TESIS
IC2001
H45

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

OPTIMIZACION Y EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DUALES COMO SOLUCION DE REFUERZO PARA ESTRUCTURAS EXISTENTES

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: veinte puntos (20)

JURADO EXAMINADOR

FIRMA: FIRMA: FIRMA:

NOMBRE: María Gracia Faustino NOMBRE: JOSE A. NOGUERA H NOMBRE: Mario Paparoni

REALIZADO POR	HERNÁNDEZ P, MARÍA F MOSLENER M, MICHAEL
PROFESOR GUÍA	ING. MARIO PAPARONI
FECHA	JUNIO 2001

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

INDICE

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRAFICOS iii

GLOSARIO vi

SINOPSIS vii

INTRODUCCIÓN 1

I. SISTEMA DUAL 3

I.1 Pórtico prototipo 5

I.2 Pantalla de refuerzo 7

I.3 Conexión pórtico-pantalla 9

II. METODO DEL CONTINUO 11

II.1 Caso de carga 12

II.2 Parámetros del Método del Continuo 13

II.3 Expresión matemática utilizada 16

II.4 Análisis de resultados 17

II.4.1 Porción de cortante Vs. lambda 17

II.5 Lambda en el dimensionado de pantallas 20

III. METODO MATRICIAL 21

III.1 Análisis de resultados 23

III.1.1 Muro Continuo 24

III.1.1.1 Flecha y deriva 24

III.1.1.2 Corte 25

III.1.1.3 Momento.....26

III.1.1.4 Fuerza axial en columnas.....27

III.1.1.4 Fuerza axial en bielas.....28

III.1.2. Comparación de las diferentes configuraciones para un mismo valor de λ 39

III.1.2.1. Flecha y deriva 39

III.1.2.2. Corte.....41

III.1.2.3. Momento.....42

III.1.2.4. Fuerza axial en columnas.....43

III.1.2.5. Fuerza axial en bielas.....43

III.1.3. Comportamiento de las vigas en cada configuración para un mismo valor de λ.....61

III.1.3.1. Corte y momento 61

CONCLUSIONES.....66

RECOMENDACIONES 68

REFERENCIAS.....69

BIBLIOGRAFIA 70

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRAFICOS

CAPITULO I

FIGURAS

1. Deformación lateral de un pórtico, 4
2. Deformación lateral de un muro, 5
3. Pórtico prototipo, 6
4. Configuraciones estructurales muro-pórtico, 7
5. Conexión pórtico-pantalla, 9

CAPITULO II

TABLAS

1. Longitud de pantalla a partir de λ, 20

FIGURAS

6. Diagramas de las ecuaciones del Método del Continuo, 12
7. Caso de carga, 13
8. Parámetro μ., 14
9. Parámetro λ., 15
10. Influencia de λ sobre vigas y columnas, 18

GRÁFICOS

1. Porción de cortante Vs lambda, 19

CAPITULO III

GRÁFICOS

2. Flecha: Muro Continuo, 30
3. Deriva: Muro Continuo, 31
4. Cortante en columnas izquierdas: Muro Continuo, 32
5. Cortante: Muro Continuo, 33
6. Momento: Muro Continuo, 35
7. Axiales en columnas izquierdas: Muro Continuo, 37
8. Fuerza axial en bielas: Muro Continuo, 38
9. Flecha para cada configuración, 45
10. Desplazamiento del punto de inflexión de la flecha en las diversas configuraciones, 47
11. Deriva para cada configuración, 48
12. Perturbaciones de la deriva en las diferentes configuraciones respecto al Muro Continuo, 50
13. Cortantes en el muro para cada configuración, 51
14. Perturbaciones del cortante en las diferentes configuraciones respecto al Muro Continuo, 53
15. Corte que llega al pórtico según distribución dinámica de cortante, 54

16. Momento del sistema dual para cada configuración, 55

17. Fuerza axial en columnas izquierdas para cada configuración, 57

18. Fuerza axial en bielas para cada configuración, 59

19. Cortante en vigas para cada configuración, 62

20. Momento en vigas para cada configuración, 64

GLOSARIO

E = Módulo de elasticidad del concreto.

h = Altura de entrepiso.

