.512	6337.909	-50.916	12.462	-30.649	90.111	95.390	198.653
	7475.359	8074.573	7772.466	6337.909	2750.898	6620.042	-52.992	10.697	-32.178	92.110	88.590	192.954
	7772.466	8381.680	8074.573	6620.042	2852.284	6907.175	-55.068	8.932	-33.707	94.109	81.790	187.255
	8074.573	8693.787	8381.680	6907.175	2955.670	7200.308	-57.144	7.167	-35.236	96.108	74.990	181.556
	8381.680	9010.894	8693.787	7200.308	3061.056	7500.441	-59.220	5.402	-36.765	98.107	68.190	175.857
	8693.787	9333.001	9010.894	7500.441	3168.442	7807.574	-61.296	3.637	-38.294	100.106	61.390	170.158
	9010.894	9660.108	9333.001	7807.574	3277.828	8121.707	-63.372	1.872	-39.823	102.105	54.590	164.459
	9333.001	10002.215	9660.108	8121.707	3389.214	8442.840	-65.448	0.107	-41.352	104.104	47.790	158.760
	9660.108	10359.322	10002.215	8442.840	3502.600	8770.973	-67.524	-1.658	-42.881	106.103	40.990	153.061
	10002.215	10731.429	10359.322	8770.973	3618.086	9106.106	-69.600	-3.423	-44.410	108.102	34.190	147.362
	10359.322	11118.536	10731.429	9106.106	3735.472	9458.239	-71.676	-5.188	-45.939	110.101	27.390	141.663
	10731.429	11520.643	11118.536	9458.239	3854.858	9827.372	-73.752	-6.953	-47.468	112.100	20.590	135.964
	11118.536	11937.750	11520.643	9827.372	3976.244	10213.505	-75.828	-8.718	-48.997	114.100	13.790	130.265
	11520.643	12369.857	11937.750	10213.505	4109.630	10616.638	-77.904	-10.483	-50.526	116.100	6.990	124.566
	11937.750	12816.964	12369.857	10616.638	4255.016	11036.771	-80.000	-12.248	-52.055	118.100	0.190	118.867
	12369.857	13279.071	12816.964	11036.771	4403.402	11473.904	-82.106	-14.013	-53.584	120.100	-6.610	113.168
	12816.964	13756.178	13279.071	11473.904	4554.788	11928.037	-84.212	-15.778	-55.113	122.100	-13.410	107.469
	13279.071	14248.285	13756.178	11928.037	4709.174	12398.170	-86.318	-17.543	-56.642	124.100	-20.210	101.770
	13756.178	14755.392	14248.285	12398.170	4866.560	12884.303	-88.424	-19.308	-58.171	126.100	-27.010	96.071
	14248.285	15277.499	14755.392	12884.303	5026.946	13386.436	-90.530	-21.073	-59.700	128.100	-33.810	90.372
	14755.392	15814.606	15277.499	13386.436	5190.332	13904.569	-92.636	-22.838	-61.229	130.100	-40.610	84.673
	15277.499	16366.713	15814.606	13904.569	5356.718	14438.702	-94.742	-24.603	-62.758	132.100	-47.410	78.974
	15814.606	16933.820	16366.713	14438.702								

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)	
	$V_r$	$V_d$	$V_e$	$M_r$	$M_d$	$M_e$	POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
							V	M	V	M	V	M
37	0.615	1.039	1.044	1.844	3.117	3.133	-40.787	-40.787	-1.542	-0.084	0.494	0.494
36	1.300	2.183	2.183	4.014	6.513	6.532	-24.991	-24.991	-0.231	-0.231	10.700	7.546
35	2.309	3.821	3.821	6.946	11.241	11.260	-28.855	-28.855	-3.254	-0.408	22.157	15.295
34	3.594	5.459	5.459	10.008	16.323	16.343	-31.794	-31.794	-3.407	-0.501	34.274	23.640
33	5.133	7.206	7.206	13.543	21.400	21.420	-34.724	-34.724	-3.553	-0.574	46.736	31.810
32	6.824	9.055	9.055	17.083	27.477	27.497	-37.653	-37.653	-3.700	-0.640	59.291	41.110
31	8.770	11.001	11.001	21.127	34.554	34.574	-40.582	-40.582	-3.847	-0.714	71.846	50.467
30	10.970	13.047	13.047	25.171	42.629	42.649	-43.511	-43.511	-3.993	-0.788	84.401	59.704
29	13.420	15.193	15.193	29.215	50.704	50.724	-46.440	-46.440	-4.140	-0.862	96.956	68.941
28	16.120	17.440	17.440	33.259	58.779	58.799	-49.369	-49.369	-4.287	-0.936	109.511	78.178
27	19.070	19.787	19.787	37.303	66.854	66.874	-52.298	-52.298	-4.434	-1.010	122.066	87.415
26	22.270	22.234	22.234	41.347	74.929	74.949	-55.227	-55.227	-4.581	-1.084	134.621	96.652
25	25.720	24.781	24.781	45.391	82.994	83.014	-58.156	-58.156	-4.728	-1.158	147.176	105.889
24	29.420	27.428	27.428	49.435	91.069	91.089	-61.085	-61.085	-4.875	-1.232	159.731	115.126
23	33.370	30.175	30.175	53.479	99.144	99.164	-64.014	-64.014	-5.022	-1.306	172.286	124.363
22	37.570	33.022	33.022	57.523	107.219	107.239	-66.943	-66.943	-5.169	-1.380	184.841	133.600
21	42.020	35.969	35.969	61.567	115.294	115.314	-69.872	-69.872	-5.316	-1.454	197.396	142.837
20	46.720	39.016	39.016	65.611	123.369	123.389	-72.801	-72.801	-5.463	-1.528	209.951	152.074
19	51.670	42.163	42.163	69.655	131.444	131.464	-75.730	-75.730	-5.610	-1.602	222.506	161.311
18	56.870	45.410	45.410	73.700	139.519	139.539	-78.659	-78.659	-5.757	-1.676	235.061	170.548
17	62.320	48.757	48.757	77.744	147.594	147.614	-81.588	-81.588	-5.904	-1.750	247.616	179.785
16	68.020	52.204	52.204	81.788	155.669	155.689	-84.517	-84.517	-6.051	-1.824	260.171	189.022
15	73.970	55.751	55.751	85.833	163.744	163.764	-87.446	-87.446	-6.198	-1.898	272.726	198.259
14	80.170	59.398	59.398	89.877	171.819	171.839	-90.375	-90.375	-6.345	-1.972	285.281	207.496
13	86.620	63.145	63.145	93.921	179.894	179.914	-93.304	-93.304	-6.492	-2.046	297.836	216.733
12	93.320	67.092	67.092	97.965	187.969	187.989	-96.233	-96.233	-6.639	-2.120	310.391	225.970
11	100.270	71.239	71.239	102.010	196.044	196.064	-99.162	-99.162	-6.786	-2.194	322.946	235.207
10	107.470	75.586	75.586	106.054	204.119	204.139	-102.091	-102.091	-6.933	-2.268	335.501	244.444
9	114.920	80.133	80.133	110.100	212.194	212.214	-105.020	-105.020	-7.080	-2.342	348.056	253.681
8	122.620	84.880	84.880	114.145	220.269	220.289	-107.949	-107.949	-7.227	-2.416	360.611	262.918
7	130.570	89.827	89.827	118.190	228.344	228.364	-110.878	-110.878	-7.374	-2.490	373.166	272.155
6	138.770	94.974	94.974	122.235	236.419	236.439	-113.807	-113.807	-7.521	-2.564	385.721	281.392
5	147.220	100.321	100.321	126.280	244.494	244.514	-116.736	-116.736	-7.668	-2.638	398.276	290.629
4	155.920	105.868	105.868	130.325	252.569	252.589	-119.665	-119.665	-7.815	-2.712	410.831	299.866
3	164.870	111.615	111.615	134.370	260.644	260.664	-122.594	-122.594	-7.962	-2.786	423.386	309.103
2	174.070	117.562	117.562	138.415	268.719	268.739	-125.523	-125.523	-8.109	-2.860	435.941	318.340
1	183.520	123.709	123.709	142.460	276.794	276.814	-128.452	-128.452	-8.256	-2.934	448.496	327.577
0	193.220	130.056	130.056	146.505	284.869	284.889	-131.381	-131.381	-8.403	-3.008	461.051	336.814

