

**ANALISIS SISMICO DE  
EDIFICIOS IRREGULARES  
EN ELEVACION CON  
ESPECTROS REDUCIDOS  
POR DUCTILIDAD**

**G RAFAEL ARANDA\***  
**OCTAVIO A RASCON\***  
**ORLANDO J DIAZ\*\***

**\* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM**

**\*\* Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM**

RESUMEN

NOTACION

1	INTRODUCCION	1
2.	METODO CUASIDINAMICO PARA ANALISIS SISMICO DE EDIFICIOS	2
2.1	<i>Descripción del método</i>	2
2.2	<i>Determinación de los factores correctivos, <math>\alpha</math>, para los espectros de diseño del Distrito Federal</i>	5
2.3	<i>Obtención de cortantes de entrepiso cuasidínámicas</i>	6
2.4	<i>Resultados</i>	11
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACION	13
3.1	<i>Conclusiones</i>	13
3.2	<i>Recomendación</i>	14
4	RECONOCIMIENTO	15
5	REFERENCIAS	15
	TABLAS Y FIGURAS	16

## 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 reduced 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 practising engineers related with seismic 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. A 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 este 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 que se dedican al diseño sísmico de edificios.

## NOTACION

$A(T_1, Q)$	aceleración espectral de diseño para el modo fundamental
$A_i$	coeficiente para distribución de aceleraciones
$B$	dimensión en planta del edificio, en la dirección analizada
$B'$	ancho de la base del muro
$C_1$	factor de participación aproximado del modo fundamental
$F_i$	fuerza sísmica que actúa en la masa $i$
$F_i^*$	fuerza sísmica cuasidinámica aplicada en la masa $i$
$H$	altura total de la estructura
$M_{d_o}$	momento sísmico de volteo dinámico, en la bse de la estructura, calculado considerando todos los modos de vibrar
$M_{d_r}$	momento sísmico de volteo dinámico, en el nivel $r$ , calculado considerando todos los modos de vibrar
$M_{e_r}$	momento sísmico estático de volteo en el nivel $r$
$M_r^*$	momento de volteo cuasidinámico en el nivel $r$
$P_i$	fuerza sísmica horizontal que actúa estáticamente en la masa $i$
$Q$	factor de ductilidad
$T_1$	período fundamental
$V_{d_o}$	cortante sísmica dinámica basal, calculada considerando todos los modos de vibrar
$V_{d_r}$	cortante sísmica dinámica en el entrepiso $r$ , calculada considerando todos los modos de vibrar

$V_{d1_0}$	igual que $V_{d_0}$ , pero empleando solo el modo fundamental
$V_{e_0}$	cortante sísmica estática basal
$V_{e_r}$	cortante sísmica estática en el entrepiso r
$V_0$	cortante sísmica basal no corregida
$V_0^*$	cortante sísmica basal cuasidinámica
$V_r$	cortante sísmica de entrepiso no corregida
$V_r^*$	cortante sísmica cuasidinámica en el entrepiso r
$W_i$	peso de la masa i
$W_T$	carga gravitacional total de la estructura
c	coeficiente sísmico
g	aceleración de la gravedad
$h_i$	altura de la masa i respecto a la base del edificio
$m_i$	masa concentrada en el nivel i
n	número total de niveles donde están concentradas las masas
r	índice para identificar entrepisos
$x_i$	desplazamiento de la masa i causado por la fuerza $P_i$
$\ddot{x}_i$	aceleración de la masa i (excitación dinámica)
$\alpha$	factor correctivo para cortante basal
$\beta_i$	parámetros para definir al factor correctivo $\alpha$
$\lambda$	exponente para ajuste de aceleraciones

## 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, 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 considera la distribución irregular de masas y rigideces mediante un método iterativo, en el cual 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 sollicitaciones 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

para estudiar la respuesta elástica de modelos estructurales de cortante y flexión (ref 4); su bondad se verificó al aplicarlo a diferentes estructuraciones con o sin irregularidades en elevación. En este trabajo se generaliza el método a fin de 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 generalizar su aplicación al diseño sísmico. Por sus características, se ha denominado método cuasidinámico de análisis sísmico de edificios.

En el cap 3 se exponen las conclusiones relevantes obtenidas y se recomienda incluir a futuro el método cuasidinámico en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, como una opción más de 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 mediante un análisis dinámico modal espectral. 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 determinar empleando cualquier

procedimiento de cálculo; proporciona resultados satisfactorios el que se basa en el cociente de Schwartz (ref 4)

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

donde  $g$  es 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 esta, 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 calculadas mediante el modo fundamental en un análisis dinámico ( $V_{d1r}$ ). Para lograr una cortante basal que se asemeje a la que resultaría de la contribución de todos los modos ( $V_{d0}$ ), debe hacerse la corrección que sigue.

- 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 observó que  $\alpha$  también depende del factor de ductilidad que se asigne a la estructura.

En el subcap 2.2 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,  $F_1^*$ , 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  $F_1^*$  y los momentos de volteo correspondientes. Estas fuerzas cortantes se denominan cortantes sísmicas cuasidinámicas 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,  $V_{d_o}$ , entre la fuerza cortante basal correspondiente al primer modo,  $V_{d1_o}$ , es decir

$$\alpha = V_{d_o} / V_{d1_o}$$

En la ref 4 se determinó este factor utilizando los espectros elásticos de diseño ( $Q = 1$ ) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref 1). En este 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 que se indican en figs 1 y 2 (la masa  $M_c-1$  solo se combina con la rigidez  $K_c-3$ ), considerando que puedan estar desplantadas en suelo firme, de transición o compresible del Distrito Federal. 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

$$\alpha = 1 + \beta_1 \exp\{\beta_2 (V_o/V_{e_o} - \beta_3)^{\beta_4}\}, \text{ para } \beta_3 \leq V_o/V_{e_o} \leq 1 \quad (1)$$

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 obtenidos 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 reducirlas en número 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  $Q = 2, 4$  y  $6$ , excepto el  $K_F-3$

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

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

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

b) Terrenos de transición y compresible

Para cualquier factor de ductilidad y 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; se observará que son envolventes de las presentadas en las figs 3 a 14.

### 2.3 Obtención de cortantes de entrepiso cuasidinámicas

En investigaciones recientes de los autores (refs 4 y 5), las fuerzas

sísmicas cuasidinámicas en edificios irregulares en elevación se obtuvieron distribuyendo el cortante basal,  $V_o^*$ , en función de factores de ponderación que dependían del peso y el desplazamiento,  $x_i$ , de cada masa

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

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 emplearon relaciones de esbeltez de 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, por lo que ya no sería aplicable el método estático del Reglamento. 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. En todos los casos se emplearon valores del coeficiente  $Q$  iguales a 1, 2, 4 y 6; resulta pertinente aclarar que el valor  $Q = 1$  no es estrictamente un factor de ductilidad ya que implica comportamiento estructural elástico; además, no es factible emplear  $Q = 6$  cuando se usan muros pues sería prácticamente imposible desarrollar, con este tipo de estructuración, las deformaciones requeridas para alcanzar esa ductilidad.

La respuesta estructural se calculó con el método cuasidinámico y los métodos estático y dinámico espectral del Reglamento (ref 1). Al comparar los resultados, tomando como base de referencia la respuesta dinámica, se encontró que el cuasidinámico da mejores soluciones que el estático, aunque para determinadas estructuras subestima con más frecuencia la respuesta en los entrepisos superiores; en dichas estructuras, el estático sobrestimó la respuesta en los niveles restantes con 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 sobres-

timación de cortantes del estático es hasta 3.4 veces la 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. La sobrestimación de cortantes con el estático es hasta cinco veces mayor que la del dinámico, mientras que la del cuasidinámico llega solo 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 (entendidos como aquellos donde el cortante cuasidinámico es menor que el dinámico), obtenido 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 existe mayor número de errores en la zona de terreno firme y son más grandes que en los de transición y compresible.

En marcos rígidos, la frecuencia de error varía poco en 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  $Q = 6$ . En terreno firme, el error no excede del 20 por ciento; mientras que en los de transición y compresible, no rebasa un porcentaje de 10.

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

De lo anterior se deduce que el tipo de suelo, estructuración, relación de aspecto y factor de ductilidad influyen directamente en la aproximación de la respuesta cuasidinámica.

En la tabla 8 se presenta el caso donde 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, mientras que la del estático fue de 16 por ciento.

Después de examinar detalladamente la respuesta de todos los modelos, se decidió proponer otra distribución de fuerzas más efectiva.

Se buscó, como punto de partida, una distribución de aceleraciones cuasidinámicas que fuera función de los desplazamientos  $x_i$  e incrementara la magnitud de las fuerzas sísmicas en la parte superior del edificio. Se encontró que eso se logra al modificar cada  $x_i$ , 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 mediante la ecuación

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

A fin de asignar valores al parámetro  $\lambda$ , se estudiaron minuciosamente las estructuras cuyas subestimaciones fueron mayores al emplear la ec 4. Para ello se aplicó la ec 6 con valores de  $\lambda$  comprendidos entre 0,25 y 1,0.

En la tabla 9 se exponen los valores de las cortantes de entrepiso obtenidos mediante 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 solo 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 de 1.06 contra 1.25 ton únicamente en la parte superior.

En la tabla 10 se muestra la comparación entre cortantes de entrepiso y momentos de volteo, calculados mediante los tres métodos mencionados, en la cual se utiliza la ec 4 para obtener fuerzas cuasidinámicas. Los resultados corresponden al 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 presentan 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 cuales 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 162.0 por ciento y ocurrió en el entrepiso 22 (tabla 12). Se observa que en dicho modelo, el valor adecuado para  $\lambda$  debería ser mayor de 1 (tabla 13) pues con  $\lambda = 1$  se tienen cortantes cuasidinámicas aún 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 cortantes 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 quedaba cubierta 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 eran tan solo de 3 por ciento para el caso más desfavorable: 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 subestaciones 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  $K_F-3$ , se empleará un valor de  $\lambda$  de acuerdo con el tipo de terreno:  $\lambda = 0.75$ , en suelo firme;  $\lambda = 0.9$ , en suelos de transición y compresible
- c) Para muros de cortante acoplados, modelados con  $K_F-3$ , y en 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  $\lambda = 0.5$ . Al principio de los análisis realizados dentro de este trabajo, se intentó usar la ec 7 ajustando el valor de  $\lambda$ , ya que con  $\lambda = 0.5$  se sobrestima excesivamente la respuesta; sin embargo, al interpretar los resultados se intuyó la modificación que condujo a la ec 5, la cual funciona 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 únicamente 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 suelos 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 de las fuerzas cortantes del método estático, permitida por el Reglamento del Distrito Federal cuando se toma en cuenta el periodo fundamental de la estructura. En las figs 18 a 29 se muestran los casos en que dicha modificación mejora sustancialmente los resultados del método estático.

La notación utilizada en dichas figuras es

- 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

En esas figuras se aprecia que los resultados del método cuasidinámico en general se apegan más a los del dinámico que los del estático, modificado o no; esta concordancia fue mayor en casi todos los demás casos estudiados. Conviene destacar que en algunos casos, la modificación de fuerzas cortantes del estático conduce a una respuesta mejor que la cuasidinámica para los entrepisos superiores, pero de todas maneras sobrestima en exceso la de 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; esta reducción se basa en el hecho de que los momentos calculados con integración del diagrama de fuerzas cortantes resultan mayores que los dinámicos. En el caso del método estático dicha reducción se aplicó a las fuerzas cortantes reducidas.

En las figuras mencionadas se aprecia que los valores así estimados resultan mejores que los originales, y la reducción es mayor en los niveles inferiores. Solo en dos casos del cuasidinámico se obtuvieron valores para 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, 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 Distrito Federal con distintas relaciones de esbeltez y factor de ductilidad menor de 6.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACION

#### 3.1 Conclusiones

Se ha presentado la extensión del método cuasidinámico para calcular la respuesta sísmica de edificios irregulares en elevación, empleando los espectros reducidos por ductilidad del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

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 se utilizará 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  $V_o/V_e$  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

$$\beta_3 = 0.108 \leq V_o/V_{e_o} \leq 1.0$$

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 con marcos rígidos
- c) Resulta práctico y sencillo de utilizar en los despachos de cálculo; lo más complicado es obtener la configuración de desplazamientos estáticos  $x_i$ , lo cual no debe ser difícil en la actualidad para los ingenieros calculistas
- d) En algunos casos donde fue aplicable, la reducción que permite el Reglamento de las fuerzas cortantes calculadas con el método estático condujo a subestimaciones en los entrepisos superiores, tal como sucedió en el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ).
- e) El criterio de reducción de momentos de volteo es aplicable al método cuasidinámico
- f) Con el fin de 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 estu-

diar la conveniencia de incluir el método cuasidinámico en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 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 a fin de no cometer sistemáticamente error del lado de la seguridad.

#### 4. RECONOCIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a Joel García y Raúl Paredes por la ayuda prestada, organizando 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 (jul, 1977)
2. "Tentative previsions for the development of seismic regulations for buildings", *Applied Technology Council, ATC3-06, California, USA* (jun, 1978)
3. Bustamante, J.I, "Seismic shears and overtuning moments in buildings", *Procs III World Conference on Earthquake Engineering, Vol. III, Nueva Zelanda (1965), 144-160*
4. Aranda, G.R., Rascón, O.A. y Díaz, O.J., "Método cuasidinámico para el análisis sísmico de edificios irregulares en elevación", *Informe de investigación, Instituto de Ingeniería, UNAM* (jul, 1981)
5. Aranda, G.R., Rascón, O.A., y Díaz, O.J. "Seismic analysis of irregular buildings", *Procs VII European Conference on Earthquake Engineering, Atenas, Grecia* (sep, 1982)
6. "Earthquake resistant regulations. A world list", *International Association for Earthquake Engineering, Tokio, Japón* (ago, 1980)

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

ZONA D F	$\beta_i$	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 2. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS (EC 4) Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MUESTRAS DE CORTANTE ACOPLADOS

Error, en porcentaje	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	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6
0 - 2		5	3	4	6	5	5	4	6	5	5	5
2 - 4	1	5	3	4	1	3	3	4	1	3	3	5
4 - 6			6	2	3			2	3		1	3
6 - 8	1	1	1	1	3	5	3	1	3	5	3	
8 - 10			2	2	7	3	2	4	7	3	4	3
10 - 15			4	4	6	8	4	4	6	8	4	6
15 - 20		1	1	1	9	6	1	1	9	6	7	6
20 - 25				1	2	3	1	1	2	3	6	3
25 - 30			1	1	3	5	1	1	3	5	5	4
30 - 40					5	4			5	4	3	4
> 40					1	1			1	1	3	1
Total	2	12	21	20	46	43	20	20	46	43	44	35
Total de comparaciones	220	220	220	220	360	360	220	220	360	360	360	360

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

Error, en porcentaje	Terreno de transición								
	H/B = 1.2			H/B = 3.6					
	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	Q=1	Q=2	Q=4	Q=6	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	1	3		
25 - 30					1	1	1	1	
30 - 40						1	1		
Total	1	16	8	22	29	38	11		
Total de comparaciones	220	220	220	360	360	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. MUESTRAS DE CORTANTE ACOPLADOS

Error, en porcentaje	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	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			1	3	1	
25 - 30						1	1		
30 - 40							1		
Total	1	18	8	18	29	34	7		
Total de comparaciones	220	220	220	360	360	360	360	360	360



TABLA 7. NUMERO DE CASOS CON ERROR AL CALCULAR LAS FUERZAS CORTANTES CUASIDINAMICAS (EC 4) Y COMPARARLAS, EN CADA NIVEL, CON LAS DINAMICAS. MARCOS RIGIDOS