H = Altura total de la estructura.

H_m = Altura total de la pantalla.

B = Ancho del pórtico.

L_m = Longitud del muro o anchura del muro.

λ = Grado de acoplamiento.

μ = Grado de columnización.

C = Rigidez a cortante.

K = Rigidez total de las columnas.

K_0 = Parámetro de rigidez de la planta de la estructura.

I_c = Inercia de columna.

I_v = Inercia de vigas.

A_{ci} = Area de columna izquierda.

A_{cd} = Area de columna derecha.

α = Parámetro adimensional.

β = Parámetro adimensional.

$X_i = \xi$ = Porcentaje de altura de un punto cualquiera respecto a la altura del edificio.

Q = Sumatoria de la carga correspondiente a cada piso.

Q_0 = Cortante basal.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

SINOPSIS

El objetivo de esta investigación es comprender el comportamiento de las estructuras duales y establecer las configuraciones y geometría de pantallas que presenten el comportamiento más eficiente como solución de refuerzo para estructuras existentes; el interés en este tema radica en el hecho de la aprobación de la nueva norma sismo-resistente para edificaciones (1998), la cual exige una mayor resistencia de las estructuras debido a un incremento en las solicitaciones, y una disminución en las derivas, por lo que todas aquellas edificaciones que no cumplen con las especificaciones actuales deberán ser adecuadas a dichos requerimientos, y si bien las exigencias de la norma vigente son superiores a las anteriores, hoy en día no establece ninguna guía para el diseño y análisis de estos sistemas.

Actualmente se están utilizando para el refuerzo de estructuras viejas, o de aquellas más recientes que no cumplen con la nueva norma, diagonales de acero o muros estructurales, entre otros, siendo estos últimos el marco del presente trabajo, en el cual se muestra un estudio comparativo entre una estructura aporticada sin pantalla y la misma estructura con diferentes configuraciones de refuerzo, como lo son: pantallas continuas hasta el tope, pantallas truncadas a diferentes alturas, y pantallas discontinuas (variación de la geometría en elevación) .

El análisis se realizó por medio del programa estructural de computación SAP 2000, Versión Estudiantil (Análisis Matricial) y haciendo uso de ecuaciones del Método del Continuo (Análisis Sistémico), lo cual ha hecho posible encontrar la gama de soluciones de estructuras duales con potencial de utilización como medio para resolver el problema de reforzar eficientemente estructuras existentes; se estudió un pórtico prototipo el cual consta de un (1) vano, dos (2) columnas de sección constante y nueve (9) pisos.

De los resultados obtenidos en los diversos análisis efectuados se concluye que para estructuras reforzadas con muros estructurales, los mejores comportamientos del sistema dual se presentan en los casos extremos de rigideces analizados, es decir, para sistemas muy rígidos o para sistemas muy flexibles, y que cuando se requiera por algún motivo realizar truncamientos en la pantalla de refuerzo, a medida que el nivel de corte del muro sea menor, más flexible debe ser el mismo. Las configuraciones correspondientes a pantallas de refuerzo con variación en su geometría con la altura, representan soluciones prometedoras en este campo.

INTRODUCCIÓN

El análisis numérico de sistemas duales (pórtico-pantalla) está envuelto en un alto nivel de incertidumbre, razón por la cual se convierte en uno de los problemas menos comprendido y poco descrito en la literatura especializada. Las rigideces relativas de pórticos y muros requieren consideraciones cuidadosas en el diseño y análisis, algunos códigos americanos como el UBC y el ATC3-06 establecen un sistema dúctil de pórtico capaz de resistir por lo menos un 25% de las fuerzas laterales para complementar la acción de la pantalla en estructuras superiores a los 49 m. de altura, más allá de esto no existe alguna normativa que establezca la rigidez óptima relativa del pórtico, para que su interacción con la pantalla sea beneficiosa y no genere efectos secundarios.

La adecuación de estructuras en Venezuela se ha venido realizando de manera puntual y de carácter particular, y la única fuente de información disponible es a nivel de Trabajos de Grado; no existe una normativa específica para este tipo de estructuras, sólo se contempla que tanto el pórtico como el muro deben resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas y los pórticos por si solos deben estar en la capacidad de resistir por lo menos el veinticinco por ciento (25%) de esas fuerzas (COVENIN-MINDUR 1756-98, Artículo 6.3.1).