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

TABLA 11. COMPARACION DE CORTANTES DE ENTREPISO, EN TONELADAS, PARA DIFERENTES VALORES DEL PARAMETRO  $\lambda$ . MODELO ( $K_F=4, M_F=2$ ) CON  $H/B=3.6$ , EN TERRENO FIRME Y  $Q=4$

ENTREPISO	$V_d$	$V_r$	$\lambda$							
			0.28	0.33	0.50	0.66	0.75**	0.80	0.90	1.0
37	0.615002	0.615026	2.457332	2.150218	1.454032	1.223390	1.053002	0.961112	0.726001	0.657991
36	1.317553	1.318077	4.377444	4.023572	3.223714	2.658824	2.222340	2.073320	1.753322	1.456822
35	2.302924	2.303272	6.240977	5.927055	4.824735	3.968892	3.429710	3.267334	2.845023	2.466964
34	3.586934	3.587339	9.328339	9.010113	7.437793	6.252248	5.485718	4.977701	4.052333	3.532333
33	5.170944	5.171455	10.141171	9.820239	8.066088	6.840229	5.952484	5.437091	4.362332	3.810734
32	6.954954	6.955565	11.904455	11.607233	9.658299	8.353944	7.255611	6.708112	5.447440	4.813236
31	8.938964	8.939675	13.388434	13.104775	11.222743	9.825594	9.254900	8.629200	6.877779	6.122716
30	11.122974	11.123785	14.872377	14.584811	12.747770	11.494222	10.742221	10.327529	8.663341	8.972112
29	13.506984	13.507895	16.456320	16.165253	14.270377	12.969112	12.740116	11.834927	11.154528	10.452739
28	16.090994	16.091905	18.140263	17.844196	15.742984	14.373500	13.731711	12.833333	12.441539	11.941734
27	18.874004	18.874915	19.924206	19.618129	16.973776	15.760044	15.161498	14.806711	14.10654	13.42238
26	21.858014	21.858925	21.808149	21.482082	18.239885	17.105455	16.53872	16.20175	15.53403	14.87677
25	25.042024	25.042935	23.792092	23.456025	19.423488	18.37702	17.85196	17.52738	16.91086	16.23906
24	28.426034	28.426945	25.976039	25.629972	20.526988	19.57644	19.09585	18.80670	18.22313	17.67108
23	32.010044	32.010955	28.260044	27.813967	21.55139	20.70249	20.26948	20.00794	19.48223	18.95472
22	35.794054	35.794965	30.644049	30.197960	22.50139	21.75405	21.37070	21.13327	20.44903	20.19546
21	39.778064	39.778975	33.128054	32.681953	23.36708	22.72234	22.39020	22.18789	21.77756	21.36115
20	43.962074	43.962985	35.712059	35.265946	24.14664	23.60372	23.32145	23.14910	22.49825	22.44052
19	48.346084	48.346995	38.396064	37.849939	24.85000	24.39239	24.13053	23.91579	23.27257	23.42399
18	52.930094	52.931005	41.180069	40.533932	25.49336	25.08636	24.99777	24.75349	24.54718	24.30375
17	57.714104	57.715015	44.064074	43.317925	26.08672	25.68440	25.53990	25.44922	25.26475	25.07387
16	62.700114	62.701025	47.052079	46.201918	26.63008	26.18676	26.07233	26.01199	25.87407	25.73074
15	67.886124	67.887035	50.140084	49.185911	27.13344	26.59639	26.47302	26.37536	26.27344	26.27344
14	73.272134	73.273045	53.328089	52.269904	27.59680	26.91440	26.86663	26.68556	26.57126	26.70379
13	78.858144	78.859055	56.616094	55.457897	27.97016	27.15400	27.12503	26.95235	26.70737	26.70249
12	84.644154	84.645065	60.004099	58.745890	27.34515	27.31702	27.30179	27.17223	27.27243	27.27243
11	90.630164	90.631075	63.492104	62.133883	27.42772	27.41457	27.41025	27.40652	27.39851	27.39851
10	96.816174	96.817085	67.080109	65.621876	27.42070	27.42820	27.42425	27.42333	27.42140	27.42140
9	103.202184	103.203095	70.768114	69.209869	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
8	109.788194	109.789105	74.556119	72.897862	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
7	116.574204	116.575115	78.444124	76.685855	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
6	123.560214	123.561125	82.432129	80.573848	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
5	130.746224	130.747135	86.520134	84.561841	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
4	138.132234	138.133145	90.708139	88.649834	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
3	145.718244	145.719155	95.000144	92.837827	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
2	153.504254	153.505165	99.392149	97.125820	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085
1	161.490264	161.491175	103.884154	101.513813	27.42085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085	27.43085

\*\* Valor seleccionado

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>(*)</sup>				ERROR (%) (METODO ESTADISTICO)	
	$V_r$	$V_d$	$V_e$	$M_r$	$M_d$	$M_e$	POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
							V	M	V	M	V	M
30	1.927	1.753	3.394	5.911	5.273	10.187	10.193	10.193	0.000	0.000	93.101	93.181
29	3.905	3.832	6.873	7.911	7.474	13.474	13.474	13.474	0.000	0.000	124.294	124.294
28	5.894	5.844	9.848	11.312	10.764	16.874	16.874	16.874	0.000	0.000	170.216	170.216
27	7.895	7.804	12.804	14.804	14.256	20.256	20.256	20.256	0.000	0.000	215.259	215.259
26	9.895	9.804	15.804	17.804	17.256	23.256	23.256	23.256	0.000	0.000	260.302	260.302
25	11.895	11.804	18.804	20.804	20.256	26.256	26.256	26.256	0.000	0.000	305.345	305.345
24	13.895	13.804	21.804	23.804	23.256	29.256	29.256	29.256	0.000	0.000	350.388	350.388
23	15.895	15.804	24.804	26.804	26.256	32.256	32.256	32.256	0.000	0.000	395.431	395.431
22	17.895	17.804	27.804	29.804	29.256	35.256	35.256	35.256	0.000	0.000	440.474	440.474
21	19.895	19.804	30.804	32.804	32.256	38.256	38.256	38.256	0.000	0.000	485.517	485.517
20	21.895	21.804	33.804	35.804	35.256	41.256	41.256	41.256	0.000	0.000	530.560	530.560
19	23.895	23.804	36.804	38.804	38.256	44.256	44.256	44.256	0.000	0.000	575.603	575.603
18	25.895	25.804	39.804	41.804	41.256	47.256	47.256	47.256	0.000	0.000	620.646	620.646
17	27.895	27.804	42.804	44.804	44.256	50.256	50.256	50.256	0.000	0.000	665.689	665.689
16	29.895	29.804	45.804	47.804	47.256	53.256	53.256	53.256	0.000	0.000	710.732	710.732
15	31.895	31.804	48.804	50.804	50.256	56.256	56.256	56.256	0.000	0.000	755.775	755.775
14	33.895	33.804	51.804	53.804	53.256	59.256	59.256	59.256	0.000	0.000	800.818	800.818
13	35.895	35.804	54.804	56.804	56.256	62.256	62.256	62.256	0.000	0.000	845.861	845.861
12	37.895	37.804	57.804	59.804	59.256	65.256	65.256	65.256	0.000	0.000	890.904	890.904
11	39.895	39.804	60.804	62.804	62.256	68.256	68.256	68.256	0.000	0.000	935.947	935.947
10	41.895	41.804	63.804	65.804	65.256	71.256	71.256	71.256	0.000	0.000	980.990	980.990
9	43.895	43.804	66.804	68.804	68.256	74.256	74.256	74.256	0.000	0.000	1026.033	1026.033
8	45.895	45.804	69.804	71.804	71.256	77.256	77.256	77.256	0.000	0.000	1071.076	1071.076
7	47.895	47.804	72.804	74.804	74.256	80.256	80.256	80.256	0.000	0.000	1116.119	1116.119
6	49.895	49.804	75.804	77.804	77.256	83.256	83.256	83.256	0.000	0.000	1161.162	1161.162
5	51.895	51.804	78.804	80.804	80.256	86.256	86.256	86.256	0.000	0.000	1206.205	1206.205
4	53.895	53.804	81.804	83.804	83.256	89.256	89.256	89.256	0.000	0.000	1251.248	1251.248
3	55.895	55.804	84.804	86.804	86.256	92.256	92.256	92.256	0.000	0.000	1296.291	1296.291
2	57.895	57.804	87.804	89.804	89.256	95.256	95.256	95.256	0.000	0.000	1341.334	1341.334
1	59.895	59.804	90.804	92.804	92.256	98.256	98.256	98.256	0.000	0.000	1386.377	1386.377