Error, en porcentaje	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)*				ERROR (%) (METODO ESTATICO)	
	V <sub>F</sub>	V <sub>D</sub>	V <sub>E</sub>	M <sub>F</sub>	M <sub>D</sub>	M <sub>E</sub>	FOR NIVEL		RESPECTO AL BASAL		V	M	V	M
							V	M	V	M				
30	0.597	1.253	1.044	1.791	3.759	3.133	-52.364	-52.364	-0.144	-2.775	-14.674	-14.674		
29	1.355	2.281	2.327	5.854	10.445	10.232	-40.636	-40.636	-0.337	-3.921	3.729	3.729		
28	3.278	5.214	5.246	12.818	19.730	19.730	-29.836	-29.836	-0.522	-4.056	22.798	22.798		
27	4.402	4.072	3.761	22.452	31.348	30.955	-19.496	-19.496	-0.653	-3.357	41.429	41.429		
26	5.606	4.868	4.514	33.657	45.073	42.724	-9.578	-9.578	-0.691	-1.972	60.015	60.015		
25	6.868	5.614	5.291	45.474	60.720	57.959	-0.153	-0.153	-0.370	-0.036	79.301	79.301		
24	8.168	6.966	6.584	57.079	78.126	73.932	8.664	8.664	0.031	2.316	96.208	96.208		
23	9.483	7.651	7.169	67.847	97.145	91.403	16.754	16.754	0.609	4.958	113.536	113.536		
22	10.807	8.255	7.651	76.467	117.745	109.752	23.999	23.999	0.670	7.666	130.136	130.136		
21	12.110	8.836	8.155	83.800	137.745	126.752	30.266	30.266	1.370	10.426	145.705	145.705		
20	13.383	9.326	8.583	89.843	153.330	138.496	35.523	35.523	2.312	13.426	160.047	160.047		
19	14.610	9.742	8.917	94.776	168.190	148.938	39.652	39.652	3.430	16.071	172.297	172.297		
18	15.780	10.098	9.242	98.774	181.542	158.230	42.646	42.646	4.712	18.473	184.377	184.377		
17	16.883	10.316	9.496	101.816	192.750	167.579	44.524	44.524	6.104	20.561	193.964	193.964		
16	17.911	10.416	9.579	103.735	201.439	173.733	45.343	45.343	7.704	22.277	201.938	201.938		
15	18.857	10.398	9.536	104.471	207.425	177.873	45.193	45.193	9.373	23.580	208.250	208.250		
14	19.716	10.339	9.415	104.021	210.824	179.679	44.190	44.190	11.125	24.443	212.992	212.992		
13	20.485	10.215	9.225	102.341	211.641	178.000	42.467	42.467	12.936	24.857	216.300	216.300		
12	21.174	10.039	9.016	100.574	210.773	174.824	40.135	40.135	14.779	24.828	218.341	218.341		
11	21.741	9.814	8.744	97.722	208.072	170.221	37.435	37.435	16.628	24.380	219.399	219.399		
10	22.184	9.544	8.426	93.816	203.426	164.284	34.417	34.417	18.460	23.232	220.628	220.628		
9	22.507	9.226	8.068	88.872	196.742	156.034	31.247	31.247	20.255	22.098	221.799	221.799		
8	22.714	8.864	7.674	82.955	187.035	144.539	28.054	28.054	21.985	20.986	221.501	221.501		
7	22.804	8.464	7.254	76.145	175.284	130.834	24.954	24.954	23.642	19.749	220.514	220.514		
6	22.784	8.034	6.814	68.454	161.534	115.034	22.055	22.055	25.213	18.442	218.792	218.792		
5	22.654	7.574	6.344	59.874	145.874	98.874	19.452	19.452	26.689	17.119	216.665	216.665		
4	22.424	7.084	5.834	50.424	128.874	81.874	15.474	15.474	28.070	14.626	213.824	213.824		
3	22.094	6.564	5.284	40.124	110.424	63.424	11.256	11.256	29.351	13.371	211.628	211.628		
2	21.664	6.014	4.714	29.124	90.424	43.424	13.638	13.638	31.690	12.001	211.190	211.190		
1	21.134	5.444	4.144	17.424	69.424	22.424	13.638	13.638	31.690	12.001	211.190	211.190		

\* 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	$V_{dr}$	$V_r^*$	$\lambda$									
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75**	0.80	0.90	1.0		
20	1.25312	0.52624	2.58875	2.25487	1.68892	1.24530	1.06361	0.96605	0.79427	0.65029		
19	2.28148	4.35434	4.12053	3.84723	3.52475	3.18304	2.80226	2.40271	2.03885	1.73385		
18	3.21171	5.25488	5.03723	4.74150	4.46325	4.11580	3.74192	3.34107	2.97558	2.64463		
17	4.07157	6.07778	5.89130	5.58320	5.26320	4.91404	4.54192	4.14927	3.79334	3.471813		
16	4.86800	6.84176	6.60579	6.26325	5.91361	5.54635	5.15187	4.73337	4.34541	3.99874		
15	5.61438	7.56579	7.29056	6.92056	6.54176	6.14635	5.73579	5.30869	4.91640	4.56290		
14	6.32056	8.25056	7.94299	7.54635	7.14176	6.72869	6.30635	5.87579	5.48640	5.13874		
13	6.99429	8.90719	8.56299	8.14176	7.71635	7.28635	6.85192	6.41369	6.02140	5.67429		
12	7.63579	9.53723	9.17299	8.73429	8.29176	7.84530	7.39429	6.93869	6.58869	6.28429		
11	8.24635	10.14176	9.75429	9.30176	8.84530	8.38429	7.91869	7.44869	7.08869	6.82429		
10	8.82635	10.72176	10.30176	9.83429	9.36176	8.88429	8.40176	7.91176	7.52176	7.18176		
9	9.37635	11.28176	10.81176	10.32429	9.84176	9.35429	8.86176	8.36176	7.96176	7.62176		
8	9.89635	11.82176	11.33176	10.84429	10.35176	9.86429	9.37176	8.87176	8.47176	8.13176		
7	10.38635	12.34176	11.83176	11.35429	10.86176	10.37429	9.88429	9.38176	8.98176	8.64176		
6	10.84635	12.84176	12.33176	11.86429	11.38429	10.90429	10.41429	9.91429	9.51429	9.17429		
5	11.27635	13.32176	12.80176	12.35429	11.89429	11.43429	10.95429	10.47429	10.07429	9.73429		
4	11.67635	13.78176	13.25176	12.84429	12.40429	11.95429	11.50429	11.03429	10.63429	10.29429		
3	12.04635	14.22176	13.69176	13.28429	12.85429	12.41429	11.97429	11.53429	11.13429	10.79429		
2	12.38635	14.64176	14.11176	13.70429	13.27429	12.84429	12.41429	11.97429	11.53429	11.13429		
1	12.69635	15.04176	14.51176	14.10429	13.67429	13.26429	12.84429	12.41429	11.97429	11.53429		

\*\* 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

ENTRERISO	CORTANTE, ton				MOMENTO, ton-m				ERROR (%)				ERROR (%) (METODO ESTADISTICO)	
	V <sub>F</sub>	V <sub>dF</sub>	V <sub>eF</sub>	M <sub>F</sub>	M <sub>dF</sub>	M <sub>eF</sub>	RESPECTO AL BASAL		RESPECTO AL BASAL		V	M	V	M
							V	M	V	M				
30	0.615	1.039	1.044	1.846	3.117	3.133	-40.785	40.785	-0.785	40.785	-1.542	-0.084	0.476	0.494
28	1.390	3.133	3.367	6.015	9.518	10.332	-34.921	34.921	-34.921	34.921	-2.772	-0.231	10.700	7.506
26	3.356	4.591	5.761	12.941	21.143	23.071	-33.535	33.535	-33.535	33.535	-3.403	-0.408	22.157	15.295
24	4.513	5.706	7.790	26.543	41.805	47.400	-14.974	14.974	-14.974	14.974	-2.693	-0.581	46.736	33.379
22	5.766	6.935	10.011	53.846	65.819	75.755	-8.265	8.265	-8.265	8.265	-1.820	-0.776	59.374	41.310
20	7.074	7.926	12.401	75.127	86.371	100.959	-1.838	1.838	-1.838	1.838	-0.483	-0.740	71.615	50.467
18	8.479	8.141	14.941	100.263	109.440	129.782	-4.144	4.144	-4.144	4.144	-1.328	-0.584	83.521	59.706
16	9.902	9.040	17.609	130.262	134.731	207.608	9.540	9.540	9.540	9.540	3.138	-0.294	94.790	68.935
14	11.345	9.927	20.381	164.303	162.668	288.466	14.277	14.277	14.277	14.277	5.158	0.141	105.303	78.066
12	12.788	10.804	23.233	202.667	191.668	358.466	18.359	18.359	18.359	18.359	7.218	0.724	115.077	87.024
10	14.215	11.666	26.157	245.312	223.210	436.938	21.844	21.844	21.844	21.844	9.274	1.455	124.210	95.752
8	15.609	12.509	29.117	292.141	256.744	524.290	24.787	24.787	24.787	24.787	11.243	2.380	132.773	104.207
6	16.959	13.337	32.093	343.017	292.237	620.579	27.156	27.156	27.156	27.156	13.179	3.343	140.659	112.354
4	18.253	14.173	35.073	397.777	329.218	725.799	28.795	28.795	28.795	28.795	14.850	4.481	147.475	120.141
2	19.489	15.029	38.026	456.745	369.493	839.878	29.595	29.595	29.595	29.595	16.195	5.729	152.475	127.475
1	20.662	15.934	40.934	518.531	410.929	962.679	29.672	29.672	29.672	29.672	17.204	7.063	156.894	134.269
1	21.761	16.893	43.774	583.512	454.902	1094.000	29.317	29.317	29.317	29.317	17.949	8.463	160.126	140.471
1	22.775	17.712	46.525	651.838	501.163	1233.575	28.584	28.584	28.584	28.584	18.423	9.918	162.647	146.142
1	23.698	18.597	49.166	722.933	549.703	1381.072	27.496	27.496	27.496	27.496	18.597	11.403	164.512	151.240
1	24.522	19.453	51.674	796.422	600.493	1536.184	26.058	26.058	26.058	26.058	18.446	12.902	165.641	155.806
1	25.241	20.305	54.030	872.322	653.495	1698.184	24.309	24.309	24.309	24.309	17.941	14.393	166.084	159.861
1	25.854	20.939	56.209	949.785	708.674	1864.812	22.513	22.513	22.513	22.513	17.163	15.871	165.919	163.423
1	26.360	21.437	58.192	1028.864	765.962	2041.388	20.162	20.162	20.162	20.162	16.094	17.306	165.271	166.513
1	26.760	21.865	59.957	1109.144	825.782	2221.257	17.974	17.974	17.974	17.974	14.829	18.686	164.302	169.181
1	27.060	22.260	61.481	1190.324	886.524	2405.934	15.938	15.938	15.938	15.938	13.463	19.993	163.186	171.364
1	27.368	22.639	62.723	1272.130	949.540	2593.834	14.001	14.001	14.001	14.001	12.116	21.235	162.100	173.178
1	27.597	22.996	63.723	1354.320	1014.143	2785.105	12.301	12.301	12.301	12.301	10.970	22.593	161.206	174.624
1	27.746	24.709	64.398	1436.703	1080.109	2978.296	11.137	11.137	11.137	11.137	10.014	23.973	160.625	175.741
1	27.881	24.863	64.746	1519.145	1147.190	3172.536	10.531	10.531	10.531	10.531	9.527	24.485	160.415	176.548

\* 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	$V_{dr}$	$V_{dr}^*$	0.25	0.33	0.50	0.66	$\lambda$	0.75 **	0.80	0.90	1.0
30	1.03992	0.61826	2.45738	2.15216	1.65472	1.32830	1.05387	0.56117	0.78801	0.78801	0.65791
29	2.13753	1.39777	4.37244	4.09372	3.23714	2.56824	2.03760	2.07230	2.75332	2.75332	1.48882
28	3.23056	2.30377	6.14097	5.93705	4.84535	3.90892	3.09712	3.09712	3.64502	3.64502	2.44964
27	4.32063	3.23330	7.85839	7.71028	6.45793	5.35518	4.18418	4.18418	4.95533	4.95533	3.45335
26	5.40844	4.21111	9.52111	9.42028	8.07708	6.84792	5.39072	5.39072	6.36232	6.36232	4.51074
25	6.49570	5.18776	11.13776	11.06753	9.63334	8.35934	6.75843	6.75843	7.93448	7.93448	5.57416
24	7.58236	6.16369	12.70369	12.64725	11.23743	9.85594	7.95420	7.95420	9.38920	9.38920	6.64716
23	8.66902	7.13967	14.21967	14.15441	12.74770	11.40432	9.47724	9.47724	10.83497	10.83497	7.72412
22	9.75568	8.11565	15.73565	15.66039	14.25097	12.89912	10.56017	10.56017	12.34971	12.34971	8.80471
21	10.84234	9.09163	17.25163	17.16567	15.75377	14.39750	11.63371	11.63371	13.86446	13.86446	9.88924
20	11.92900	10.06761	18.76761	18.66980	17.25656	15.88588	12.70722	12.70722	15.37921	15.37921	10.97478
19	13.01566	11.04359	20.28359	20.17243	18.75935	17.37426	13.78093	13.78093	16.89396	16.89396	12.06032
18	14.10232	12.01957	21.79957	21.67621	20.26214	18.86264	14.85464	14.85464	18.40871	18.40871	13.14586
17	15.18898	13.00000	23.31550	23.19716	21.74493	20.35002	15.92837	15.92837	19.92346	19.92346	14.23140
16	16.27564	14.00000	24.83143	24.70080	23.22772	21.83740	17.00210	17.00210	21.43821	21.43821	15.31694
15	17.36230	15.00000	26.34736	26.20416	24.71051	23.32678	18.07583	18.07583	22.95296	22.95296	16.40248
14	18.44896	16.00000	27.86329	27.70688	26.19332	24.81616	19.14956	19.14956	24.46771	24.46771	17.48802
13	19.53562	17.00000	29.37922	29.20847	27.67613	26.30554	20.22329	20.22329	25.98246	25.98246	18.57356
12	20.62228	18.00000	30.89515	30.71121	29.15894	27.79496	21.29692	21.29692	27.49721	27.49721	19.65910
11	21.70894	19.00000	32.41108	32.21395	30.64175	29.28438	22.37055	22.37055	29.01196	29.01196	20.74464
10	22.79560	20.00000	33.92701	33.71662	32.12456	31.27380	23.44418	23.44418	30.52671	30.52671	21.83018
9	23.88226	21.00000	35.44294	35.21929	33.60737	32.76702	24.51781	24.51781	32.04146	32.04146	22.91572
8	24.96892	22.00000	36.95887	36.72196	35.09018	34.25644	25.59144	25.59144	33.55621	33.55621	24.00126
7	26.05558	23.00000	38.47480	38.22463	36.57299	35.74586	26.66507	26.66507	35.07096	35.07096	25.08680
6	27.14224	24.00000	39.99073	39.72730	38.05580	37.23528	27.73870	27.73870	36.58571	36.58571	26.17234
5	28.22890	25.00000	41.50666	41.23007	39.53861	38.72470	28.81233	28.81233	38.10046	38.10046	27.25788
4	29.31556	26.00000	43.02259	42.73274	41.02142	40.21412	29.88596	29.88596	39.61521	39.61521	28.34342
3	30.40222	27.00000	44.53852	44.23541	42.50423	41.70554	30.95959	30.95959	41.12996	41.12996	29.42896
2	31.48888	28.00000	46.05445	45.73808	43.98704	43.19696	32.03322	32.03322	42.64471	42.64471	30.51450
1	32.57554	29.00000	47.57038	47.24075	45.46985	44.68838	33.10685	33.10685	44.15946	44.15946	31.60004

\*\* 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 (%)						
	$V_d^*$	$V_r$	$M_r^*$	$M_{dr}$	$M_{er}$	RESPECTO AL BASAL		RESPECTO AL BASAL		RESPECTO AL BASAL		RESPECTO AL BASAL	
						FOR NIVEL	M	FOR NIVEL	M	FOR NIVEL	M	FOR NIVEL	M
30	1.937	3.396	5.811	5.273	10.187	10.198	10.198	0.930	0.099	93.181	0.099	93.181	93.181
29	3.805	6.678	17.225	13.474	30.222	34.370	34.370	3.048	0.273	135.855	0.273	135.855	124.294
28	5.595	9.648	23.008	19.712	38.476	42.219	42.219	10.113	0.735	170.216	0.735	170.216	149.930
27	7.295	12.904	28.822	23.710	45.476	48.577	48.577	16.425	1.469	215.535	1.469	215.535	175.766
26	8.995	15.847	34.577	27.870	52.577	55.677	55.677	23.603	2.266	266.845	2.266	266.845	205.056
25	10.749	18.677	40.277	31.980	59.677	62.777	62.777	30.781	3.069	318.045	3.069	318.045	236.856
24	12.549	21.392	45.925	35.908	66.725	69.825	69.825	36.959	3.872	369.245	3.872	369.245	268.656
23	14.395	23.997	51.525	39.809	73.725	76.825	76.825	43.129	4.675	420.445	4.675	420.445	299.456
22	16.287	26.487	57.075	43.689	80.725	83.825	83.825	49.299	5.478	471.645	5.478	471.645	330.256
21	18.225	28.864	62.575	47.549	87.725	90.825	90.825	55.469	6.281	522.845	6.281	522.845	361.056
20	20.209	31.128	68.025	51.389	94.725	97.825	97.825	61.639	7.084	574.045	7.084	574.045	391.856
19	22.239	33.279	73.425	55.209	101.725	104.825	104.825	67.809	7.887	625.245	7.887	625.245	422.656
18	24.315	35.316	78.775	59.009	108.725	111.825	111.825	74.009	8.690	676.445	8.690	676.445	453.456
17	26.437	37.240	84.075	62.789	115.725	118.825	118.825	80.209	9.493	727.645	9.493	727.645	484.256
16	28.605	39.051	89.325	66.549	122.725	125.825	125.825	86.409	10.296	778.845	10.296	778.845	515.056
15	30.819	40.751	94.525	70.289	129.725	132.825	132.825	92.609	11.099	830.045	11.099	830.045	545.856
14	33.079	42.344	99.675	74.009	136.725	139.825	139.825	98.809	11.902	881.245	11.902	881.245	576.656
13	35.385	43.831	104.775	77.709	143.725	146.825	146.825	105.009	12.705	932.445	12.705	932.445	607.456
12	37.737	45.214	109.825	81.389	150.725	153.825	153.825	111.209	13.508	983.645	13.508	983.645	638.256
11	40.135	46.494	114.825	85.049	157.725	160.825	160.825	117.409	14.311	1034.845	14.311	1034.845	669.056
10	42.579	47.671	119.775	88.689	164.725	167.825	167.825	123.609	15.114	1086.045	15.114	1086.045	700.856
9	45.069	48.744	124.675	92.309	171.725	174.825	174.825	129.809	15.917	1137.245	15.917	1137.245	732.656
8	47.605	49.714	129.525	95.909	178.725	181.825	181.825	136.009	16.720	1188.445	16.720	1188.445	764.456
7	50.187	50.581	134.325	99.489	185.725	188.825	188.825	142.209	17.523	1239.645	17.523	1239.645	796.256
6	52.815	51.344	139.075	103.049	192.725	195.825	195.825	148.409	18.326	1290.845	18.326	1290.845	828.056
5	55.489	52.004	143.775	106.589	199.725	202.825	202.825	154.609	19.129	1342.045	19.129	1342.045	860.856
4	58.209	52.564	148.425	110.109	206.725	209.825	209.825	160.809	19.932	1393.245	19.932	1393.245	893.656
3	60.975	53.024	153.025	113.609	213.725	216.825	216.825	167.009	20.735	1444.445	20.735	1444.445	926.456
2	63.787	53.384	157.575	117.089	220.725	223.825	223.825	173.209	21.538	1495.645	21.538	1495.645	959.256
1	66.645	53.644	162.075	120.549	227.725	230.825	230.825	179.409	22.341	1546.845	22.341	1546.845	992.056