Conscientes de la situación económica que está atravesando el país, en la cual es probable que la construcción de edificios sufra algo de recesión, resulta de vital importancia el conocimiento de un método que brinde soluciones óptimas y eficientes para la adecuación de estructuras existentes a los requerimientos de la norma sismorresistente actual, siendo las estructuras duales una alternativa viable.

El Método del Continuo, desarrollado en 1991 por el Ing. Mario Paparoni, permite evaluar la estructura como un sistema en lugar de considerar elementos independientes; haciendo uso de las ecuaciones que brinda este método es posible llegar a soluciones que pueden ser luego complementadas modelando y analizando la estructura por métodos matriciales.

El objetivo principal del presente trabajo es comprender y optimizar la interacción entre la estructura existente y los muros añadidos, bien sea uniformizando el perfil de deriva del sistema, disminuyendo el corte que debe absorber el pórtico original o disminuyendo las fuerzas axiales en las columnas de dicha estructura, combinando dos metodologías, el método del continuo y el método matricial.

I. SISTEMA DUAL

La cuidadosa selección de los parámetros de rigidez y resistencia en un pórtico es importante para poder crear un buen sistema de disipación de energía y así optimizar las respuestas al estado límite de colapso.

La forma más sencilla de dar rigidez a un pórtico ante cargas laterales sin perder todas sus ventajas, es colocar en alguno de sus vanos elementos diagonales o ligarlo a alguna pantalla estructural, siendo este último el más común. Los muros estructurales tienen gran rigidez cuando la relación altura-longitud de los mismos es relativamente pequeña, absorbiendo así prácticamente la totalidad de las cargas laterales; cuando la relación altura a longitud del muro crece, se reduce muy rápidamente su rigidez y se presenta una interacción bastante compleja entre pórtico y muro.

Las pantallas son frecuentemente usadas en sistemas estructurales, si éstos son apropiadamente colocados, distribuidos dentro del arreglo de la estructura y si se consigue un correcto y detallado dimensionado de los componentes y sus conexiones con la estructura original, los muros pueden proveerles al edificio características de respuesta deseables para todas las cargas laterales (sismo y viento).

La razón básica por la cual resulta complejo el estudio de estas estructuras es que existe una diferencia importante en la manera en que los dos tipos de sistema se deforman lateralmente.

En un pórtico el desplazamiento relativo de entrepiso tiende a ser mayor en los pisos inferiores que en los pisos superiores, a menos de que se produzcan cambios radicales de la sección de las columnas con la altura.

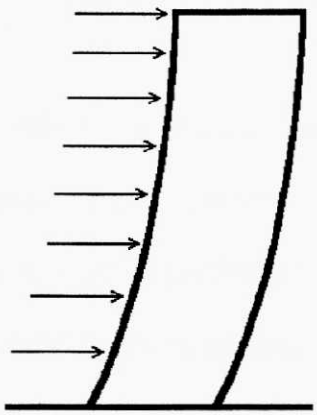

Figura 1. Deformación lateral de un pórtico.

En un muro esbelto, por el contrario, los desplazamientos relativos crecen en los pisos superiores, ya que la deformación de cortante deja de ser significativa y la deformada del muro es como la de una viga en voladizo a flexión.

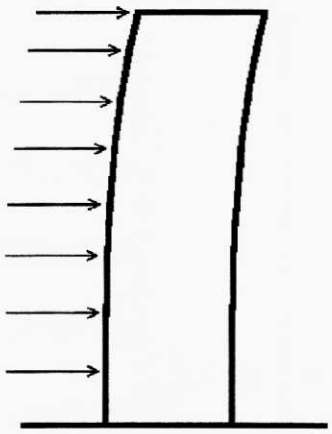

Figura 2. Deformación lateral de un muro.

Como se mencionó anteriormente, se quiere optimizar la interacción del sistema muro-pórtico, para obtener un mejor desempeño del mismo. En cuanto a los detalles de unión entre el pórtico y la pantalla sólo se mencionan los aspectos básicos, ya que no es tema de ésta investigación.