\*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	$V_d$	$V_r$	$\lambda$							$V_r$ 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	3.27553	2.94613	2.75997	2.41122	2.07403	1.40000
29	3.80470	3.28470	8.44991	7.91811	6.67076	5.67273	5.29551	5.12323	4.59550	4.00045	3.11817
28	5.84334	5.29425	10.79491	10.25016	8.67076	7.32550	6.82528	6.65300	6.02528	5.30045	4.11817
27	7.88198	7.24881	12.59561	12.03290	10.23314	8.63371	8.03252	7.86024	7.23252	6.50745	5.11817
26	9.92062	9.20493	14.02004	13.53809	11.54564	9.84374	9.24255	9.07027	8.44255	7.71493	6.11817
25	11.95926	11.16337	15.16209	14.76032	12.58850	10.74374	10.14255	10.07027	9.44255	8.71493	7.11817
24	13.99790	13.12331	16.07274	15.57830	13.49424	11.57734	11.07615	11.00387	10.37615	9.64646	8.11817
23	15.99790	15.04331	16.81221	16.32722	14.30922	12.34211	11.84092	11.76864	11.14092	10.41092	9.11817
22	17.99790	17.04331	17.48766	17.14884	15.03371	13.04073	12.53873	12.46645	11.84092	11.11092	10.11817
21	19.99790	19.04331	18.11901	17.83229	15.68439	13.71924	13.21724	13.14496	12.53873	11.81092	10.81817
20	21.99790	21.04331	18.71220	18.43044	16.26159	14.38251	13.88573	13.81345	13.23654	12.51092	11.51817
19	23.99790	23.04331	19.26877	19.04291	16.81534	15.03371	14.54873	14.47446	13.93435	13.21092	12.21817
18	25.99790	25.04331	19.79001	19.66850	17.34211	15.67273	15.20373	15.13145	14.63435	13.91092	12.91817
17	27.99790	27.04331	20.27626	19.31644	17.84211	16.29373	15.84873	15.77646	15.33435	14.61092	13.61817
16	29.99790	29.04331	20.72751	19.98771	18.31211	16.94373	16.51724	16.44496	16.03435	15.31092	14.31817
15	31.99790	31.04331	21.14376	20.68144	18.75211	17.64373	17.18573	17.11345	16.73435	16.01092	15.01817
14	33.99790	33.04331	21.52501	21.39722	19.16211	18.34373	17.88573	17.81345	17.43435	16.71092	15.71817
13	35.99790	35.04331	21.87126	22.13446	19.54211	19.04373	18.58573	18.51345	18.13435	17.41092	16.41817
12	37.99790	37.04331	22.18251	22.89271	19.89211	19.74373	19.28573	19.21345	18.83435	18.11092	17.11817
11	39.99790	39.04331	22.44876	23.67196	20.21211	20.44373	19.98573	19.91345	19.53435	18.81092	17.81817
10	41.99790	41.04331	22.63001	24.47321	20.50211	21.14373	20.68573	20.61345	20.23435	19.51092	18.51817
9	43.99790	43.04331	22.72626	25.29646	20.76211	21.84373	21.38573	21.31345	20.93435	20.21092	19.21817
8	45.99790	45.04331	22.73751	26.14271	21.00211	22.54373	22.08573	22.01345	21.63435	20.91092	19.91817
7	47.99790	47.04331	22.66376	27.01196	21.21211	23.24373	22.78573	22.71345	22.33435	21.61092	20.61817
6	49.99790	49.04331	22.50501	27.90421	21.39211	23.94373	23.48573	23.41345	23.03435	22.31092	21.31817
5	51.99790	51.04331	22.26126	28.81946	21.54211	24.64373	24.18573	24.11345	23.73435	23.01092	22.01817
4	53.99790	53.04331	21.93251	29.75671	21.66211	25.34373	24.88573	24.81345	24.43435	23.71092	22.71817
3	55.99790	55.04331	21.51876	30.71596	21.75211	26.04373	25.58573	25.51345	25.13435	24.41092	23.41817
2	57.99790	57.04331	21.02001	31.69721	21.81211	26.74373	26.28573	26.21345	25.83435	25.11092	24.11817
1	59.99790	59.04331	20.43626	32.69946	21.84211	27.44373	26.98573	26.91345	26.53435	25.81092	24.81817

\*\* 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

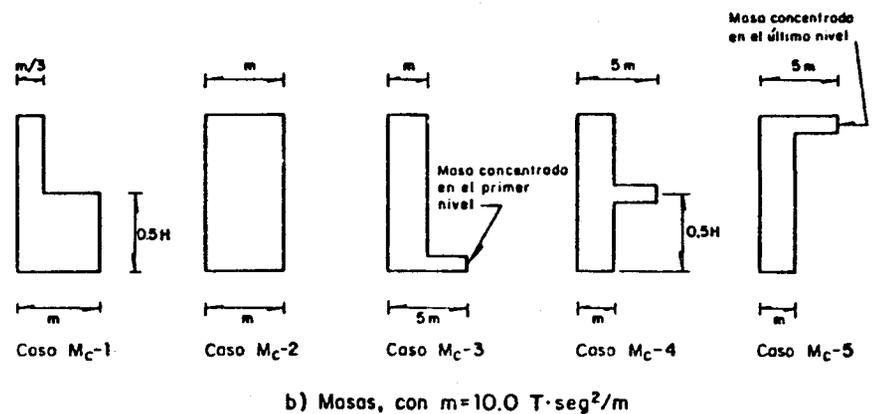
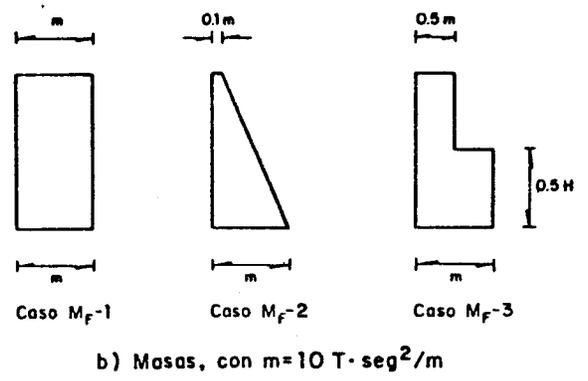
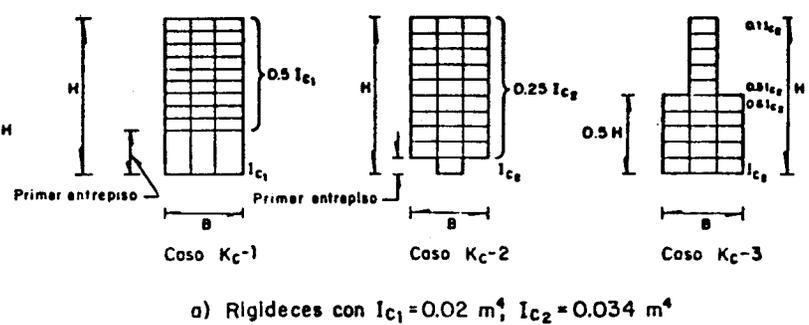
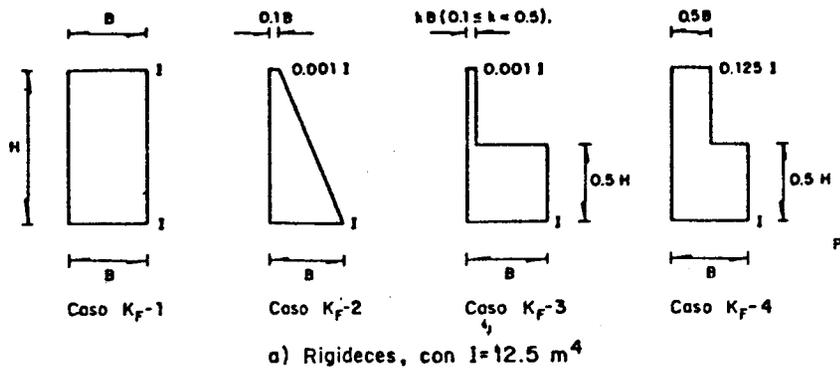
ENTREPISO	CORTANTE, ton			MOMENTO, ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO) <sup>Ⓢ</sup>				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
	$V_r^*$	$V_d^r$	$V_e^r$	$M_r^*$	$M_d^r$	$M_e^r$	POR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		POR NIVEL	
							V	M	V	M	V	M
12	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	-17.333	-17.333	-1.968	-0.143	142.233	142.233
11	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	-8.025	-8.025	-0.273	-0.184	177.179	165.409
10	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	0.172	0.172	0.037	0.024	114.729	191.111
9	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	18.144	18.144	0.816	0.514	242.322	215.107
8	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	35.340	35.340	1.555	0.954	425.118	384.510
7	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	52.536	52.536	2.294	1.450	607.914	557.714
6	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	69.732	69.732	3.033	1.984	790.710	722.510
5	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	86.928	86.928	3.772	2.480	973.506	898.306
4	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	104.124	104.124	4.511	2.984	1156.302	1061.902
3	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	121.320	121.320	5.250	3.480	1339.098	1225.598
2	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	138.516	138.516	6.000	3.984	1521.894	1387.194
1	0.013	14.234	35.206	36.044	43.402	105.418	155.712	155.712	6.749	4.480	1704.690	1543.290