\* 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  $Q=6$

ENTRE- PISO	$V_{dr}$	$V_r^*$	$\lambda$										Ver Modificado
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75	0.80	0.90**	1.0			
1	75774	93700	19756	477937	98971	327353	94613	375997	41122	202403	6289		
2	81151	80470	14881	721611	697076	57278	52323	512323	459550	410045	131027		
3	44434	59481	79491	725026	15033	85920	82529	721028	52672	410070	90304		
4	93952	82481	12004	108290	12314	56564	97174	97122	42272	780114	63421		
5	33163	82481	16204	135898	58850	74564	17674	12878	109785	946993	765701		
6	71191	82481	17976	157830	99426	17734	148978	48068	146164	11238433	97441		
7	2493	82481	81221	52792	63371	10478	4078	58694	10187	1360833	108630		
8	37014	82481	13221	15484	71906	71924	15854	51854	15187	146633	115035		
9	7016	82481	82801	93932	21227	71924	4680	27224	22449	1555035	13035		
10	106	82481	15175	179387	74979	74204	19204	87428	57596	1679025	145400		
11	3248	82481	17620	25044	96159	62151	12151	31257	39236	1713942	155400		
12	1124	82481	51987	41044	16654	87541	7541	71288	60999	1713942	160800		
13	3921	82481	50550	57971	39139	14307	3333	92688	74935	1755905	170878		
14	9911	82481	66441	7971	37973	14307	3333	92688	74935	1755905	170878		
15	33268	82481	76674	71517	54913	35096	5096	16870	01815	1812081	180878		
16	68268	82481	86674	83134	69580	35096	5096	16870	01815	1812081	180878		
17	99224	82481	97624	93000	82151	69012	9012	56762	26536	1835419	190878		
18	15524	82481	10847	10277	92793	62445	62445	72254	79947	1835419	190878		
19	3777	82481	13676	13122	11664	93737	93737	86254	92752	1835419	190878		
20	7877	82481	15676	15676	18929	10350	10350	97474	03176	1835419	190878		
21	17004	82481	19494	18089	29229	10552	10552	10552	03176	1835419	190878		
22	38873	82481	24227	21489	47235	16418	16418	13714	17406	1835419	190878		
23	97830	82481	32427	324010	22600	20828	20828	19119	17406	1835419	190878		
24	51444	82481	4595	25786	24985	23974	23974	23980	22150	1921208	20291		
25	21846	82481	327108	32746	26553	26054	26054	25760	25148	1921208	20291		
26	41361	82481	327682	327620	27904	27074	27074	27088	26925	1921208	20291		
27	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
28	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
29	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
30	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
31	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
32	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
33	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
34	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
35	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
36	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
37	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
38	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
39	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
40	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
41	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
42	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
43	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
44	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
45	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
46	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
47	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
48	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
49	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		
50	94888	82481	27959	27959	27904	27860	27860	27816	27778	1921208	20291		

\*\* 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

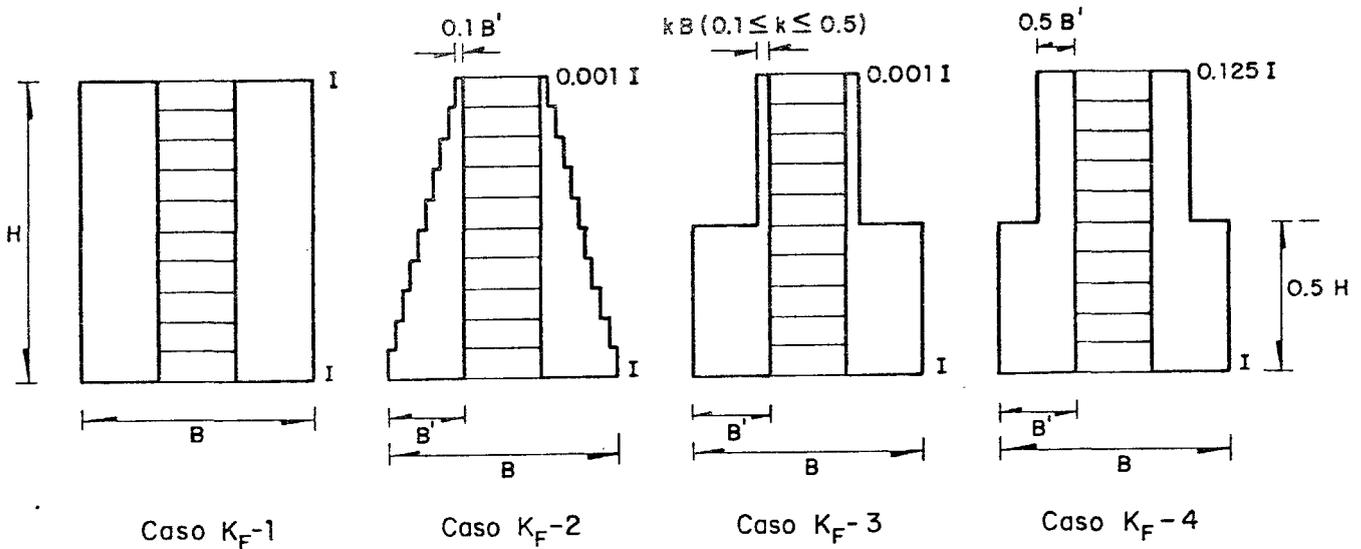
ENTREPISO	CORTANTE, ton			MOMENTO, ton-m			ERROR (%) (METODO CUASIDINAMICO)*			ERROR (%) (METODO ESTADICO)		
	V <sub>r</sub> *	V <sub>dr</sub>	V <sub>er</sub>	M <sub>r</sub> *	M <sub>dr</sub>	M <sub>er</sub>	RESPECTO AL BASAL			FOR NIVEL		
							V	M	M	V	V	M
20	12.523	14.534	35.206	36.044	43.602	105.618	-17.333	-1.968	-0.143	142.233	142.233	
19	24.528	24.768	68.651	106.612	117.393	311.572	-9.184	-0.973	-0.205	177.177	165.409	
18	34.508	31.901	100.337	1210.135	210.357	612.582	-0.106	2.037	-0.004	214.529	191.211	
17	44.501	33.048	130.261	344.889	317.816	1003.345	8.144	5.394	0.514	242.362	215.207	
16	54.536	33.759	158.426	509.427	439.324	1473.643	15.257	8.662	1.330	262.118	235.519	
15	64.145	43.759	184.830	701.231	573.598	2033.133	22.086	13.175	2.430	280.600	254.266	
14	72.970	48.545	209.474	920.514	719.557	2661.253	32.664	15.874	3.814	298.657	269.098	
13	80.459	52.032	232.357	1163.423	874.486	3358.627	44.378	19.772	5.483	314.316	284.098	
12	88.459	55.314	253.481	1428.802	1037.306	4117.601	49.133	22.810	7.430	327.357	297.098	
11	95.313	57.261	272.844	1714.742	1206.947	4937.640	53.038	25.810	8.637	345.633	309.115	
10	101.523	65.176	290.447	2019.309	1382.704	5808.940	55.766	28.395	12.081	349.188	320.115	
9	107.076	68.187	306.289	2340.526	1564.390	6727.806	57.032	30.761	14.739	349.346	330.055	
8	111.963	71.313	320.371	2674.456	1752.242	7688.919	57.002	32.947	17.539	346.546	336.855	
7	116.177	74.453	332.632	3024.856	1946.646	8686.977	56.040	32.947	23.464	342.567	346.372	
6	119.709	77.542	343.654	3384.084	2147.958	9716.759	52.187	32.836	23.459	337.178	352.170	
5	124.555	80.526	352.055	3751.748	2356.436	10770.324	48.698	32.346	23.480	331.048	360.708	
4	128.710	83.308	359.076	4125.877	2572.472	11850.313	47.232	31.626	23.441	325.186	363.033	
3	126.969	85.698	364.376	4504.401	2794.274	12943.542	45.160	30.868	23.519	320.607	364.433	
2	127.986	87.448	367.897	4885.307	3024.230	14047.033	41.238	29.505	23.381	315.099	365.380	
1		95.343	376.638	5269.265	3261.235	15177.126	34.238	25.505	23.108	293.099	365.380	

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

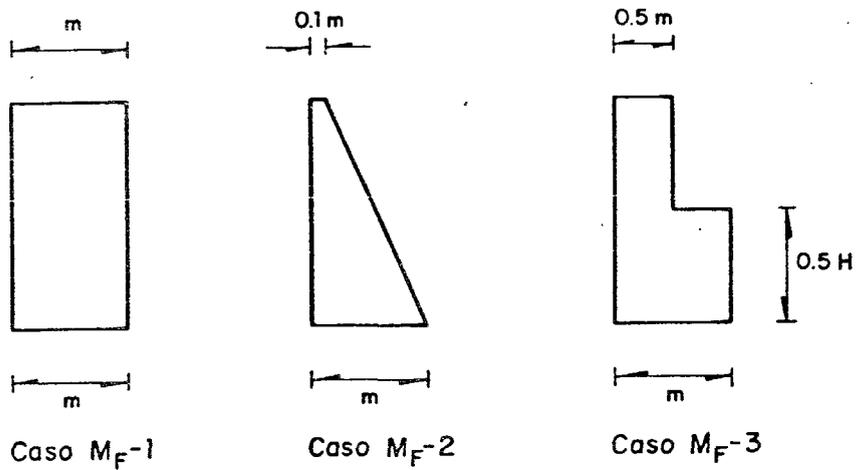
TABLA 15. COMPARACION DE CORTANTES DE ENTREPISO, EN TONELADAS, PARA DIFERENTES VALORES DEL PARAMETRO  $\lambda$ . MODELO ( $K_c=2, M_c=3$ ), CON  $H/B=4$ , EN TERRENO FIRME Y  $Q=1$

ENTRE- PISO	$V_{dt}$	$V_t^*$	$\lambda$									
			0.25	0.33	0.50	0.66	0.75	0.80	0.90	1.0	**	
20	14.53398	12.01474	93.25431	30.40983	25.10393	20.37514	18.24287	17.03934	14.80248	12.78985		
19	24.76798	23.52261	49.90035	44.39610	42.90295	36.34151	33.26640	31.49465	28.12563	24.99854		
18	31.90063	34.50757	64.39610	75.87460	56.98324	49.77298	44.26623	44.26623	40.33671	36.60573		
17	36.04776	44.95133	79.42951	85.26965	68.64254	61.40265	57.83632	55.72584	51.53991	47.59153		
16	43.74763	54.93101	89.07489	93.10663	78.52666	71.61343	68.14593	66.07319	61.26705	57.59314		
15	48.56274	64.84460	92.71496	92.71496	87.01365	80.63850	77.39056	75.43319	71.51729	67.62413		
14	52.54300	72.86106	102.23407	92.71496	94.34832	89.63213	85.68011	83.88793	80.27233	76.63738		
13	56.08218	80.97044	107.45820	105.31670	100.70031	95.70456	93.09323	91.49746	88.25391	84.95998		
12	59.31367	88.45832	111.84948	110.07020	106.19358	101.93784	99.68895	98.30649	95.47745	92.47818		
11	62.28079	95.31342	115.53439	114.09313	110.92228	107.39553	105.51324	104.34988	101.95442	99.47899		
10	65.17317	101.53253	118.60912	117.47590	114.96028	112.12823	110.60313	109.65570	107.69372	105.65064		
9	68.15225	107.07559	121.14892	120.28991	118.26709	116.17823	114.98923	114.24726	112.70232	111.03264		
8	71.31300	111.96310	123.21493	122.59293	121.19177	119.58001	118.69752	118.14445	116.28732	115.76357		
7	74.45340	116.17673	124.85373	124.43263	123.47561	122.36387	121.75061	121.36470	120.35333	119.69173		
6	77.54228	119.70928	126.10917	125.84913	125.25407	124.56631	124.16868	123.92382	123.40684	122.85433		
5	80.52205	122.55486	127.01552	126.87722	126.55861	126.18168	125.97087	125.83721	125.55381	125.24921		
4	83.30767	124.78969	127.60447	127.54864	127.41918	127.26469	127.17772	127.12239	127.00456	126.87727		
3	85.69305	126.47457	127.91042	127.89914	127.84082	127.84082	127.82277	127.81125	127.78661	127.75963		
2	87.46806	128.98367	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596		
1	95.34264	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596	127.98596		

\*\* Valor seleccionado



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



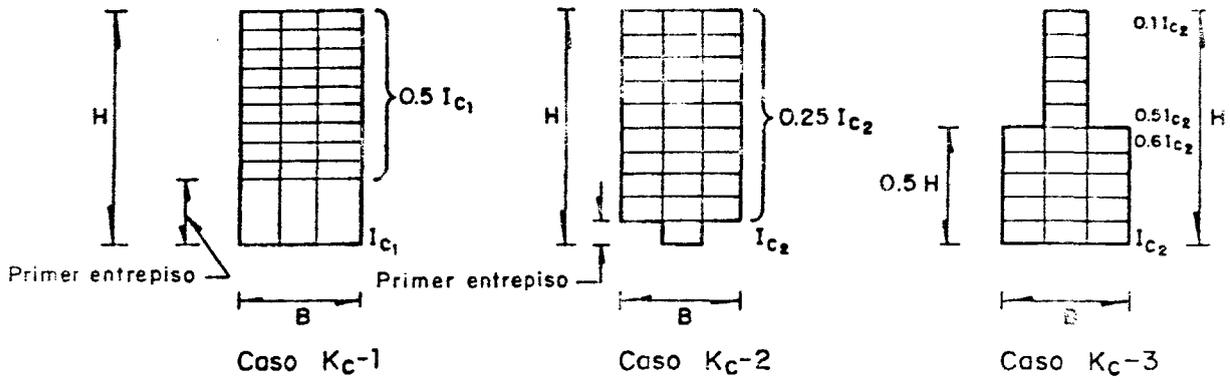
b) Masas, con  $m = 10 \text{ ton-s}^2/\text{m}$