I.1 PÓRTICO PROTOTIPO

El presente estudio se basa en un pórtico que consta de un (1) vano, dos (2) columnas de sección constante y nueve (9) pisos; dicho pórtico se mantiene sin modificaciones a lo largo de la investigación.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

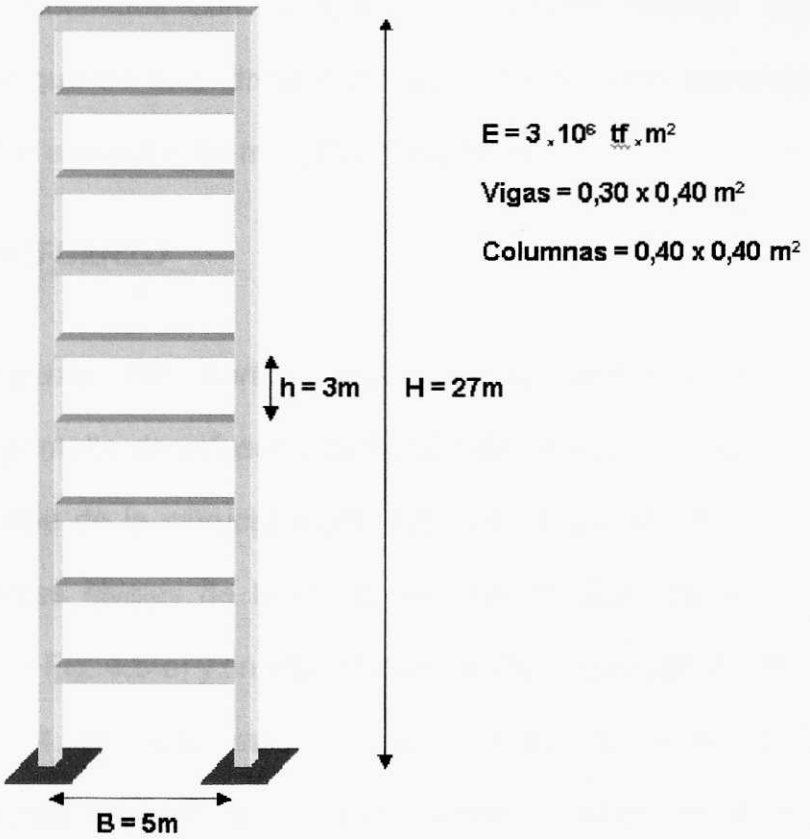

Figura 3. Pórtico prototipo

Es importante resaltar que no es necesario para el análisis, en investigaciones de este tipo, el uso de grandes estructuras, pues se busca encontrar dentro de una gama amplia de posibilidades, un camino que se acerque a la solución óptima de manera rápida, económica y eficiente, y que luego pueda ser aplicado de manera general a estructuras más complejas, es decir, con la metodología planteada se abre un camino para poder sistematizar la adecuación o mejoramiento de ciertas estructuras debiéndose profundizar posteriormente en los aspectos técnicos. Se ha demostrado en trabajos anteriores (Cantelmi & Goncalves, 1986; Goncalves & Vilches, 2000)

que los resultados obtenidos con el uso de un pórtico sencillo, son proporcionales a los que se obtendrían con una estructura más compleja, siendo esto uno de los enfoques del método del continuo.

I.2 PANTALLA DE REFUERZO

Para el refuerzo del pórtico prototipo se probaron varias configuraciones de pantalla de refuerzo, partiendo de un muro de sección constante hasta el tope de la estructura (ver Fig. 4.a), pasando por muros truncados en diferentes niveles de la altura total del pórtico, también de sección constante (ver Fig. 4,b-e) y finalizando con muros de sección variable en altura (ver Fig. 4.f-g), todo esto con la finalidad de observar el comportamiento de cada uno de ellos dentro del sistema y establecer alguna tendencia en dicho comportamiento de acuerdo a las configuraciones planteadas.

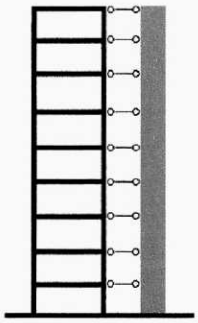

Figura 4.a. Muro Continuo.