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

TABLA 15. COMPARACION DE CORTANTES DE ENTREPISO, EN TONELADAS, PARA DIFERENTES VALORES DEL PARAMETRO  $\lambda$ . MODELO ( $K_c=2, M_c=3$ ), CON  $H/B=4$ , EN TERRENO FIRME Y  $Q=1$

ENTREPISO	$V_d^r$	$V_r^*$	$\lambda$							
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75	0.80	0.90	LO**
12	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
11	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
10	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
9	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
8	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
7	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
6	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
5	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
4	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
3	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
2	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965
1	14.234	12.01474	23.25431	30.40983	25.10323	20.37514	18.24727	17.03934	14.80268	12.78965

\*\* Valor seleccionado

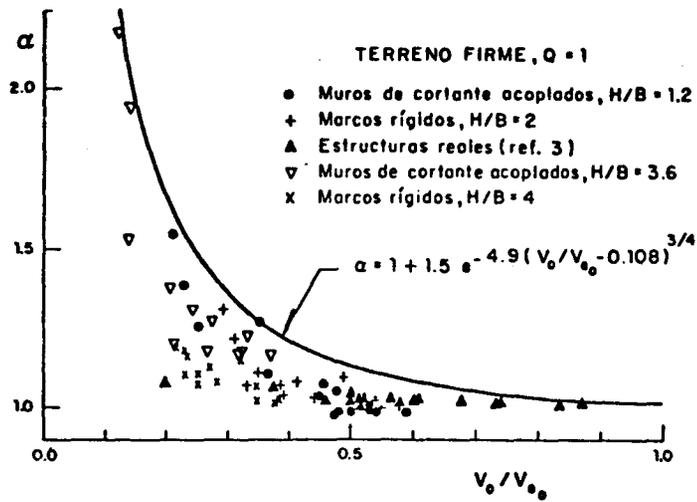
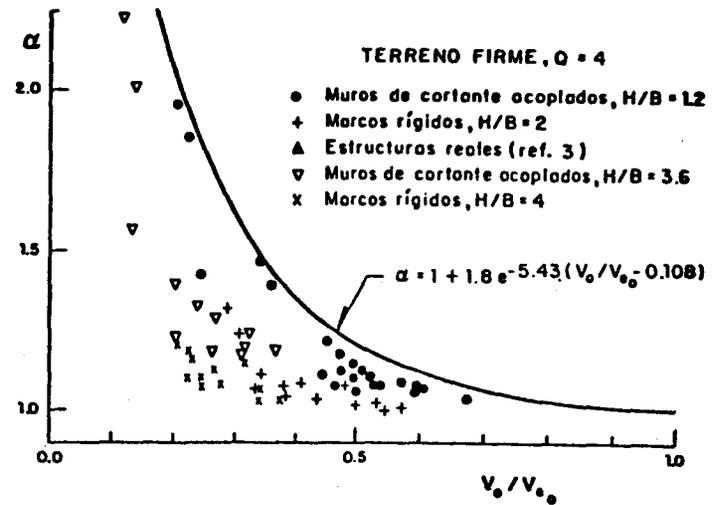
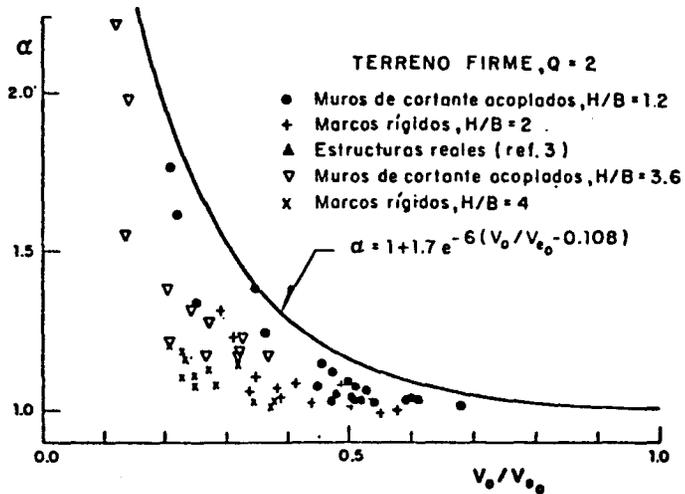
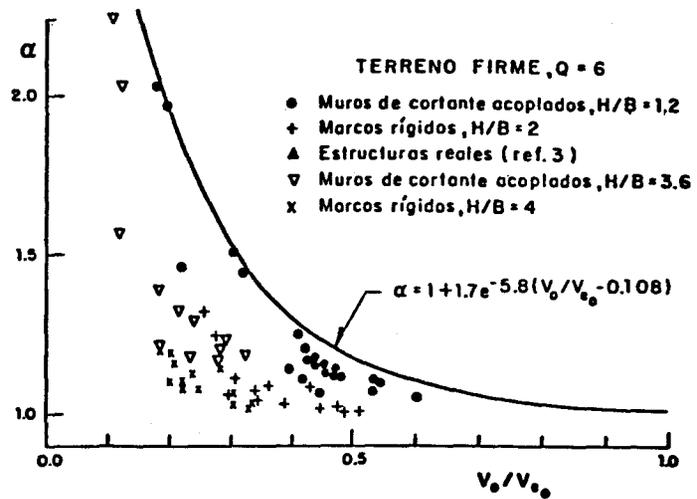


Para  $H/B = 12$ ,  $n = 10$   
 Para  $H/B = 3.6$ ,  $n = 30$   
 $n = \text{número de pisos}$

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.