Para  $H/B = 1.2$  ,  $n = 10$

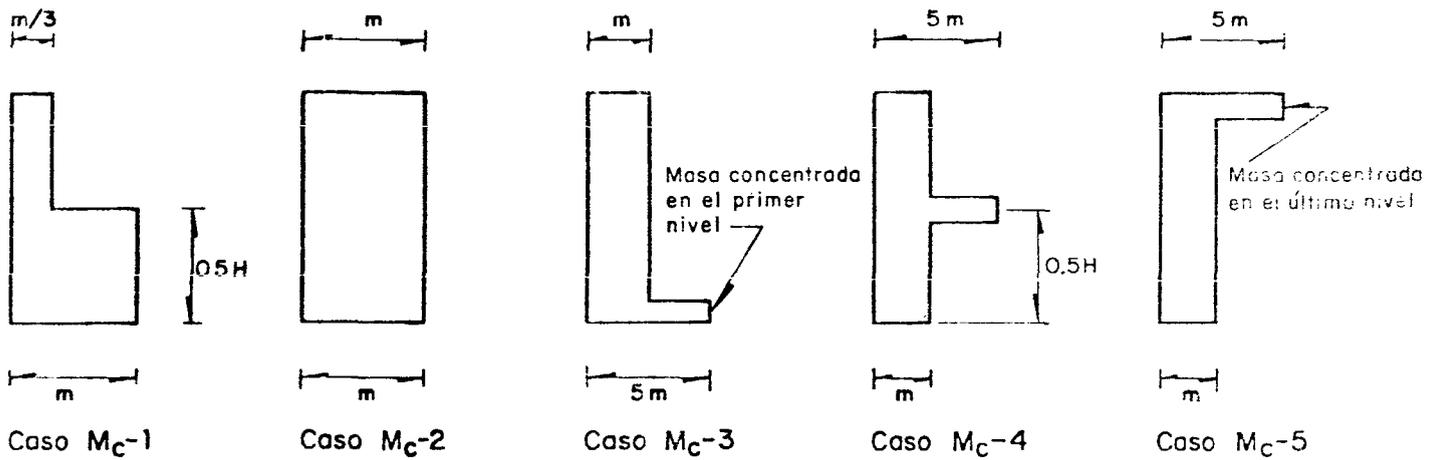
Para  $H/B = 3.6$  ,  $n = 30$

$n = \text{número de pisos}$

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



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



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

Para  $H/B = 2$  ,  $n = 10$

Para  $H/B = 4$  ,  $n = 20$

$n = \text{número de pisos}$

Fig 2. Variación de parámetros en los modelos de marcos

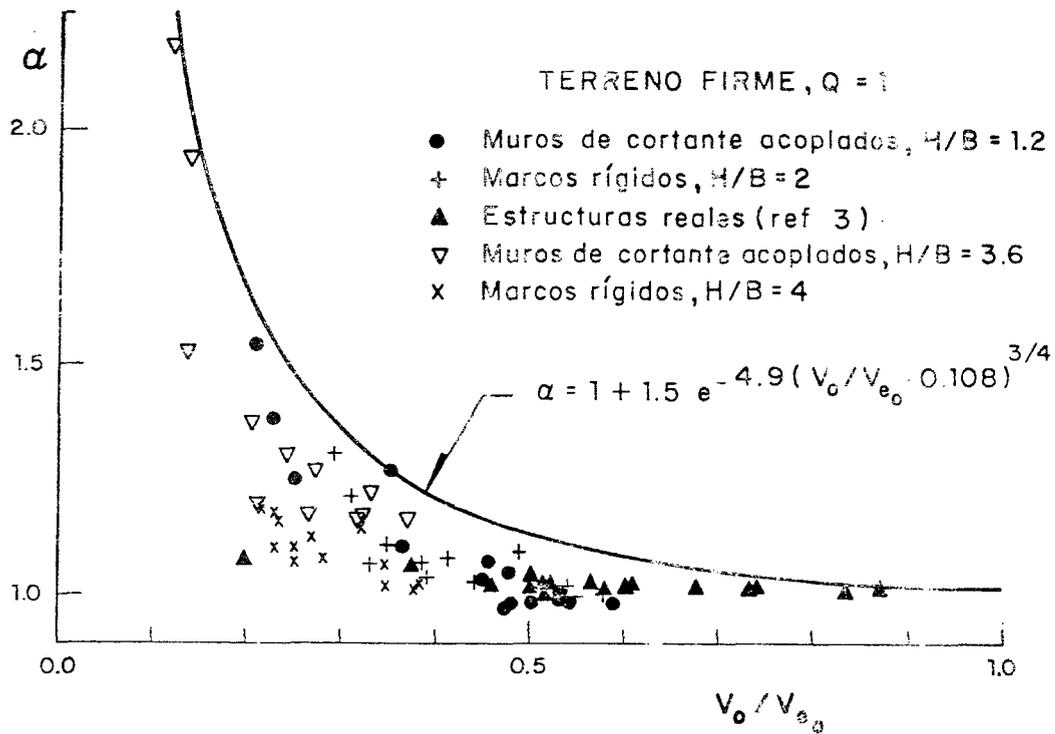


Fig 3. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D F

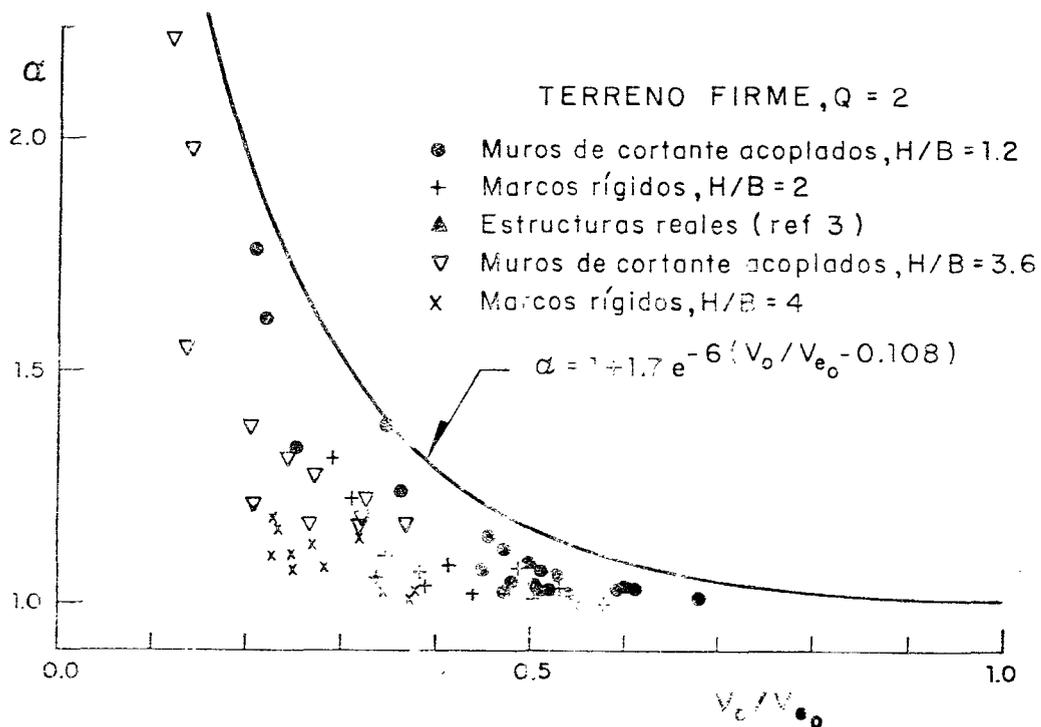


Fig 4. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D F

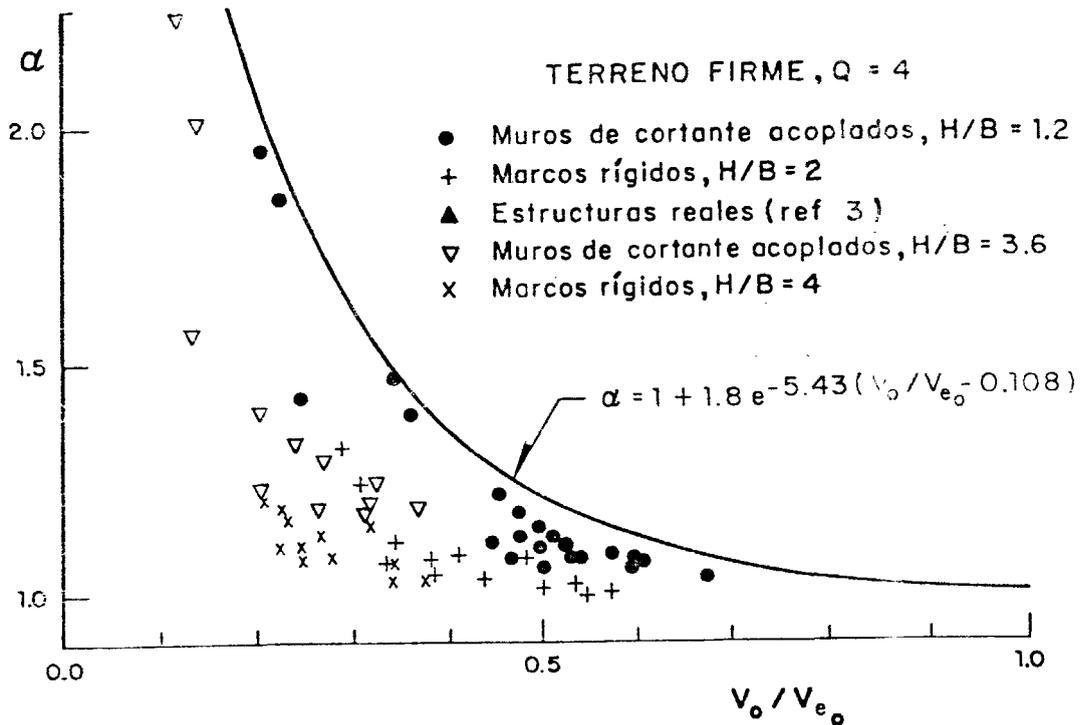


Fig 5. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D F

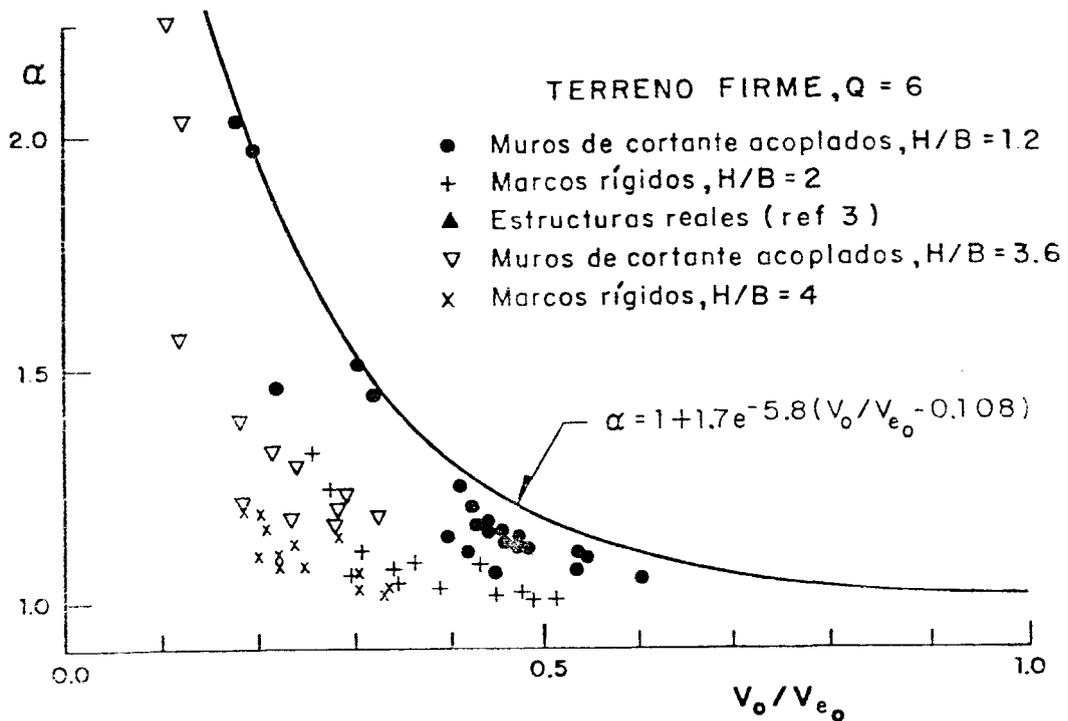


Fig 6. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno firme en el D F

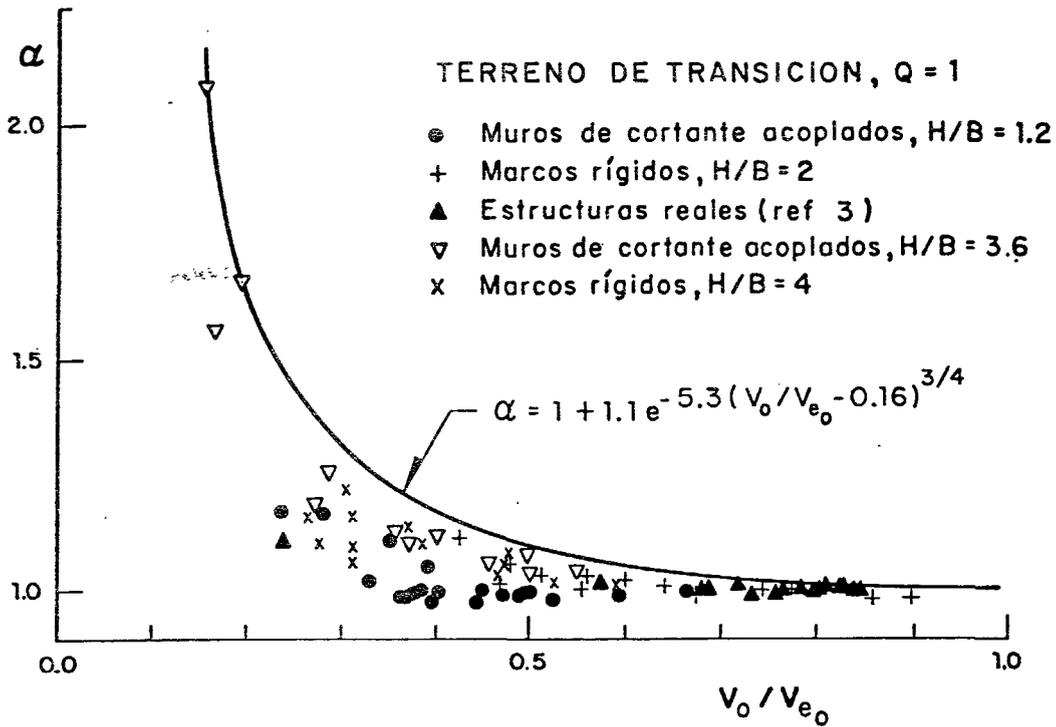