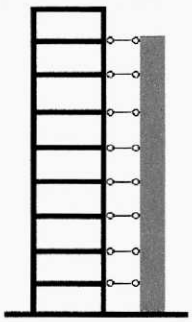

Figura 4.b. Muro Truncado piso 8.

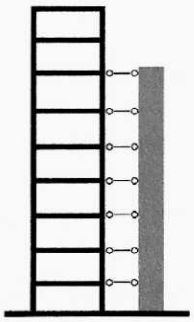

Figura 4.c. Muro Truncado 2/3H.

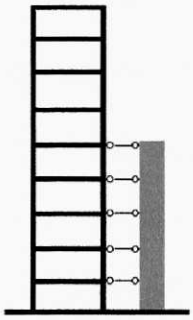

Figura 4.d. Muro Truncado 1/2H.

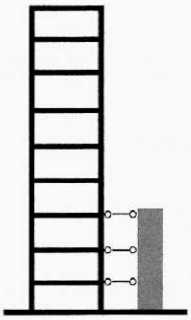

Figura 4.e. Muro Truncado 1/3H.

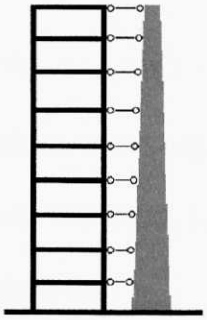

Figura 4.f Muro Discontinuo con variación gradual de la sección.

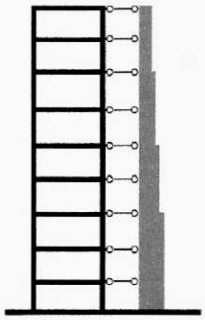

Figura 4.g. Muro Discontinuo con variación en cada 1/4H.

Como no se puede conocer a **priori** cuál es la dimensión óptima que debe tener la pantalla para que el sistema dual sea eficiente, en cada una de las configuraciones se analizó una gama de longitudes de pantalla (L_m) comprendida entre 0.43m y 3.33m. La variación de la longitud del muro estructural, así como los valores límites de la gama, se fijaron en base a un parámetro (λ) del Método del Continuo, el cual se explica en el Capítulo II

I.3 CONEXIÓN PÓRTICO-PANTALLA

La conexión entre la pantalla de refuerzo y el pórtico original se realizó a través de bielas (elemento estructural que soporta únicamente carga axial) a nivel de losa. Se tomó una biela de la misma anchura de la pantalla y la columna , 0.4m, con una longitud de 0.5m y una altura de 0.2m.

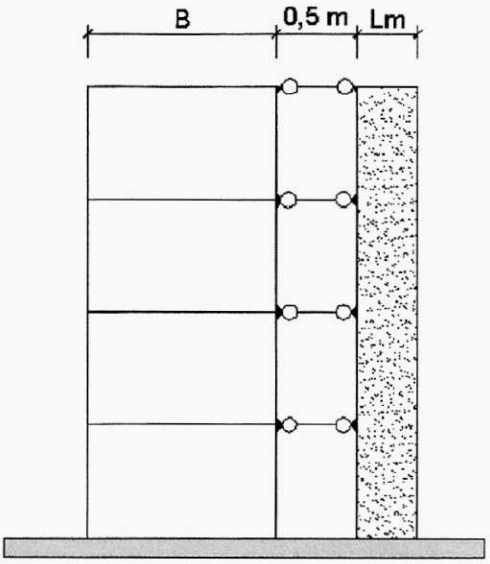

Figura 5. Conexión pórtico-pantalla.

Como se puede ver, se tomó una biela corta (0.5m), por la necesidad de que el elemento conector sea robusto para evitar así deformaciones axiales; la altura de la biela se limitó a una dimensión promedio de losa (0.2m), ya que en ésta se realiza la conexión de la pantalla con el pórtico, siendo recomendable que ambas sean de la misma altura.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

II. METODO DEL CONTINUO

El Método del Continuo (Paparoni, 1991) permite el estudio de estructuras simples y complejas tomando variables sistémicas que pueden ser fácilmente modificadas, al contrario de otros métodos que requieren de mayor información, tiempo y dedicación. Este método, al no considerar la disposición discreta de vigas y columnas, elimina el engorroso proceso de entrada de datos requerido por el análisis matricial y constituye una herramienta excelente para verificar proyectos ya realizados debido a su simplicidad y rapidez de empleo.