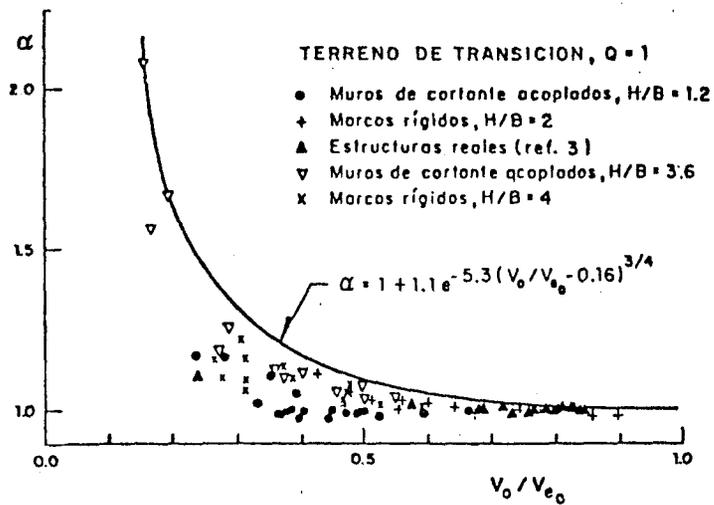


Fig 7 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

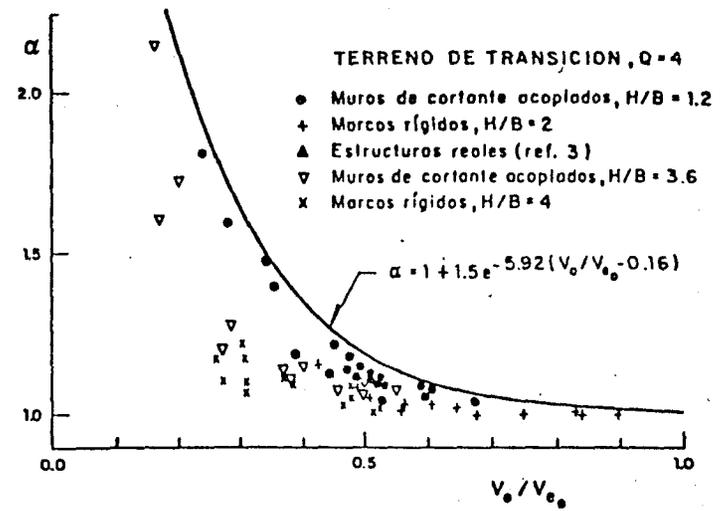


Fig 9 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

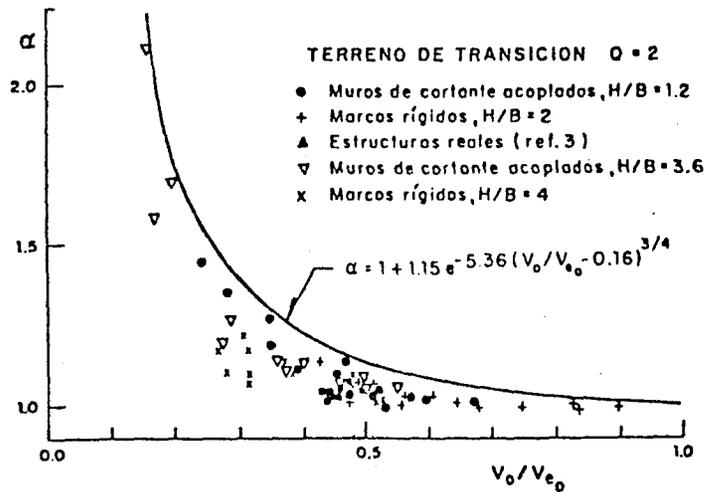


Fig 8 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

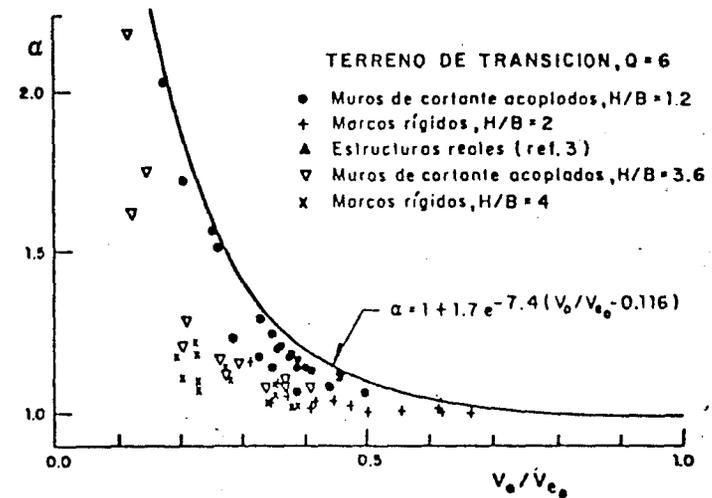


Fig 10 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D.F.

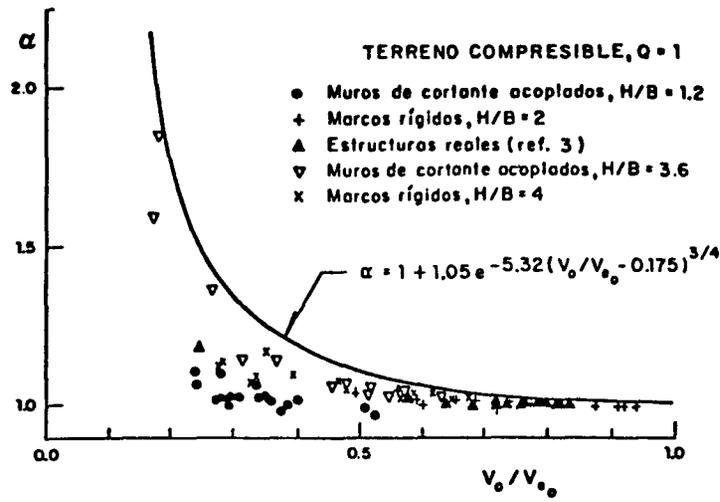


Fig 11 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.

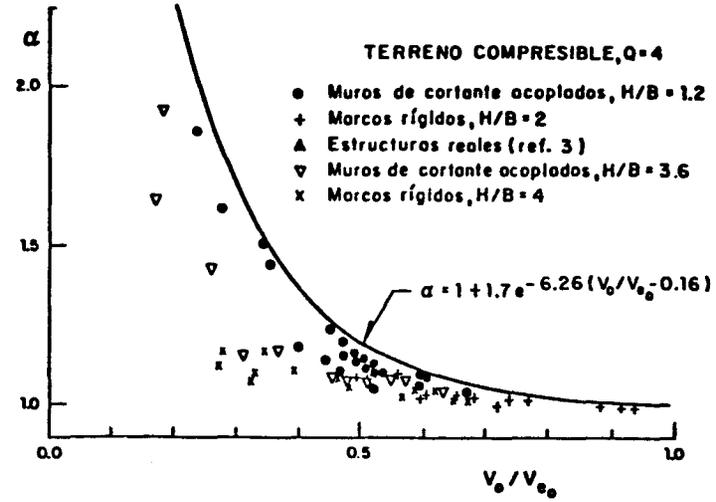


Fig 13 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.

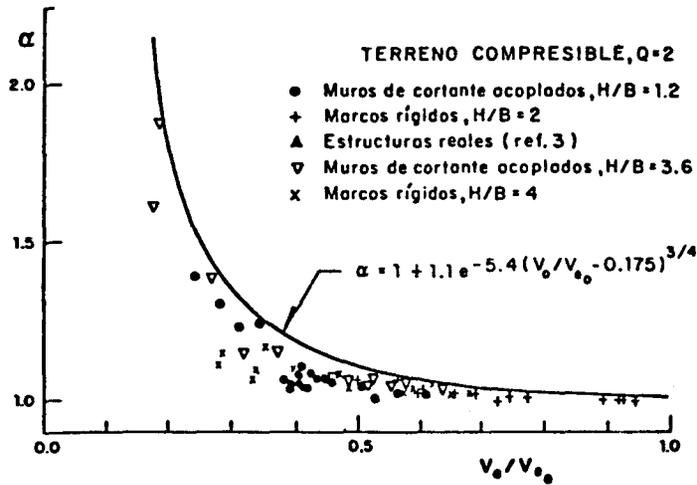


Fig 12 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.

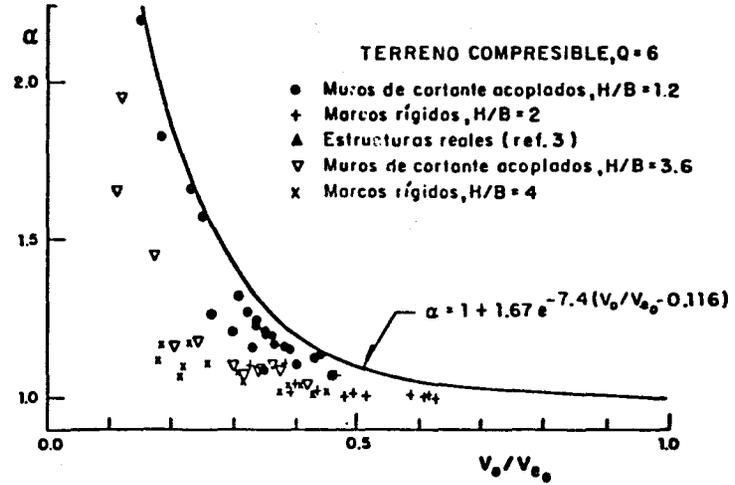


Fig 14 Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D.F.