Fig 7. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D F

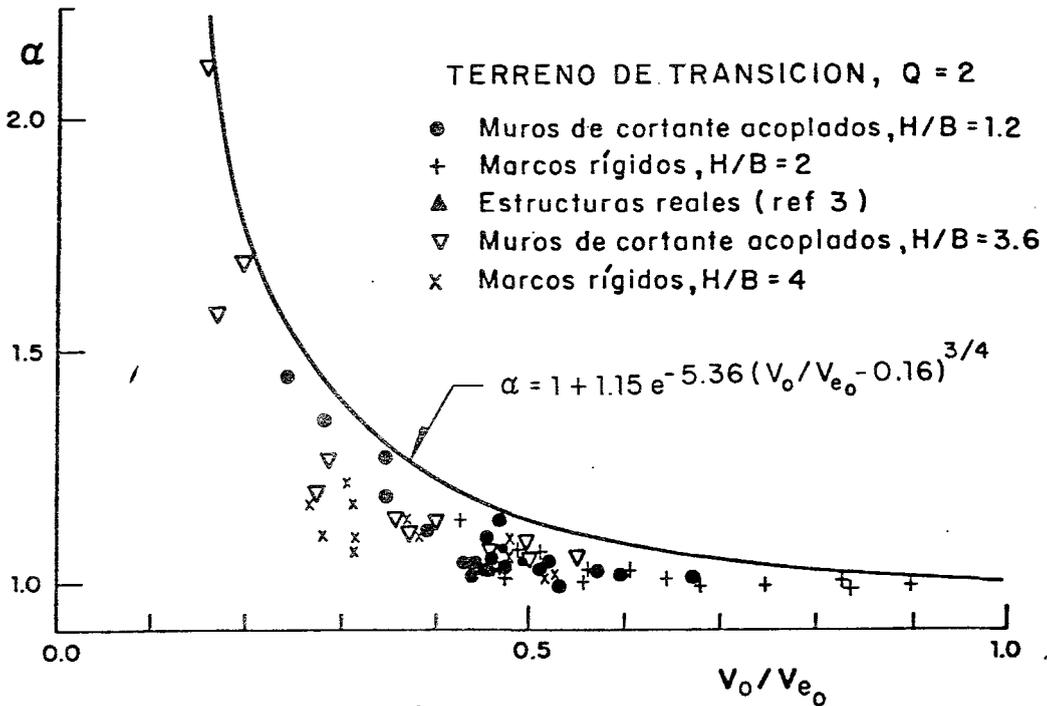


Fig 8. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D F

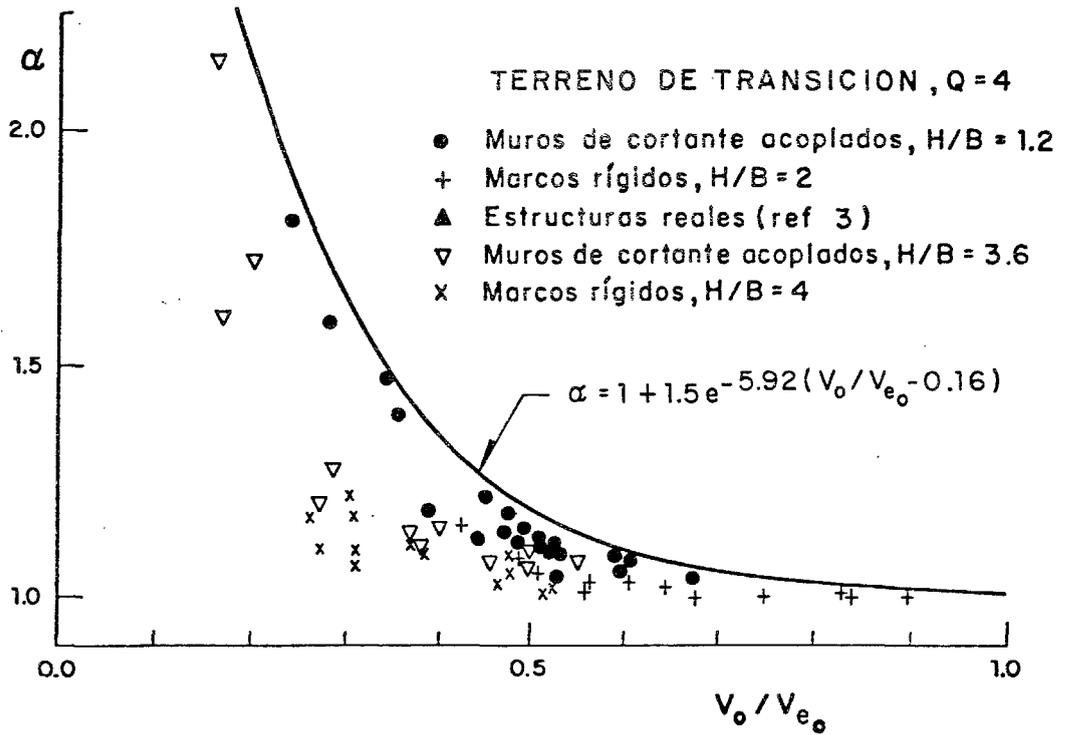


Fig 9. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D F

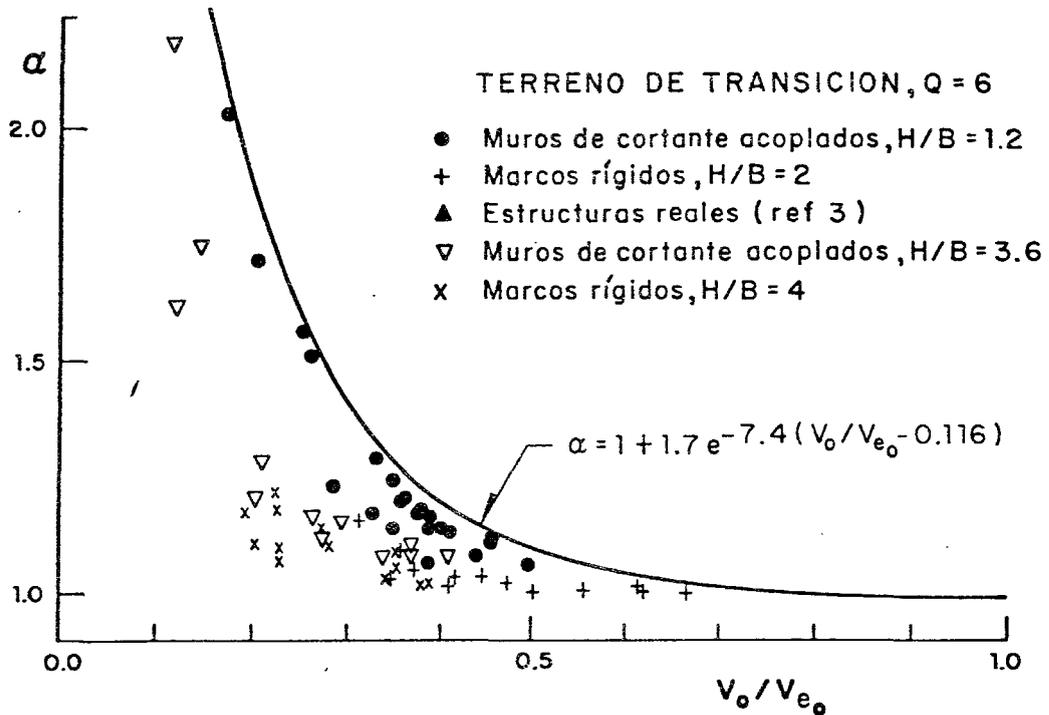


Fig 10. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno de transición en el D F

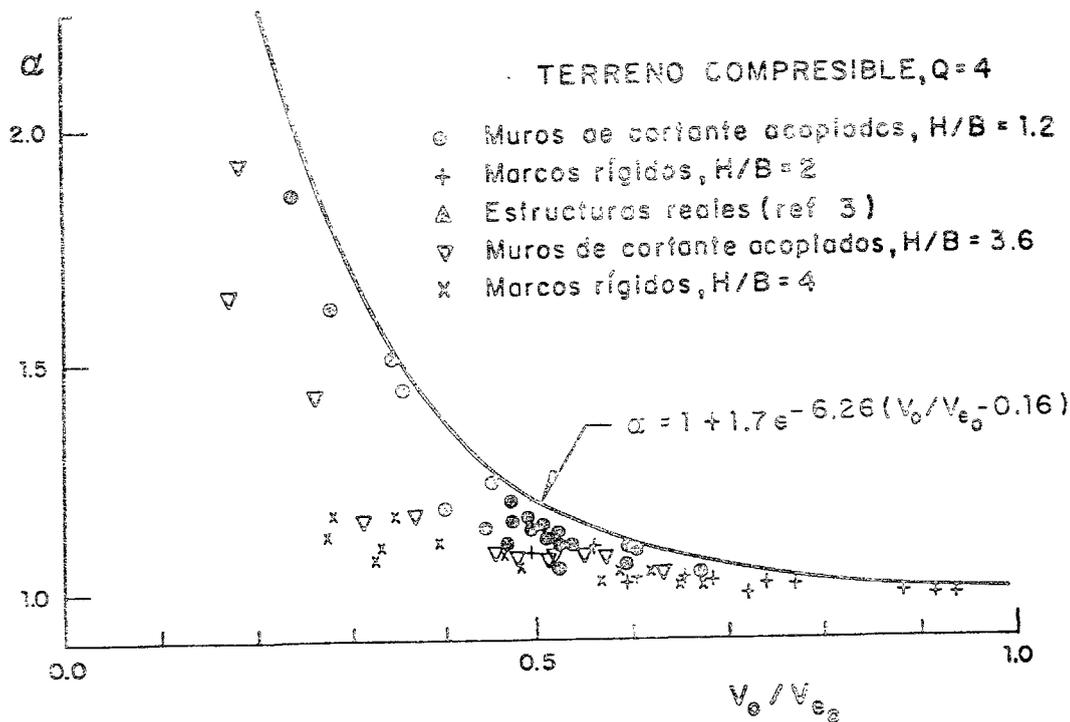


Fig 11. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D F

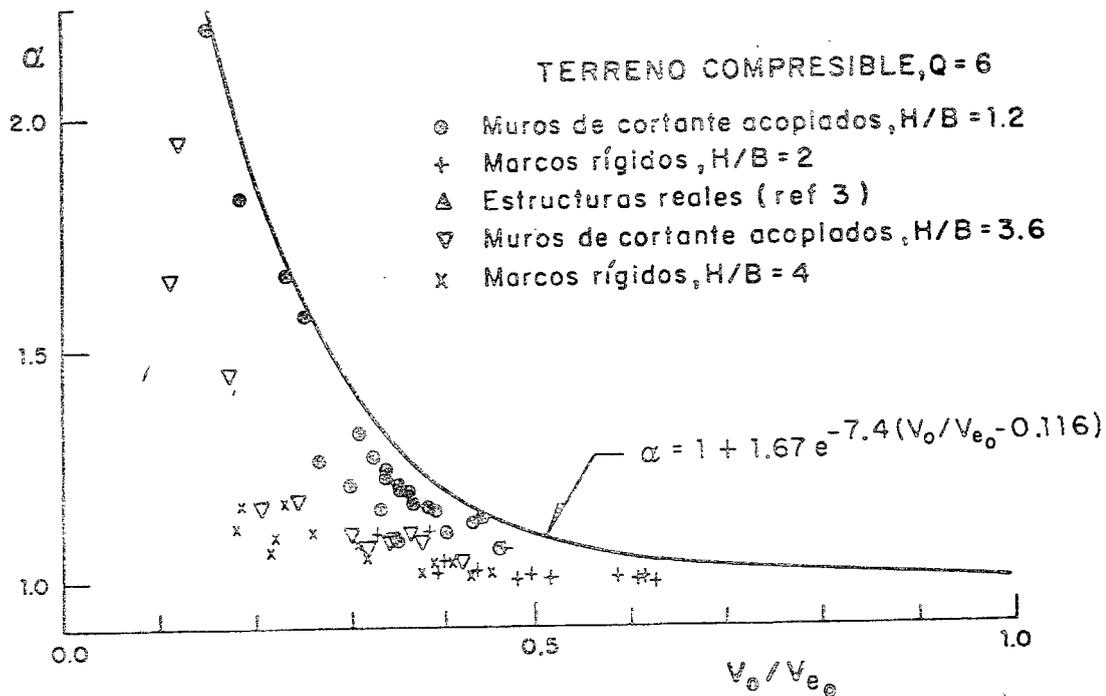


Fig 12. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D F

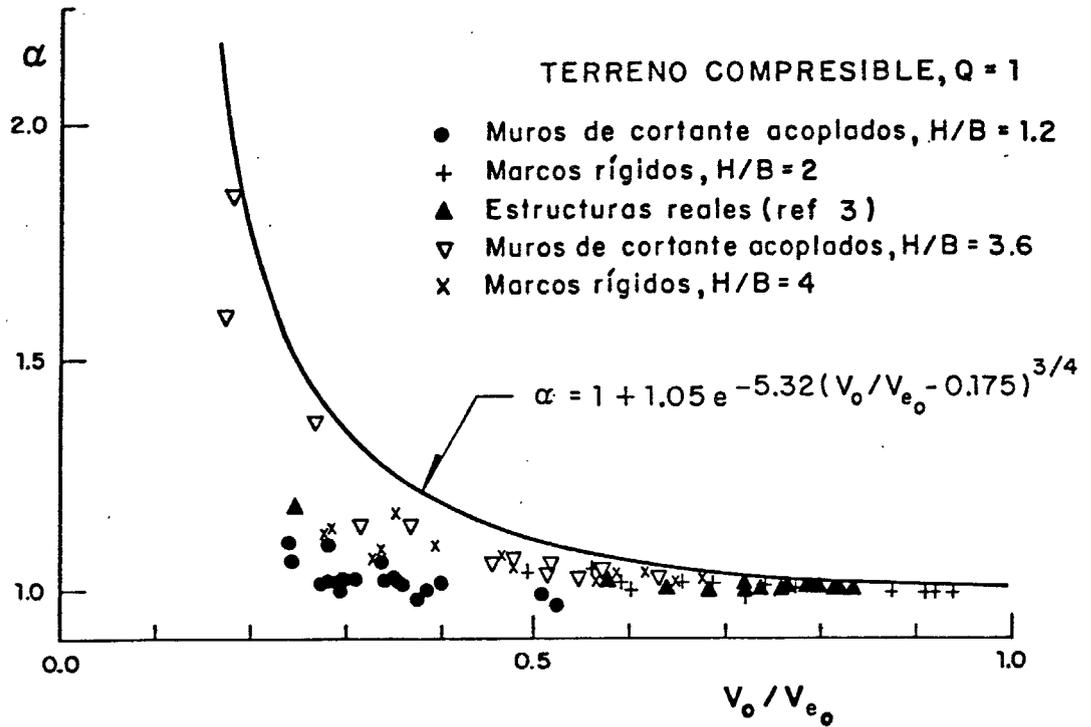


Fig 13. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D F

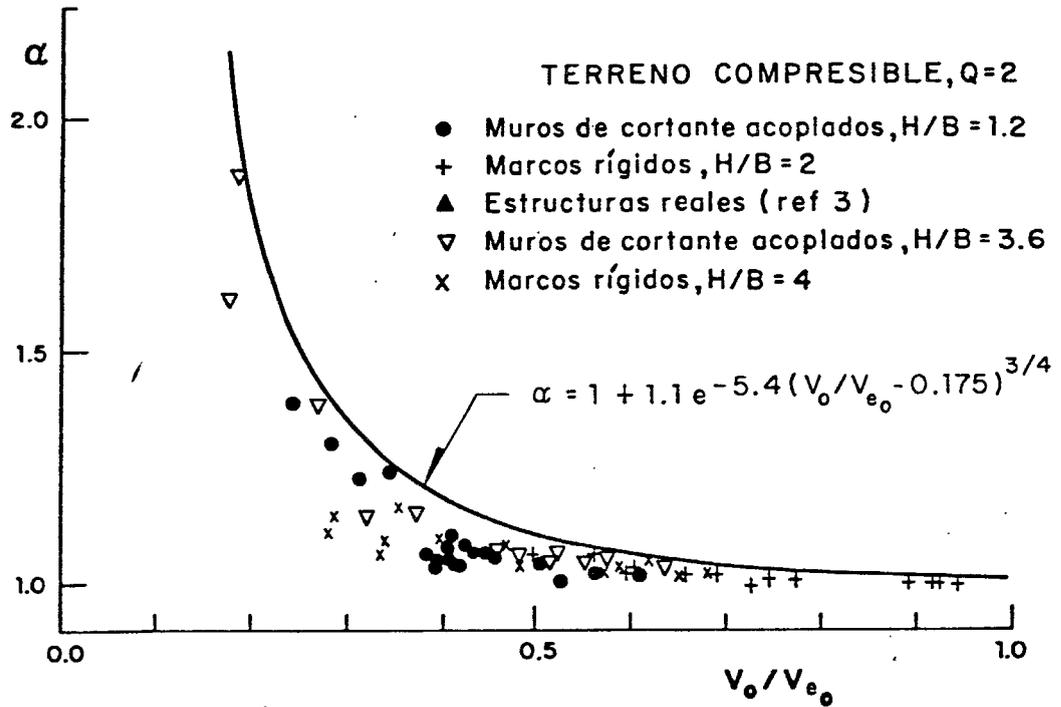


Fig 14. Factor correctivo  $\alpha$  para terreno compresible en el D F

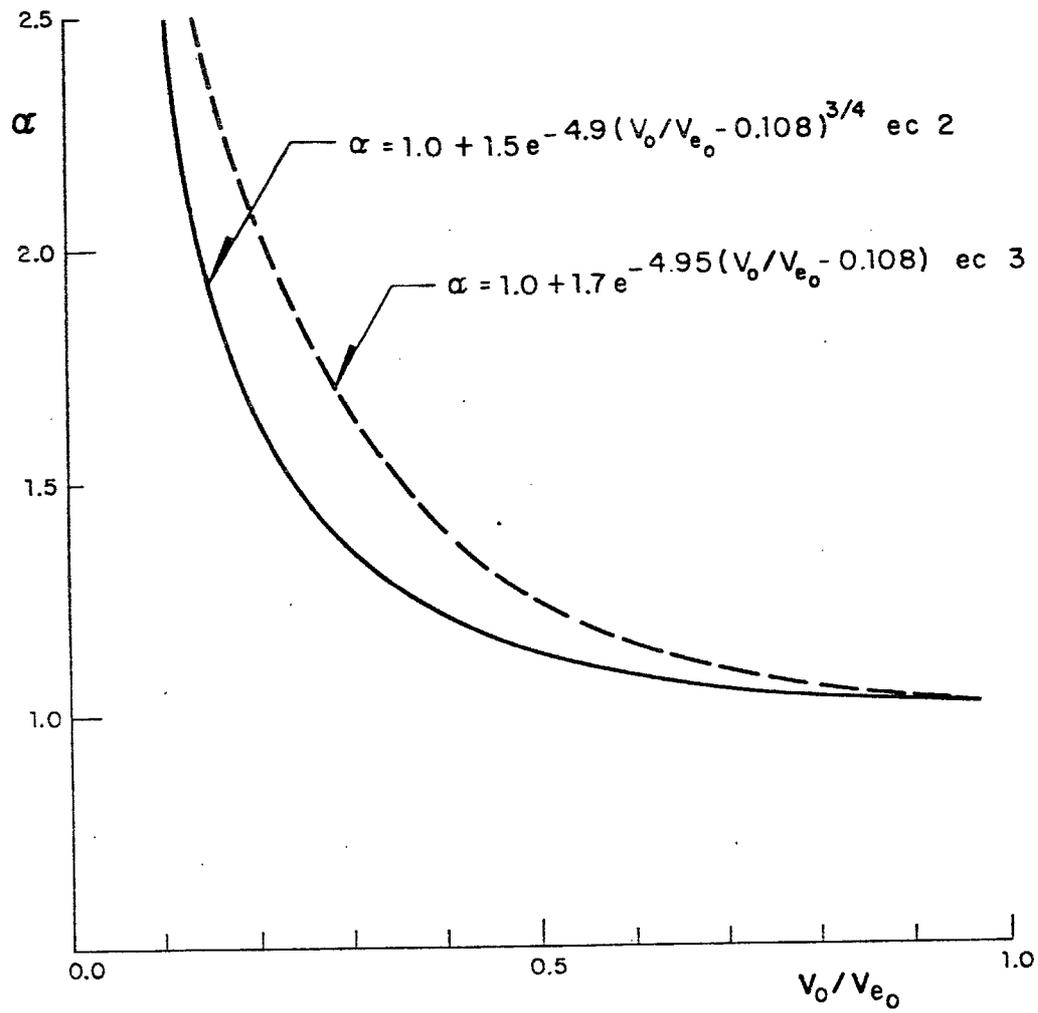


Fig 15. Envolventes de diseño para factor correctivo  $\alpha$ .