Es importante destacar que mediante el uso de este método se puede llegar a soluciones aplicables a cualquier configuración estructural y no a una solución particular debido a su enfoque sistémico de los problemas planteados; la idea fundamental de este enfoque es que permite "averiguar la respuesta general del sistema ante perturbaciones generales definidas, sin mirar tanto los detalles, concentrándose en las conductas".

El Método del Continuo está basado en el uso de una función matemática que representa la elástica del pórtico, dicha función es derivable en todos sus puntos, pudiéndose obtener otras expresiones que permiten calcular variables de interés tales como: flecha, deriva, momento continuo, cortante en columnas.

En la Figura 6 se muestra una esquematización de los diagramas estáticos que se derivan de las ecuaciones del Método del Continuo:

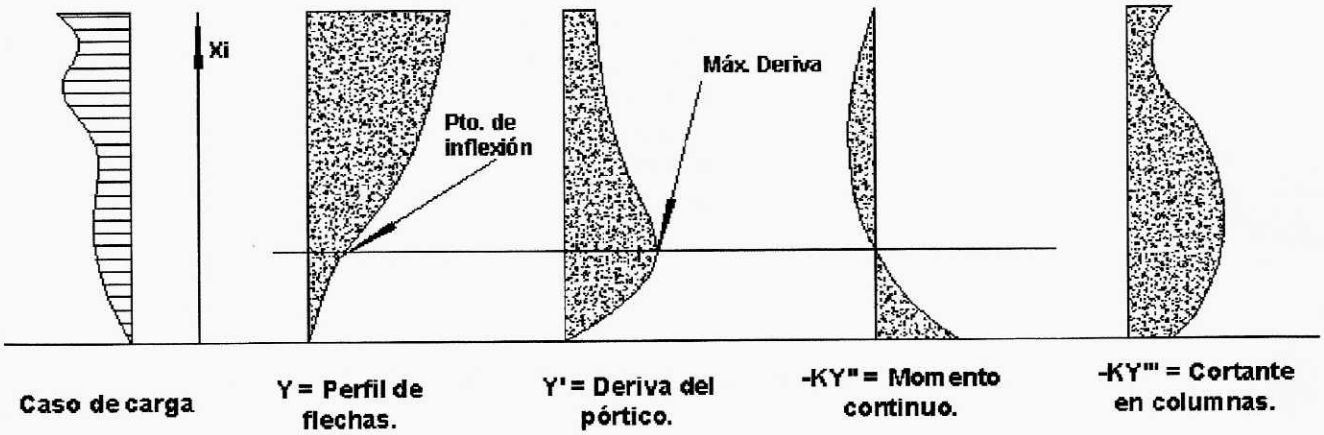

Figura 6. Diagramas de las ecuaciones del Método del Continuo.

Las ecuaciones de este método dependen del caso de carga, por lo que sus expresiones varían según esto. El presente trabajo está enfocado en el caso de carga triangular, ya que éste representa la fuerza sísmica necesaria para el análisis y diseño de los proyectos estructurales.

II.1 CASO DE CARGA

El caso de carga triangular simula la acción de un sismo mediante una carga triangular horizontal, comenzando en cero (0) a nivel de fundación y creciente hacia arriba; las fuerzas están aplicadas en cada piso de la estructura.

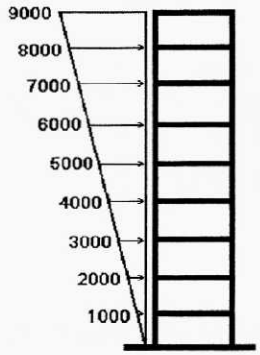

Figura 7. Caso de carga.

II.2 PARÁMETROS DEL MÉTODO DEL CONTINUO

Este método contempla ciertas variables y parámetros, por razones prácticas a continuación sólo se definirán aquellas que competen a la investigación.