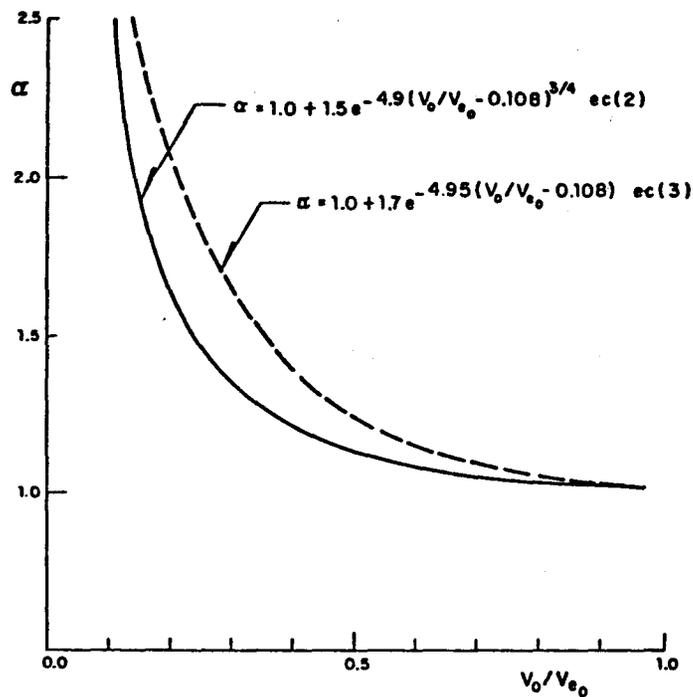


Fig 15 Envolventes de diseño para factor correctivo  $\alpha$

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

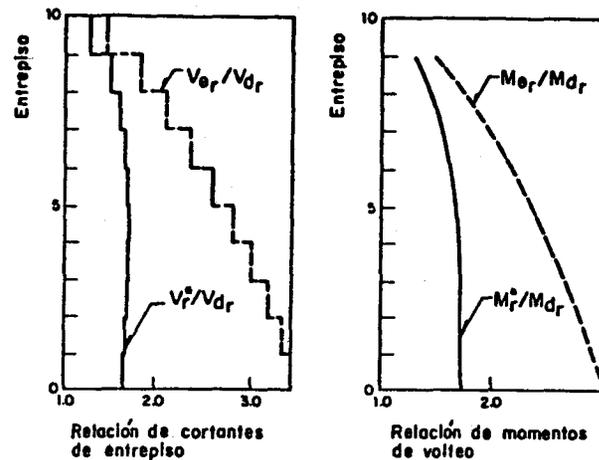


Fig 16 Comparación de resultados para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con espectro de terreno compresible, factor de ductilidad de  $Q=1$  y relación de aspecto  $H/B=1.2$

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

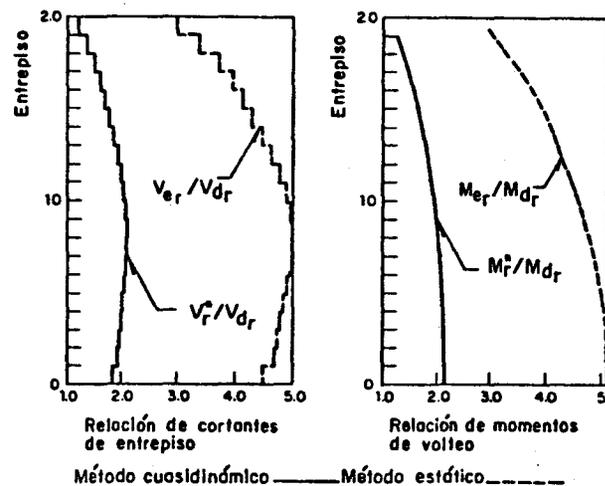


Fig 17 Comparación de resultados para el modelo ( $K_C-2$ ,  $M_C-3$ ), con espectro de terreno compresible, factor de ductilidad de  $Q=6$  y relación de aspecto  $H/B=4$

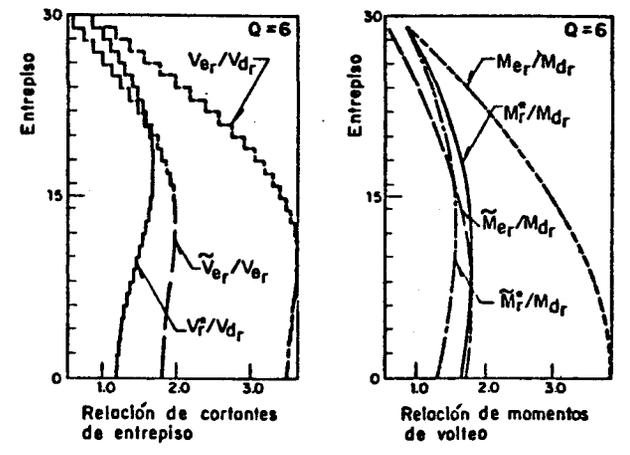
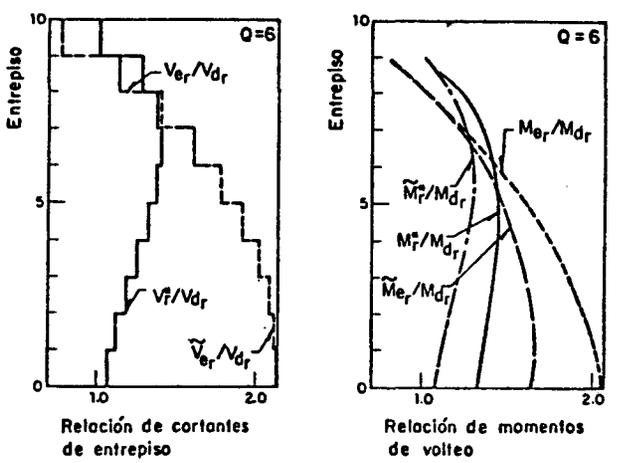
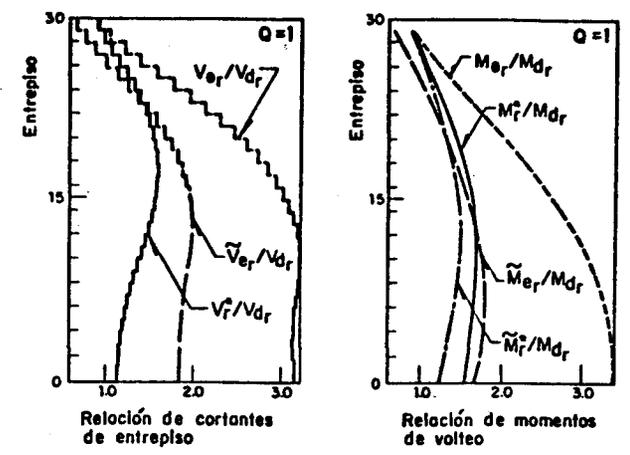
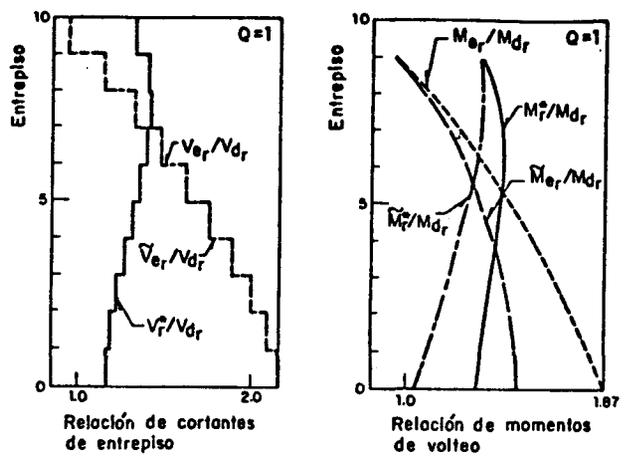


Fig 18 Comparaciones para el modelo ( $K_F=2, M_F=2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno firme