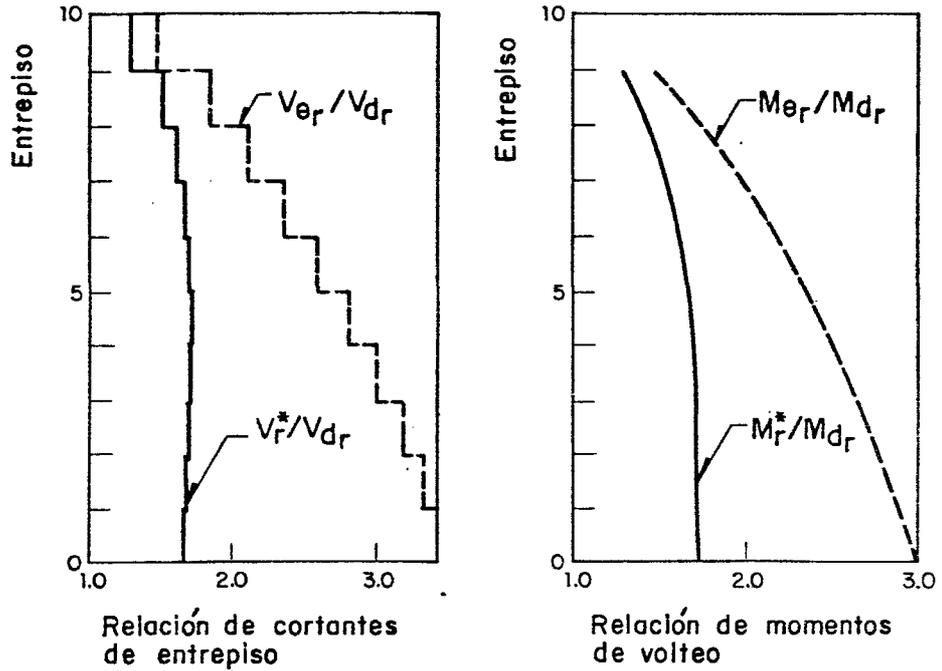
Espectro de diseño para terreno compresible del DF, con  $Q=1$ 

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  $H/B=1.2$

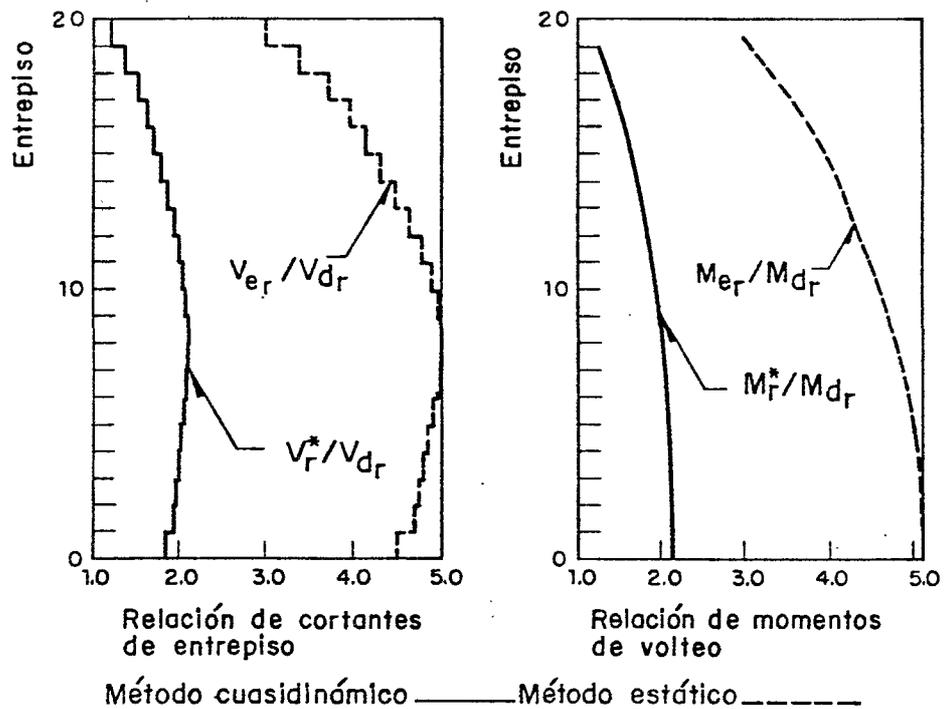
Espectro de diseño para terreno compresible del DF, con  $Q=6$ 

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  $H/B=4$

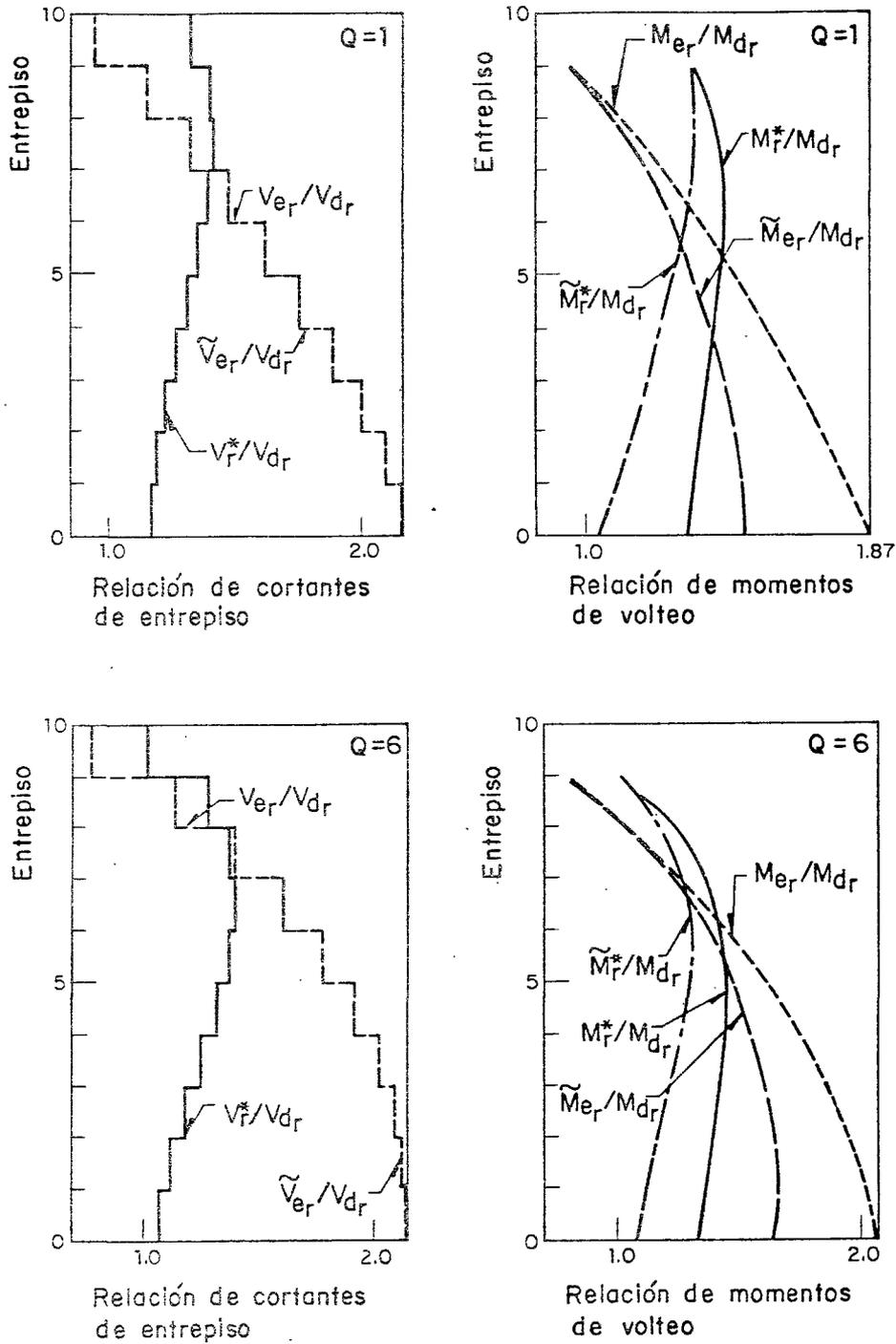


Fig 18. Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1,2$  en terreno firme

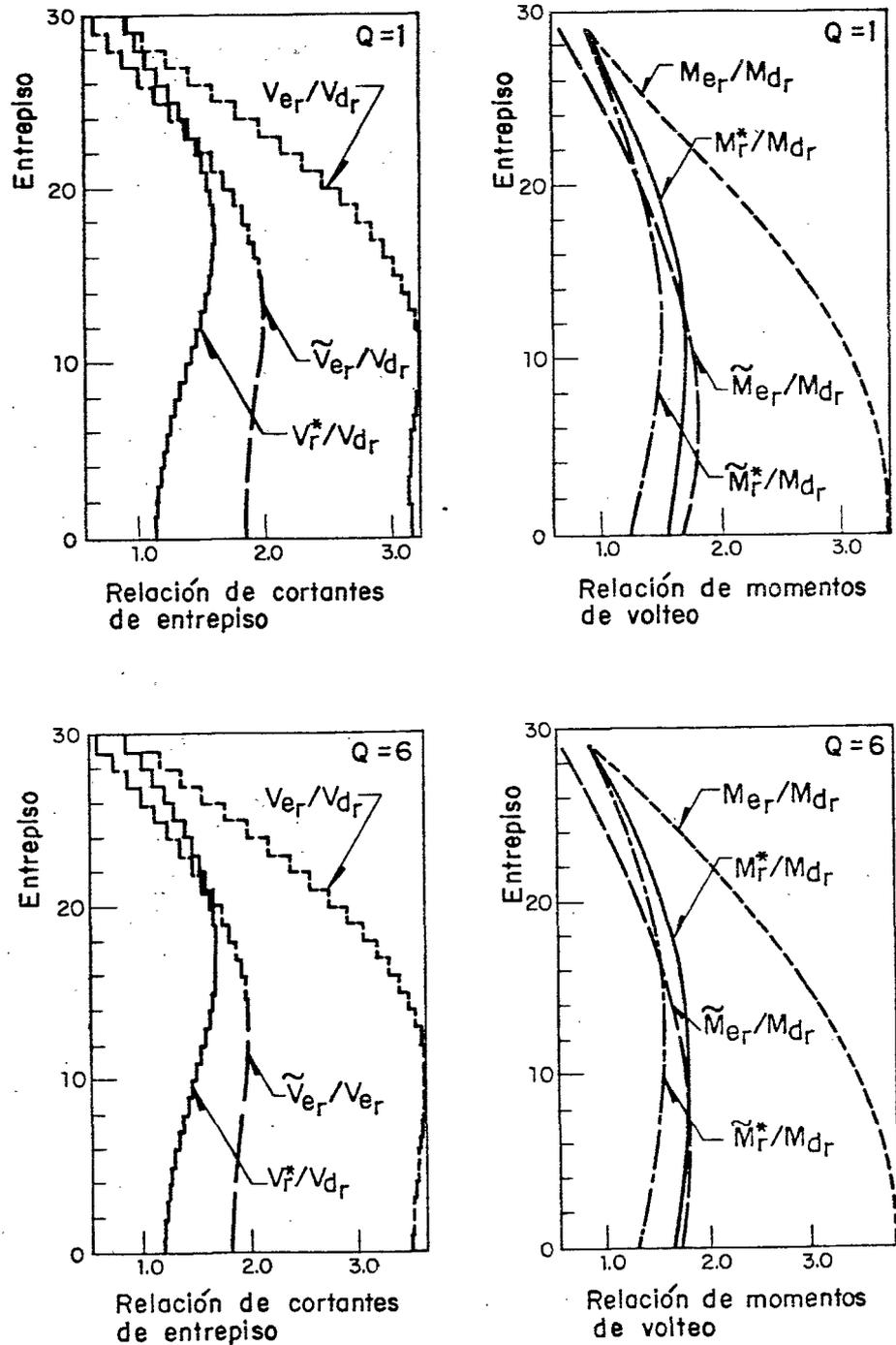


Fig 19. Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno firme

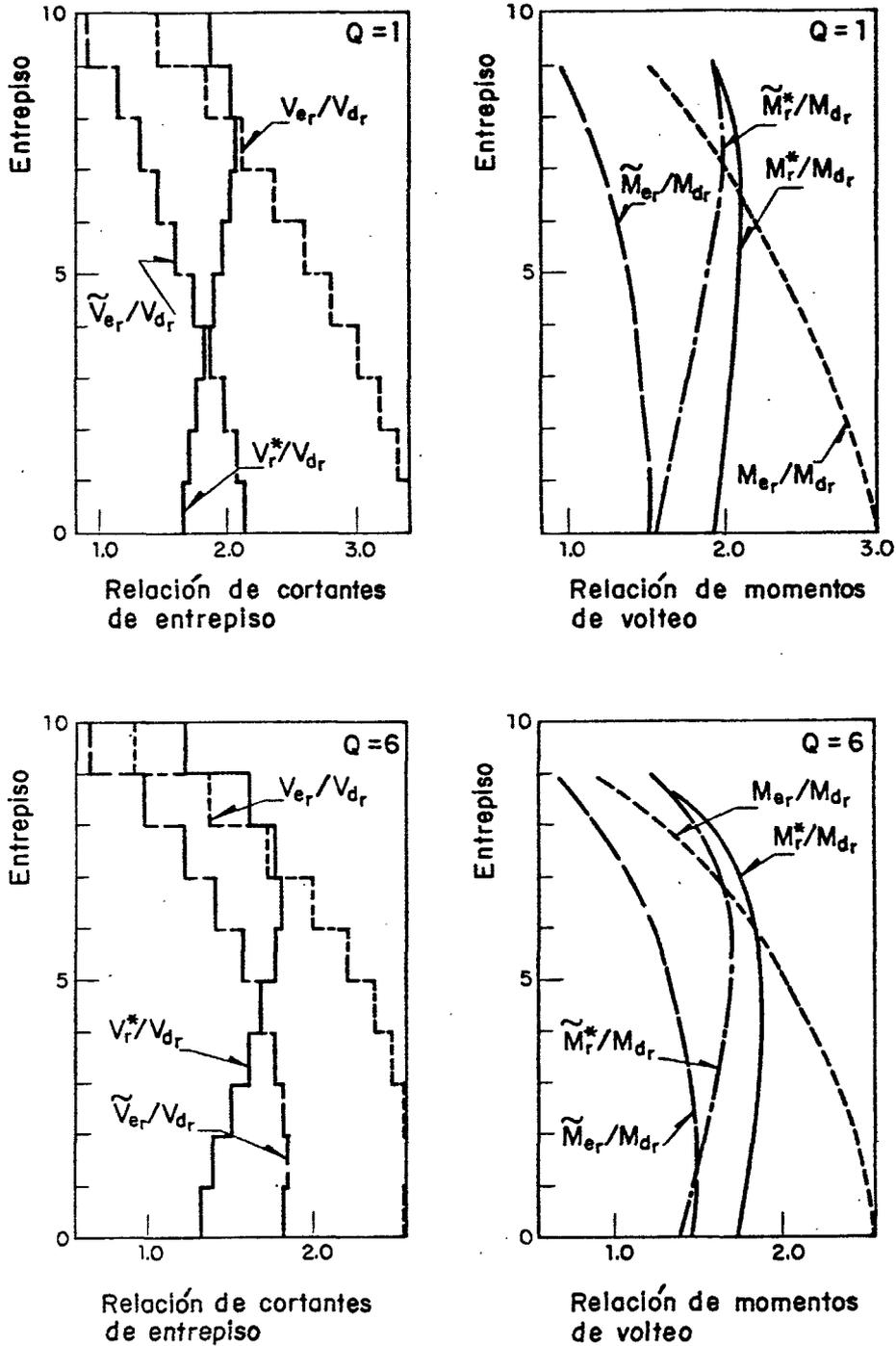


Fig 20. Comparaciones para el modelo ( $K_F-2, M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