C: fuerza cortante que produce una distorsión unitaria en la celda del pórtico.

$$C = \frac{12 * E}{h} * \frac{\sum \frac{I_C}{h} * \sum \frac{I_V}{l}}{\sum \frac{I_C}{h} + \sum \frac{I_V}{l}} \qquad \text{Ec 1}$$

K: sumatoria de las rigideces de todas las columnas.

$$K = \sum E * I_C \qquad \text{Ec 2}$$

Ko: parámetro proporcional, función de la rigidez de la planta de la estructura.

$$K_O = E * \left[\frac{A_{CI} * B^2}{1 + \left(\frac{A_{CI}}{A_{CD}} \right)} \right] \qquad \text{Ec 3}$$

MU (μ): factor de columnización que representa el grado de columnización de la estructura; relaciona la rigidez del haz de columnas (K) con la rigidez plantar (Ko).

$$\mu = \frac{K}{K_O} \qquad \text{Ec 4}$$

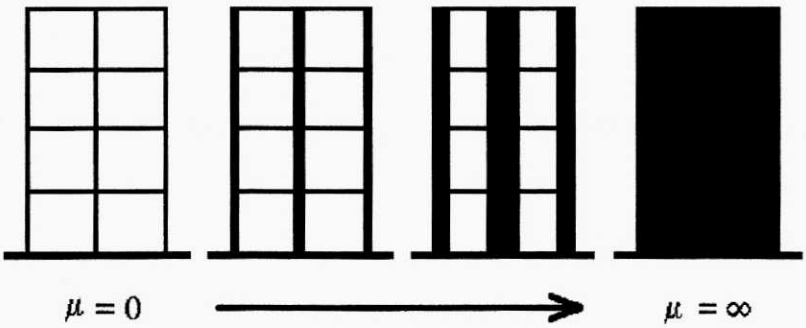

Figura 8. Parámetro μ.

LAMBDA (λ): factor de acoplamiento que representa el grado de acoplamiento entre las vigas y las columnas del pórtico; relaciona la altura (H) de la estructura con sus rigideces a cortante y a flexión.

$$\lambda = \sqrt{\frac{C * H^2 * (1 + \mu)}{K}} \qquad \text{Ec 5}$$

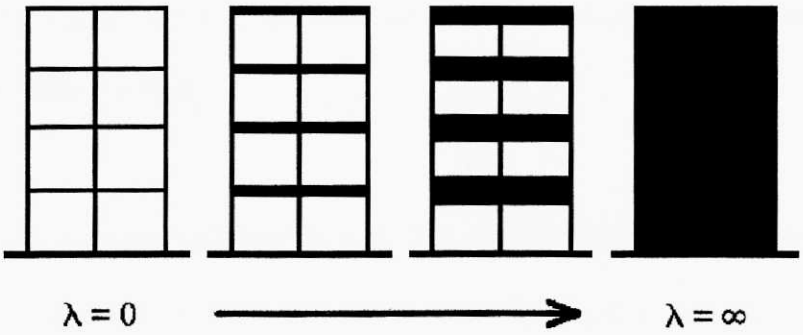

Figura 9. Parámetro λ.

α , β: parámetros adimensionales; dependen del caso de carga

$$\alpha = \frac{2\lambda + \left(2-\lambda^2\right)e^{-\lambda}}{2\lambda\left(e^{\lambda}+e^{-\lambda}\right)} \qquad \beta = \frac{2\lambda - \left(2-\lambda^2\right)e^{-\lambda}}{2\lambda\left(e^{\lambda}+e^{-\lambda}\right)} \qquad \text{Ec 6 y 7}$$

Xi (ξ): porcentaje de altura de un punto cualquiera respecto a la altura del edificio.

q: carga triangular.

Q: sumatoria de la carga correspondiente a cada piso

La simplicidad de este método radica en el hecho de que sólo requiere de tres (3) parámetros para definir e identificar una estructura, siendo éstos λ, μ y N. En el presente trabajo sólo se analiza el comportamiento del sistema dual en base a los dos (2) primeros, pues el análisis está enfocado en edificios bajos y por lo tanto el número de pisos de la estructura (N) se

mantiene constante, de esta manera las soluciones son aplicables sólo para este tipo de estructuras.