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

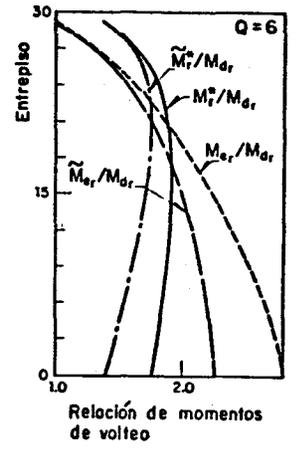
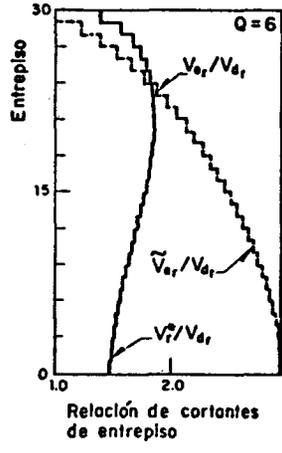
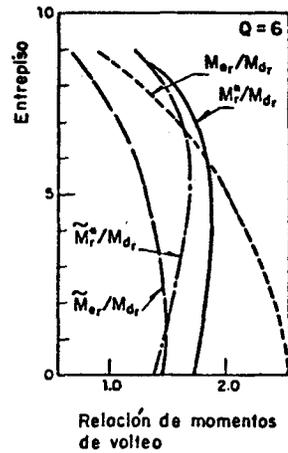
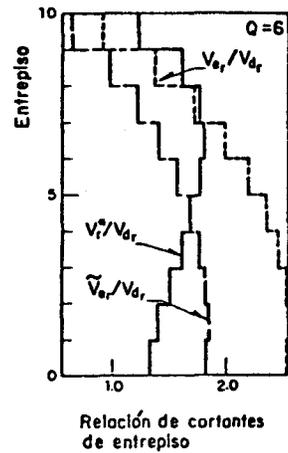
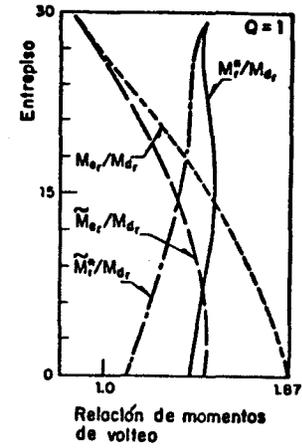
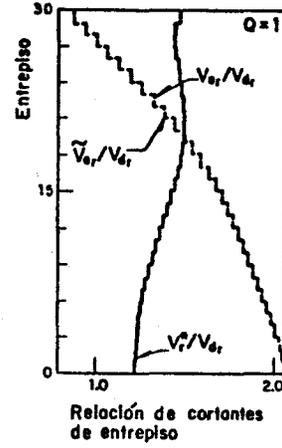
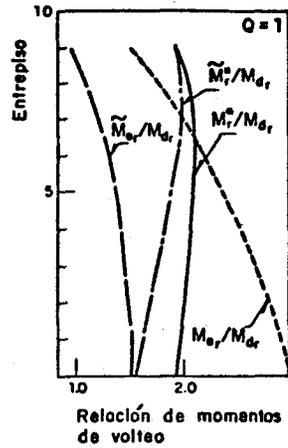
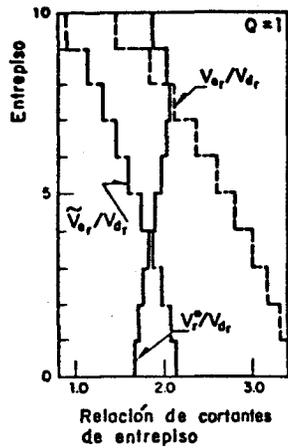