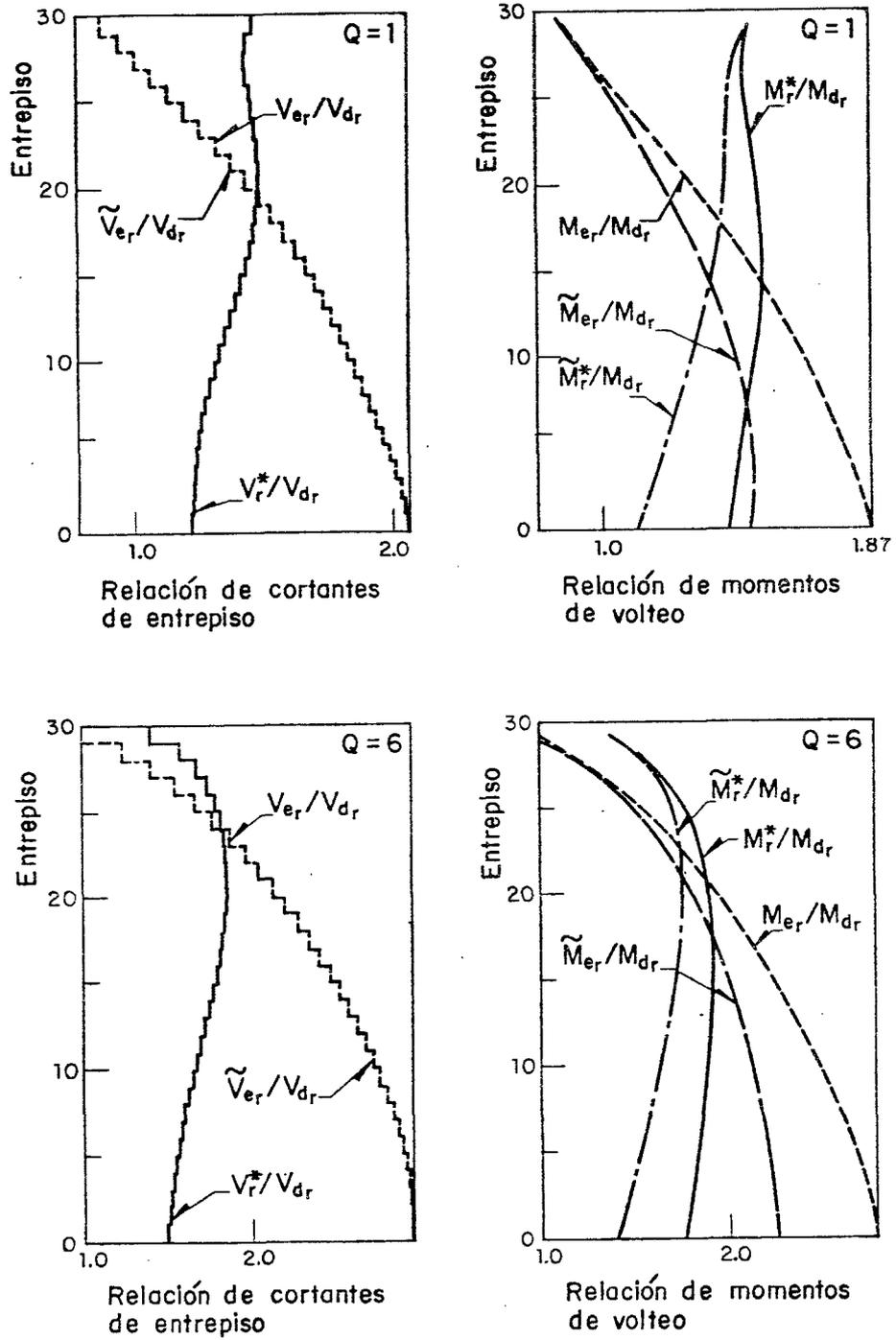


Fig 21. Comparaciones para el modelo ( $K_F-2$ ,  $M_F-2$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno compresible

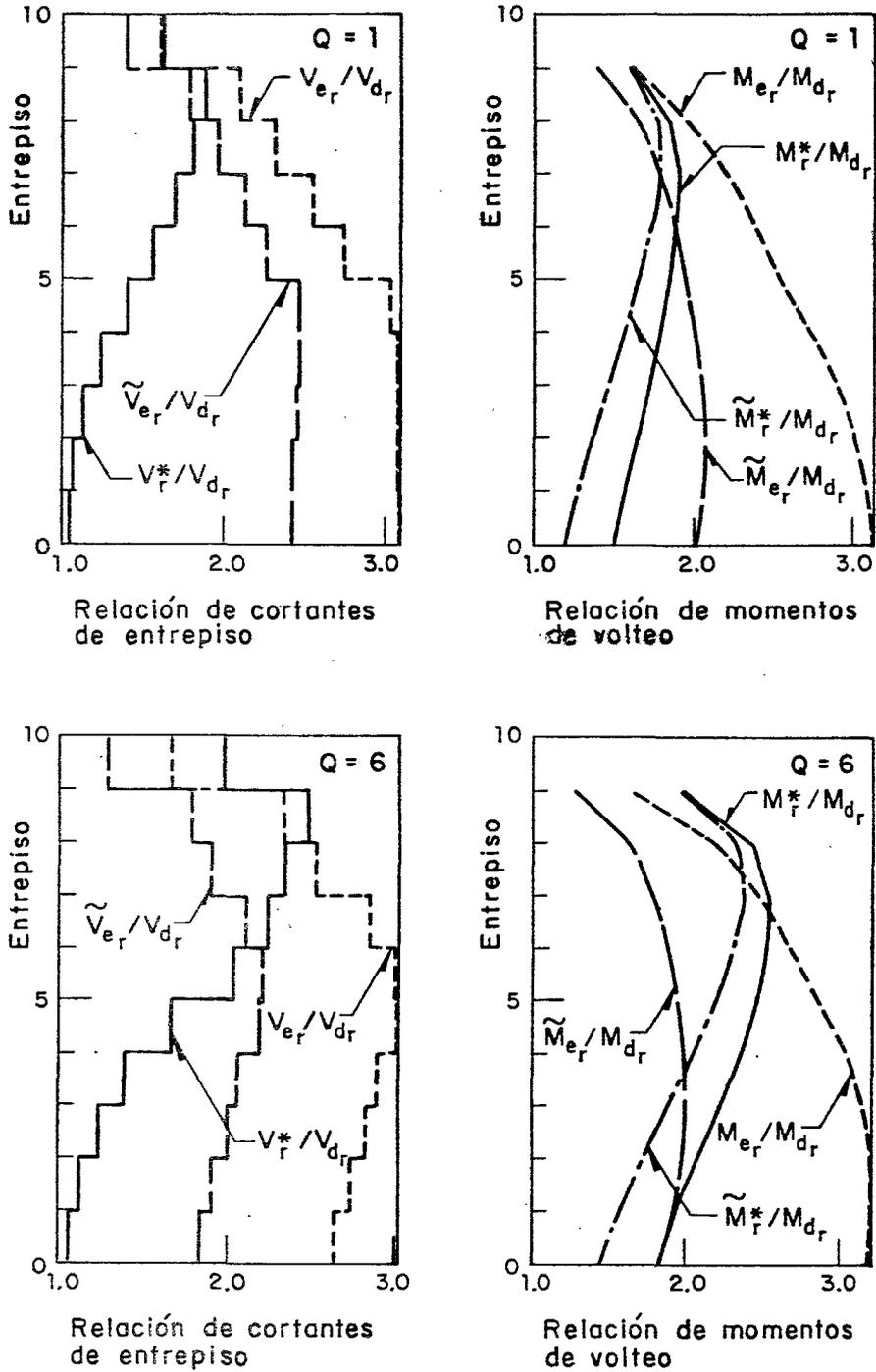


Fig. 22. Comparaciones para el modelo ( $K_F-3$ ,  $M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno firme

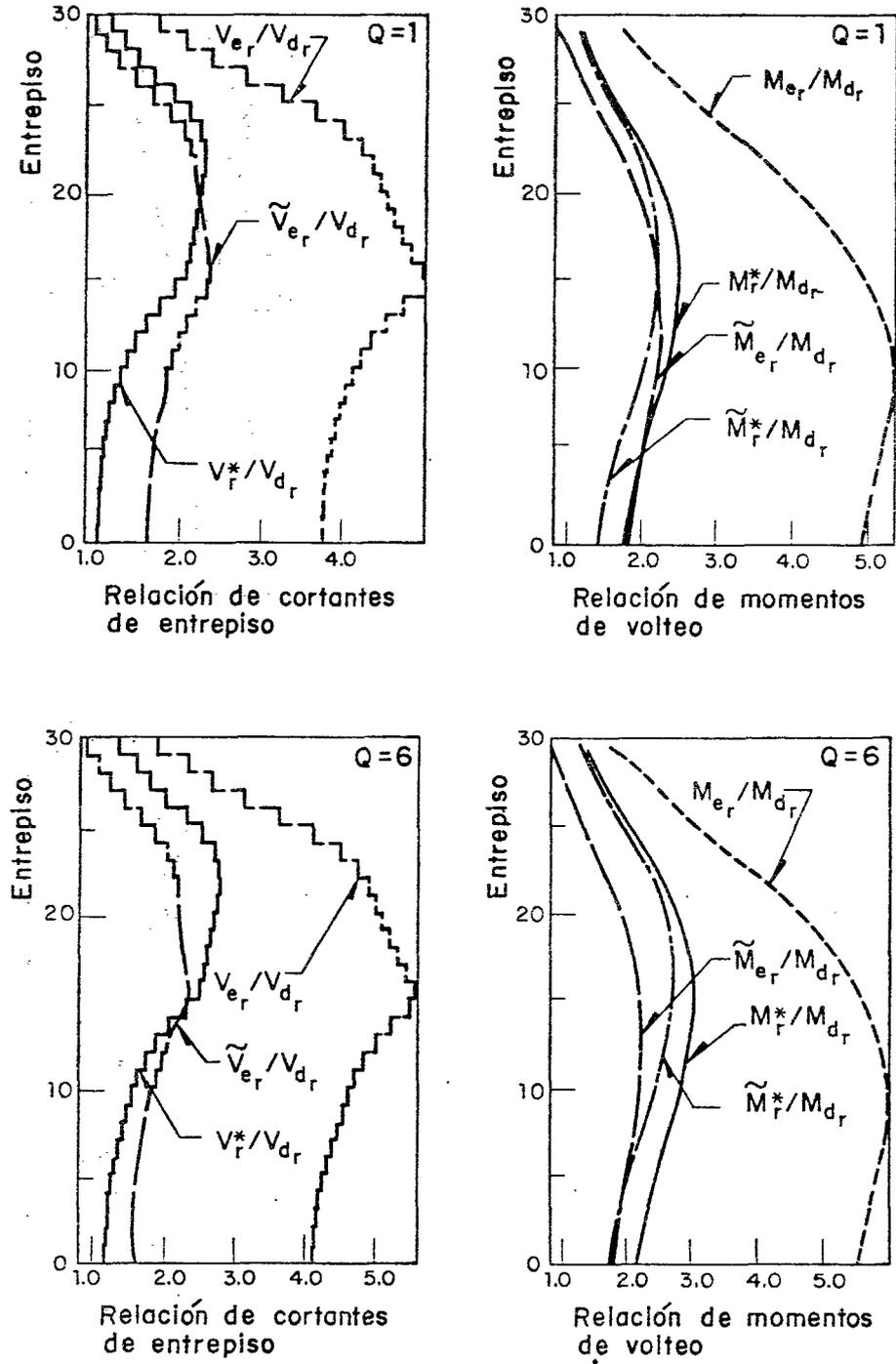


Fig 23. Comparaciones para el modelo ( $K_F-3$ ,  $M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno firme

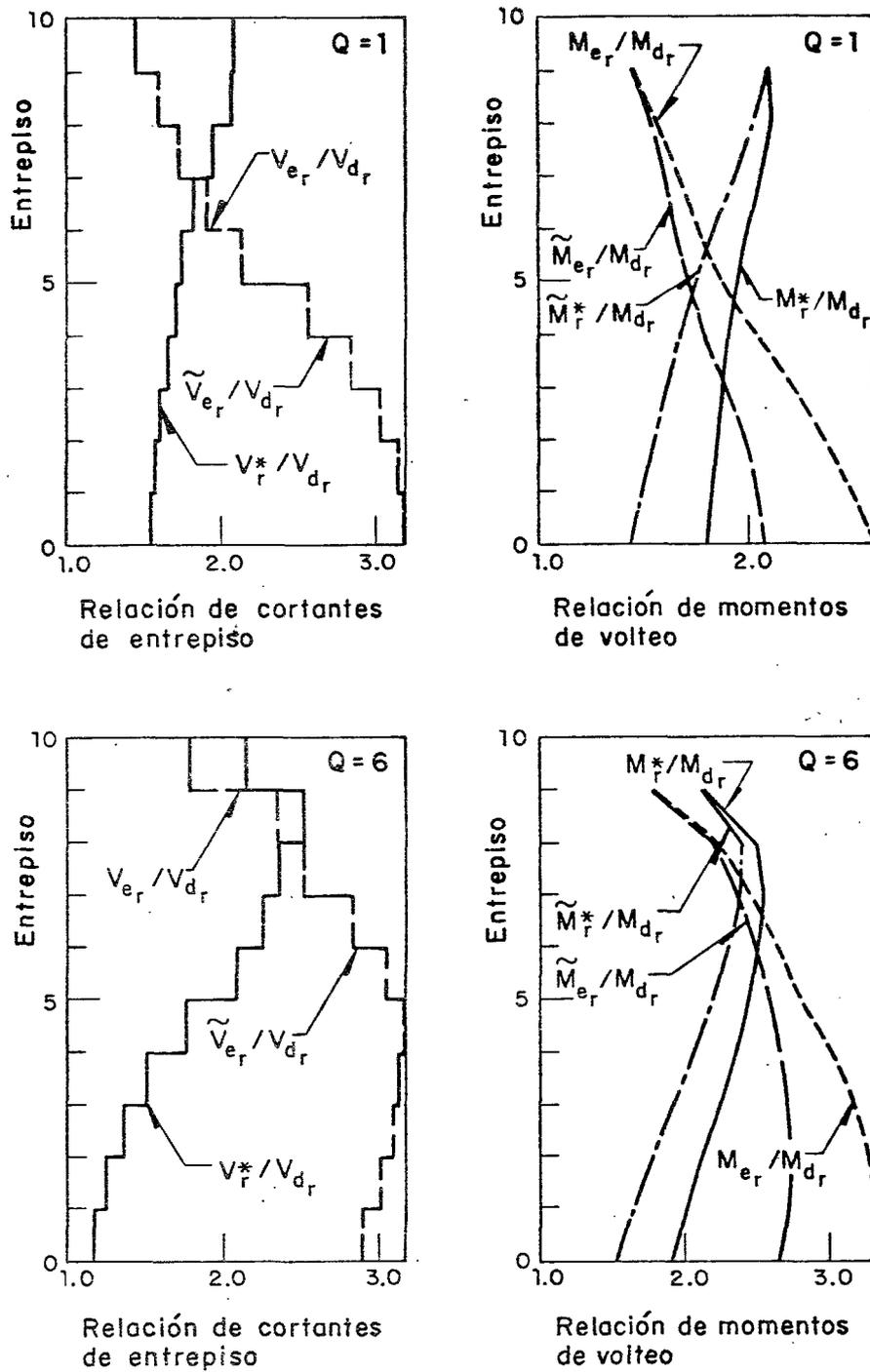


Fig 24. Comparaciones para el modelo ( $K_F-3$ ,  $M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=1.2$  en terreno compresible

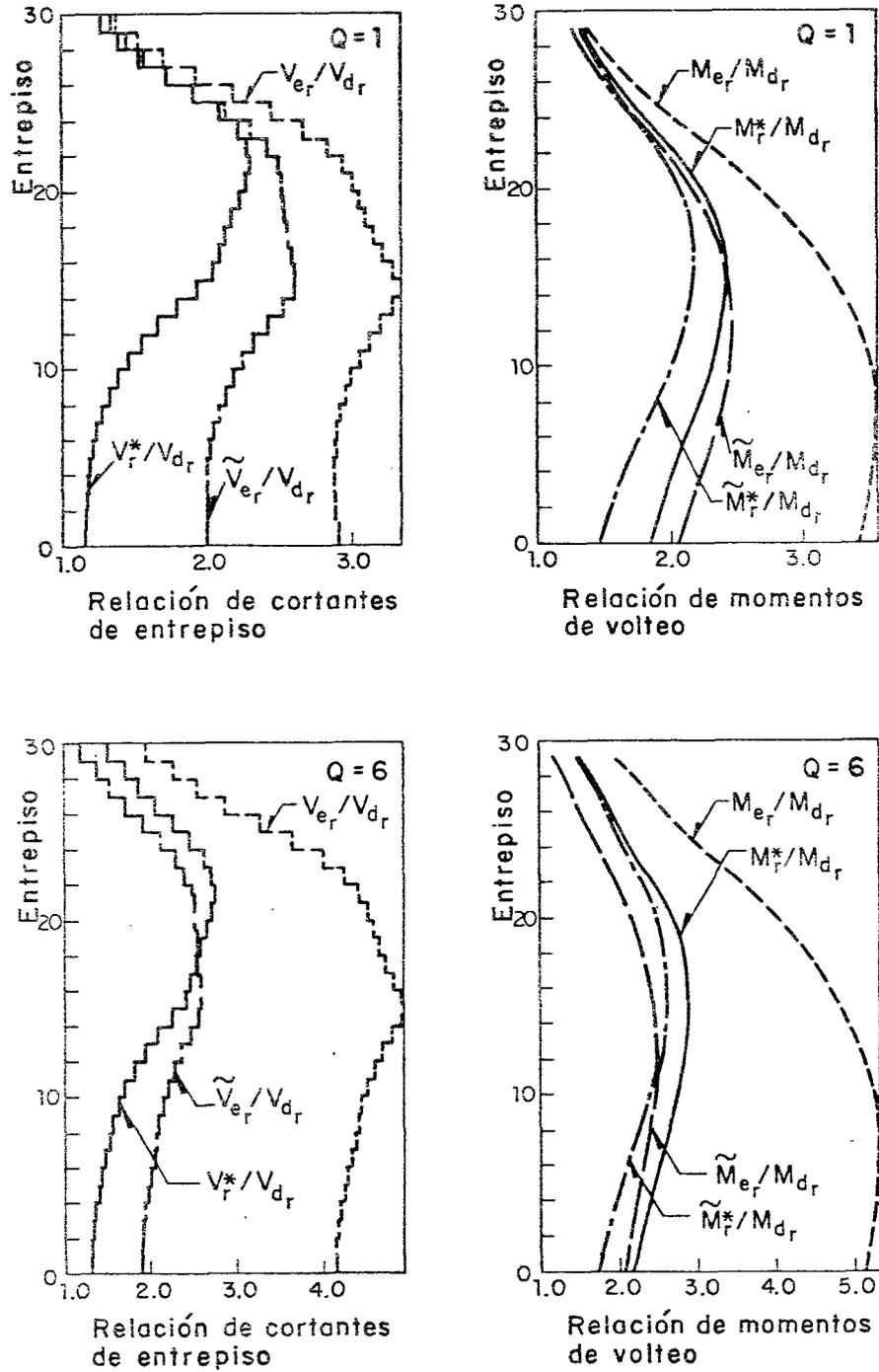
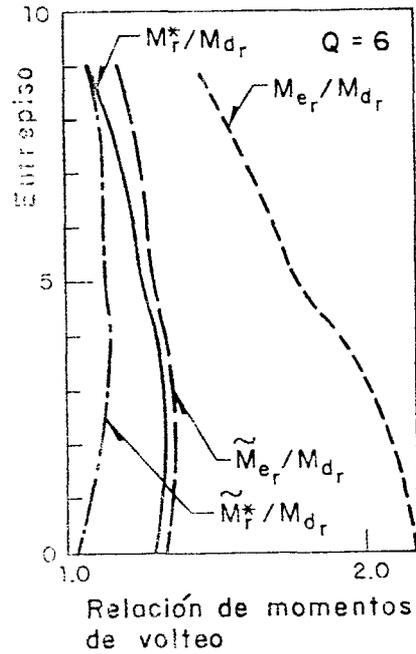
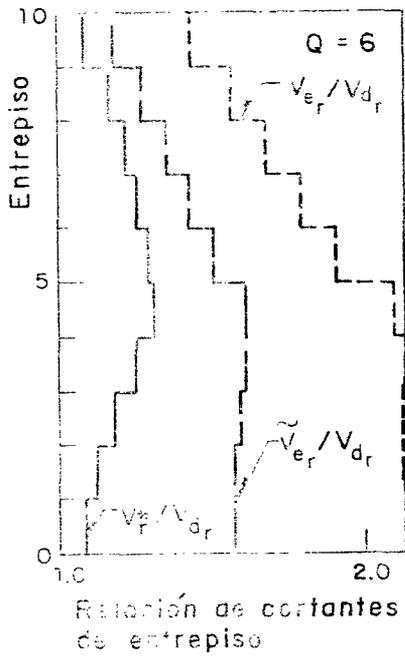
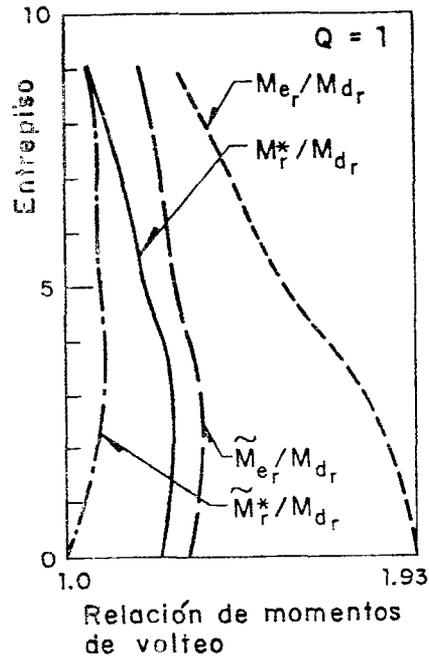
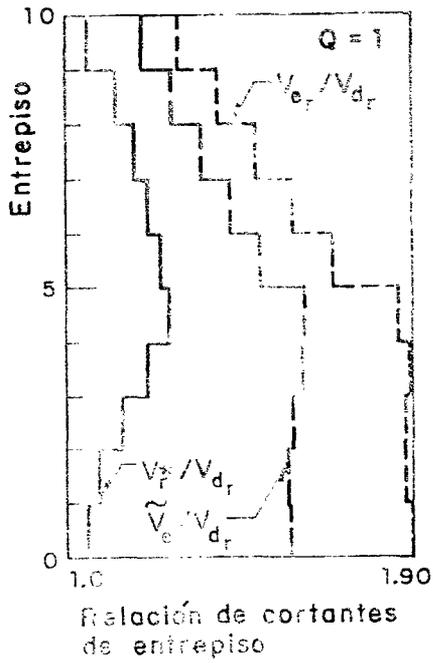


Fig 25. Comparaciones para el modelo ( $K_F-3, M_F-3$ ) con relación de aspecto  $H/B=3.6$  en terreno compresible



2. Comparaciones para el modelo  $(K_c-3, M_c-1)$  con relación de aspecto  $H/B=2$  en terreno firme

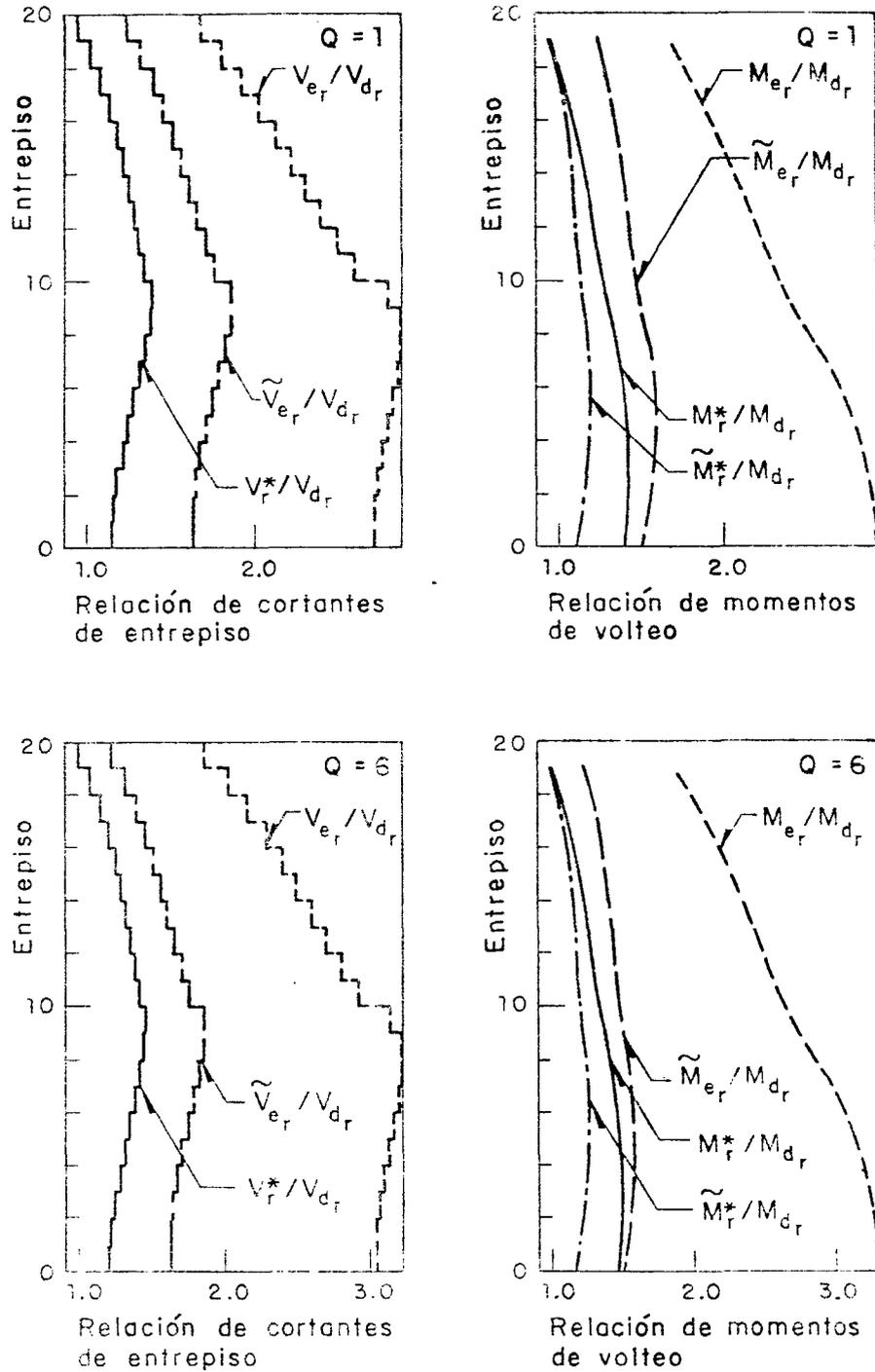


Fig 27. Comparaciones para el modelo ( $K_c-3$ ,  $M_c-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=4$  en terreno firme

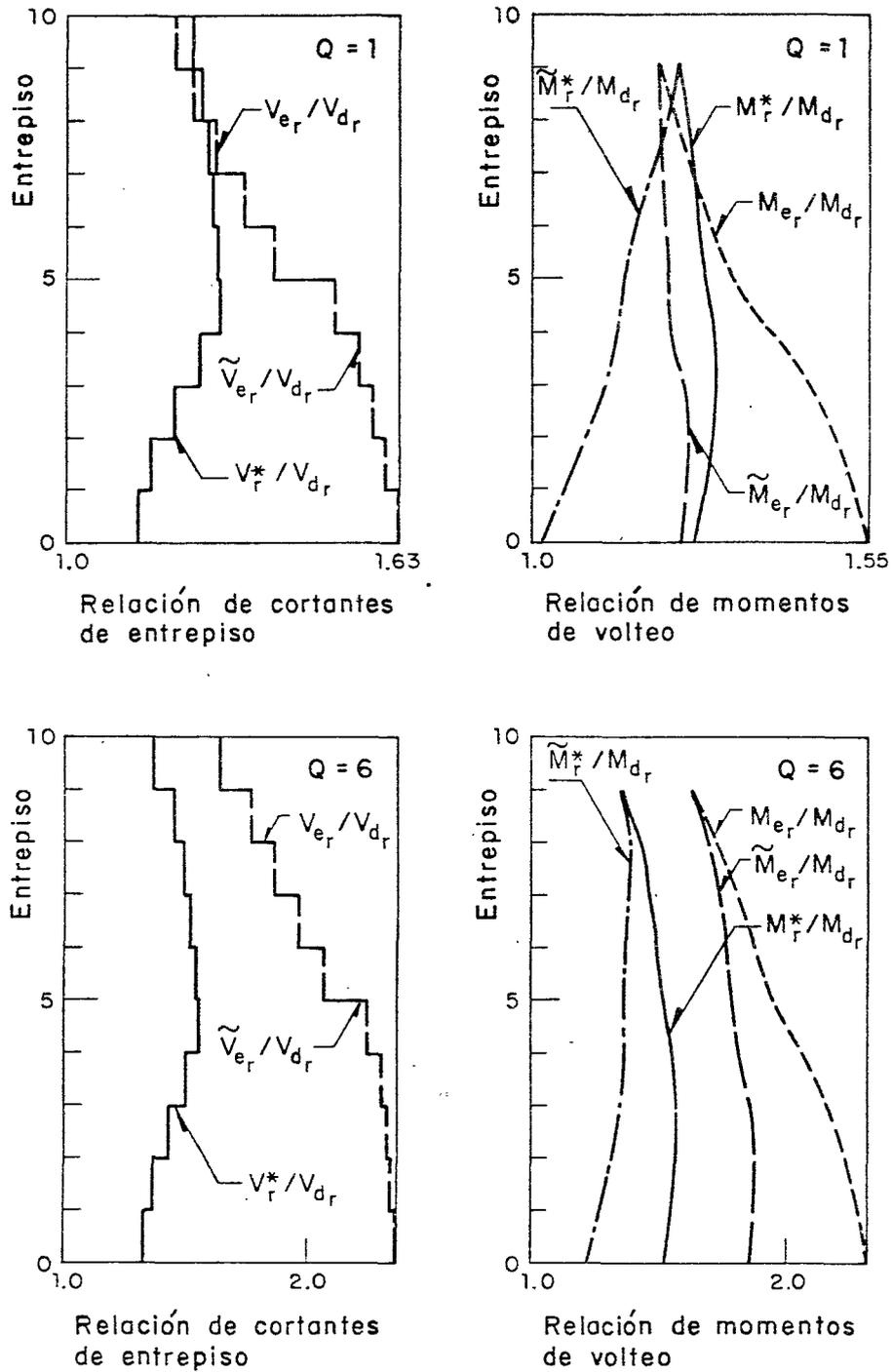


Fig 28. Comparaciones para el modelo ( $K_c-3$ ,  $M_c-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=2$  en terreno compresible

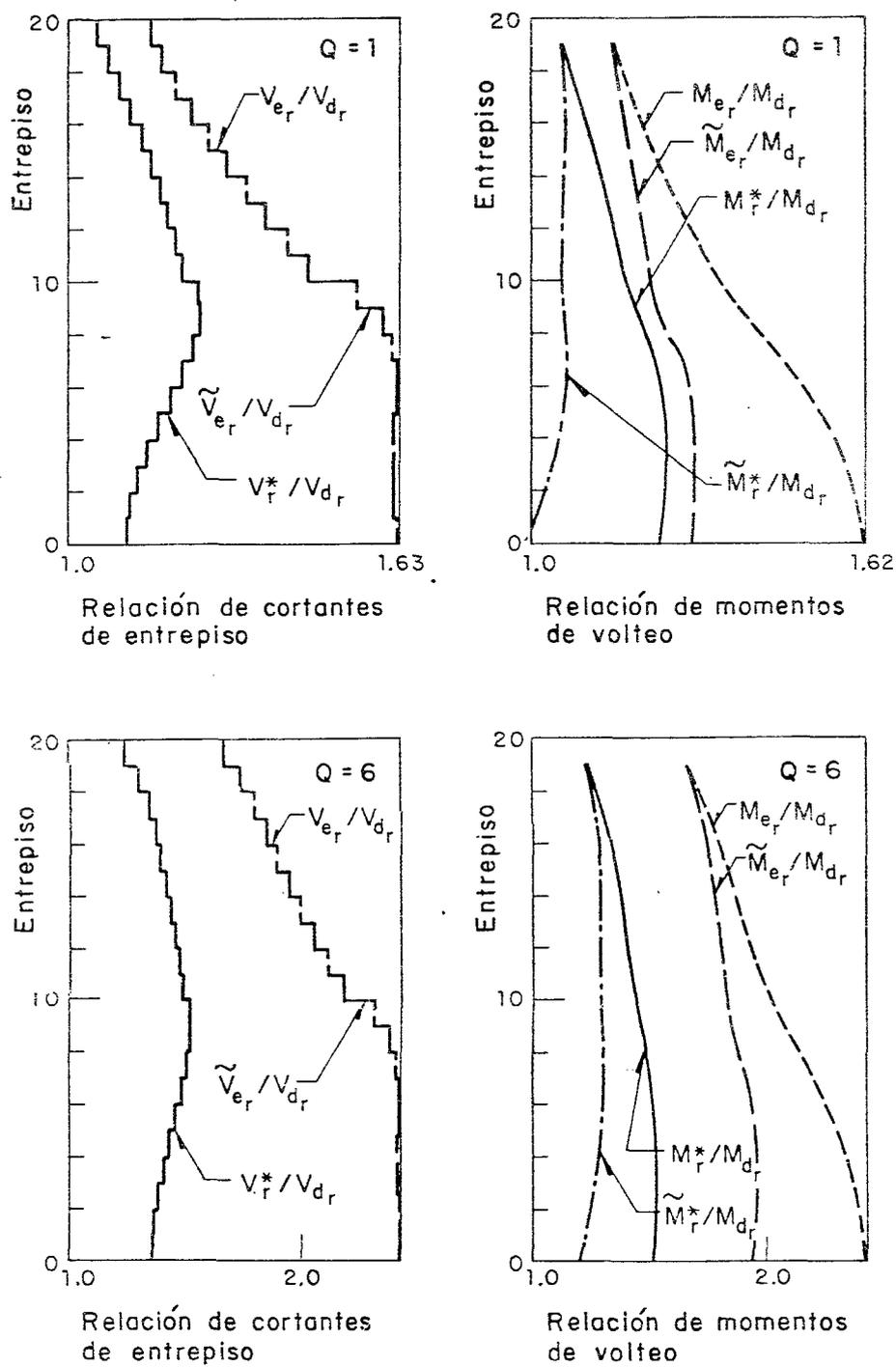


Fig 29. Comparaciones para el modelo ( $K_c-3$ ,  $M_c-1$ ) con relación de aspecto  $H/B=4$  en terreno compresible