Fig 20 Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

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

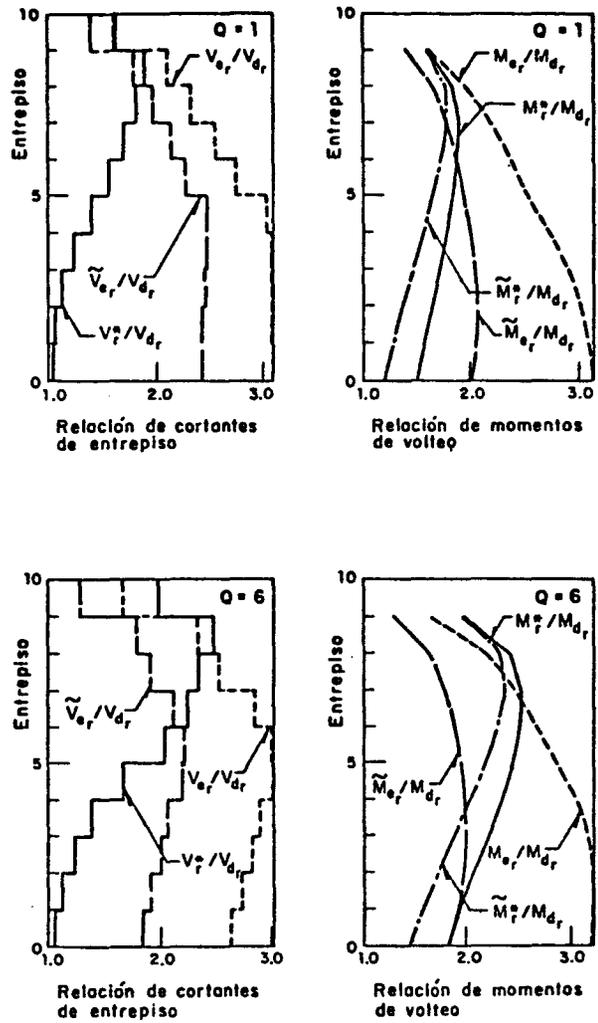


Fig 22 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno firme

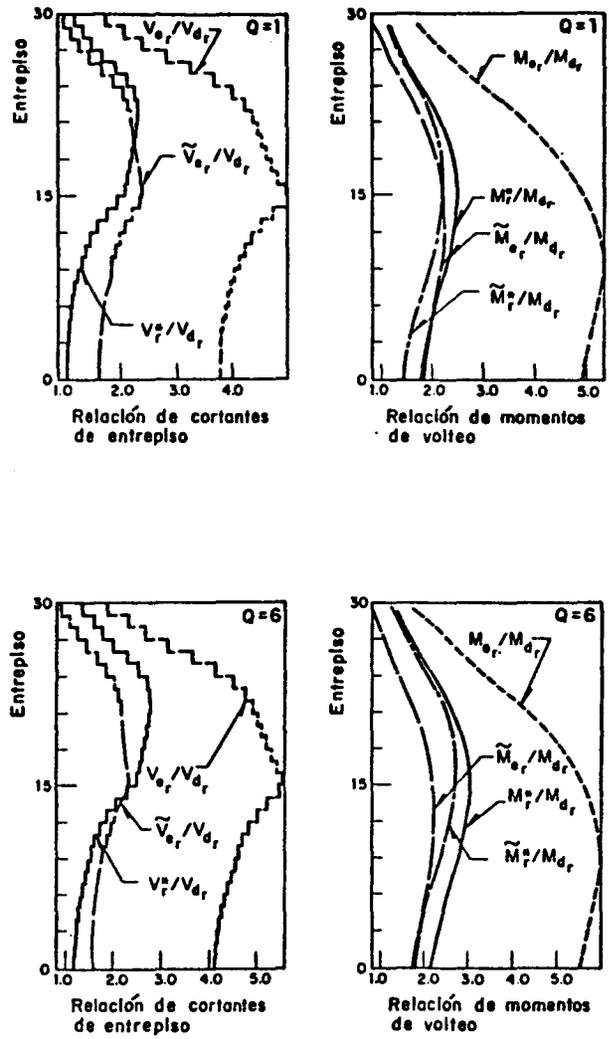


Fig 23 Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno firme

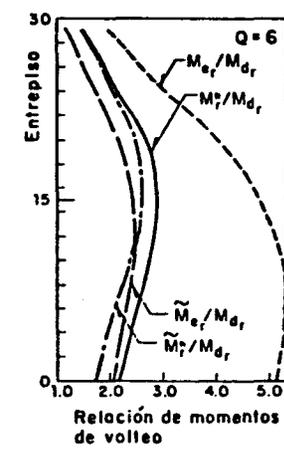
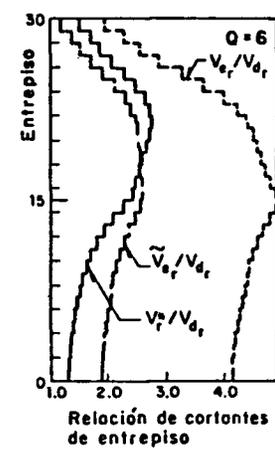
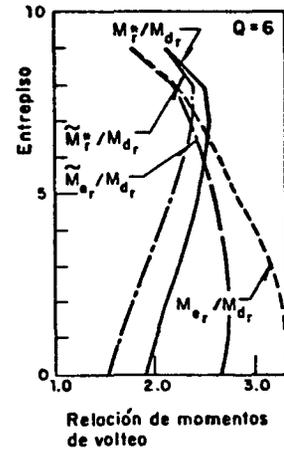
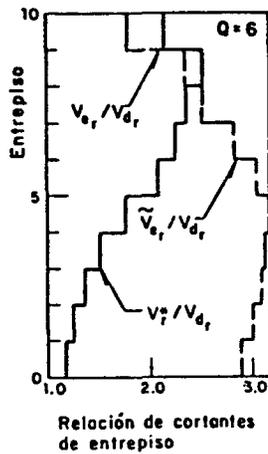
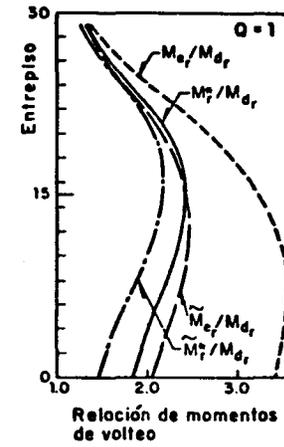
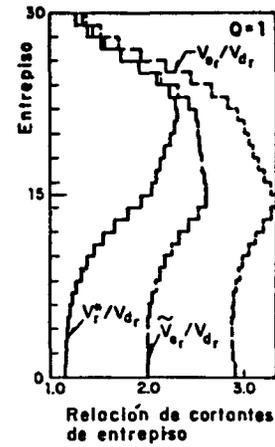
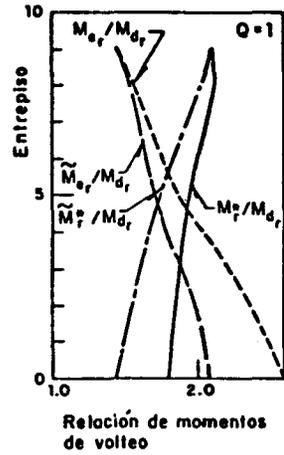
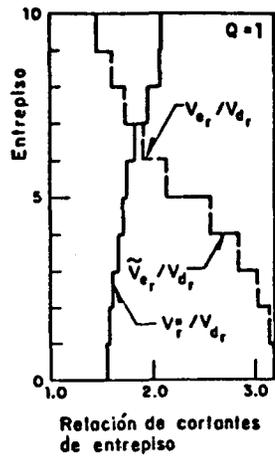


Fig 24 Comparaciones para el modelo  $(K_F-3, M_F-3)$  con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

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

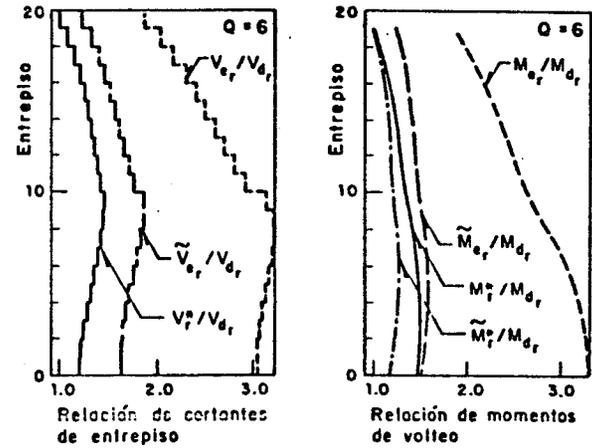
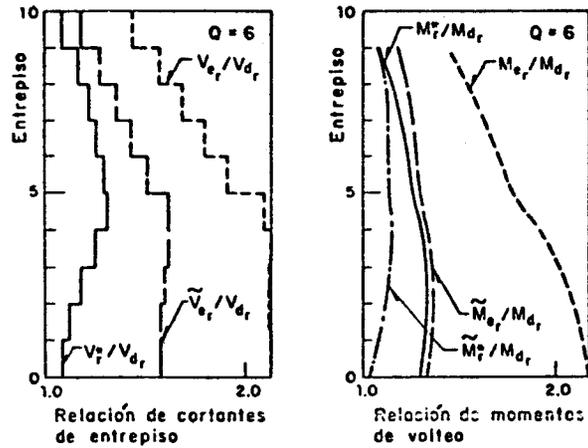
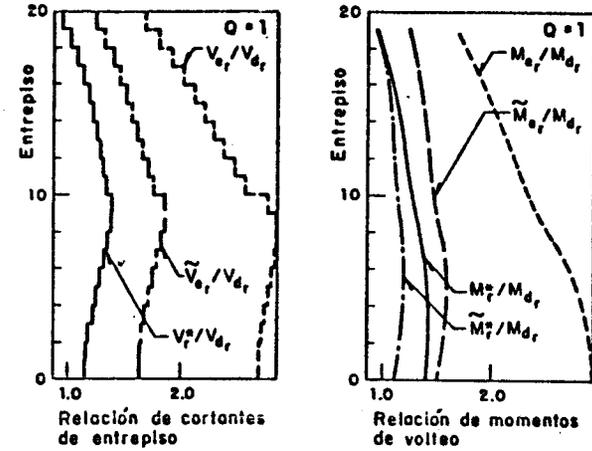
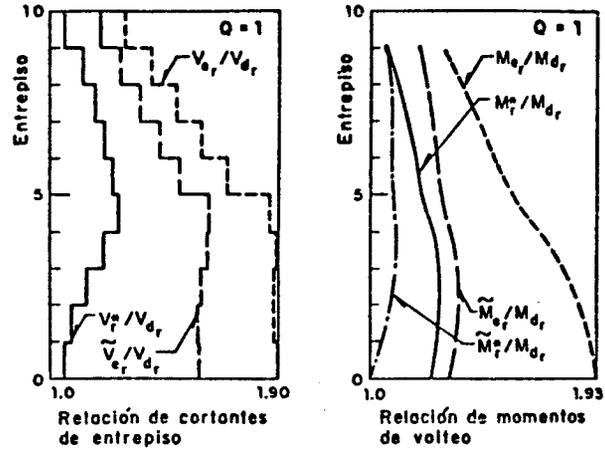


Fig 26 Comparaciones para el modelo ( $K_C-3, M_C-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=2$  en terreno firme

Fig 27 Comparaciones para el modelo ( $K_C-3, M_C-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=4$  en terreno firme

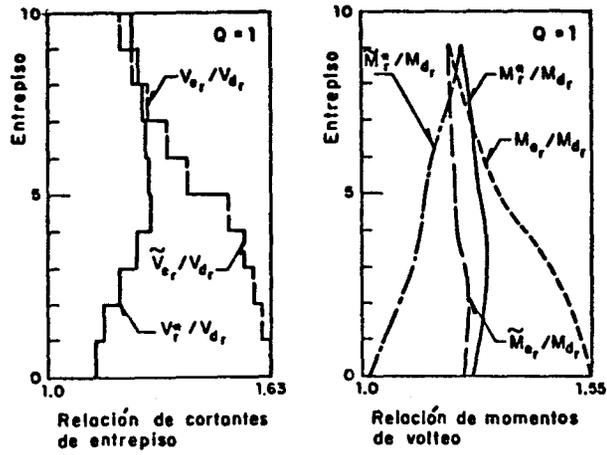


Fig 28 Comparaciones para el modelo ( $K_C-3, M_C-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=2$  en terreno compresible

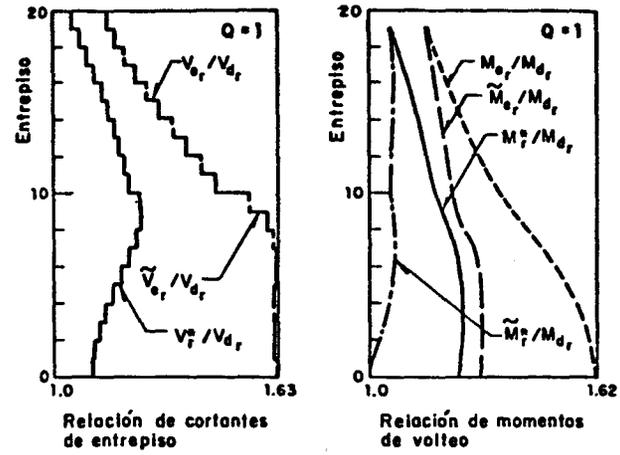


Fig 29 Comparaciones para el modelo ( $K_C-3, M_C-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=4$  en terreno compresible