Un par λ, μ no corresponde a una configuración estructural única, lo que significa que estructuras con secciones de vigas y columnas diferentes entre sí pueden tener el mismo valor del par λ, μ, concediéndole de esta manera un enfoque global al método, pues dichos parámetros brindan la información necesaria en cuanto al comportamiento de la estructura desde el punto de vista de rigidez y resistencia, sin importar la configuración estructural de la misma.

II.3 EXPRESIÓN MATEMÁTICA UTILIZADA

Para iniciar esta investigación se trabajó con la tercera derivada de la elástica del pórtico, la cual representa el corte que pasa directamente por las columnas, actuando como voladizo flexional; viene expresada mediante la siguiente ecuación:

$$y''' = \frac{-2Q}{\lambda * (1+\mu)} \left(\alpha * e^{\lambda * \xi} - \beta * e^{-\lambda * \xi} - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda * \mu}{2} * \left(\xi^2 - 1 \right) \right) \qquad \text{Ec 8}$$

Esta ecuación consta de una parte dimensional que viene dada por la constante Q, que no es más que la sumatoria de las fuerzas laterales

aplicadas a la estructura a nivel de piso, y de otra parte adimensional conformada por los términos restantes λ, μ, α y β.

A partir de la Ecuación 8 se construyó un gráfico (ver Gráfico 1) que muestra la sensibilidad de la absorción de corte a los parámetros λ y μ. Siendo Q una constante en el análisis se puede sacar de la expresión, obteniéndose así un gráfico adimensional que representa una fracción o porcentaje del cortante que pueden absorber las columnas para un determinado Xi. En el presente análisis se tomó Xi =1.

II.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

II.4.1 Porción de cortante Vs. lambda

En el Gráfico 1 se puede observar que la porción de cortante en el tope absorbido por las columnas es sensible para valores de λ entre 0 y 5, disminuyendo gradualmente dicha sensibilidad hasta un punto en donde cualquier variación del parámetro λ no genera un efecto significativo en la absorción de corte ($\lambda \geq 15$). Por otro lado, se puede ver que la variación del parámetro μ, en un amplio espectro de valores, influye muy poco sobre la porción del cortante en el tope.

Los parámetros λ y μ están íntimamente relacionados entre sí (ver Ec 4 y 5), lo que significa que la variación de uno implica la variación del otro, ejerciéndose entonces una influencia de λ de manera directa sobre las vigas e indirecta sobre las columnas, como se puede apreciar en la Fig. 10.

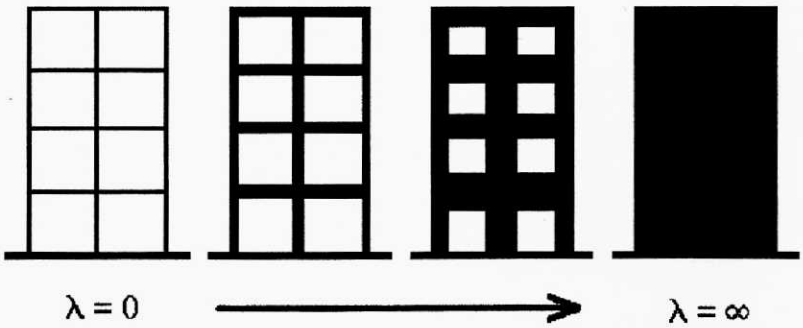

Figura 10. Influencia de λ sobre vigas y columnas.

Dado que la sensibilidad de absorción de corte está determinada por el parámetro λ, se hizo el análisis en función de la variación de dicho parámetro, tomándose una gama de valores comprendida entre λ= 1 y λ= 13.37, siendo este último el correspondiente a la estructura original (pórtico solo); no se tomaron valores de λ inferiores a 1 (uno) ya que corresponde a longitudes de muro muy grandes (superiores a los 3.5m) lo que se traduce en sistemas muy rígidos y costosos. La variación del parámetro λ dentro del intervalo establecido se hizo de manera arbitraria y tratando que fuese lo más uniforme posible, se tomaron variaciones unitarias en la parte sensible de la curva ($1 \leq \lambda \geq 5$) y valores más espaciados de la zona menos sensible (λ=6.5, λ =8, λ=10.5).

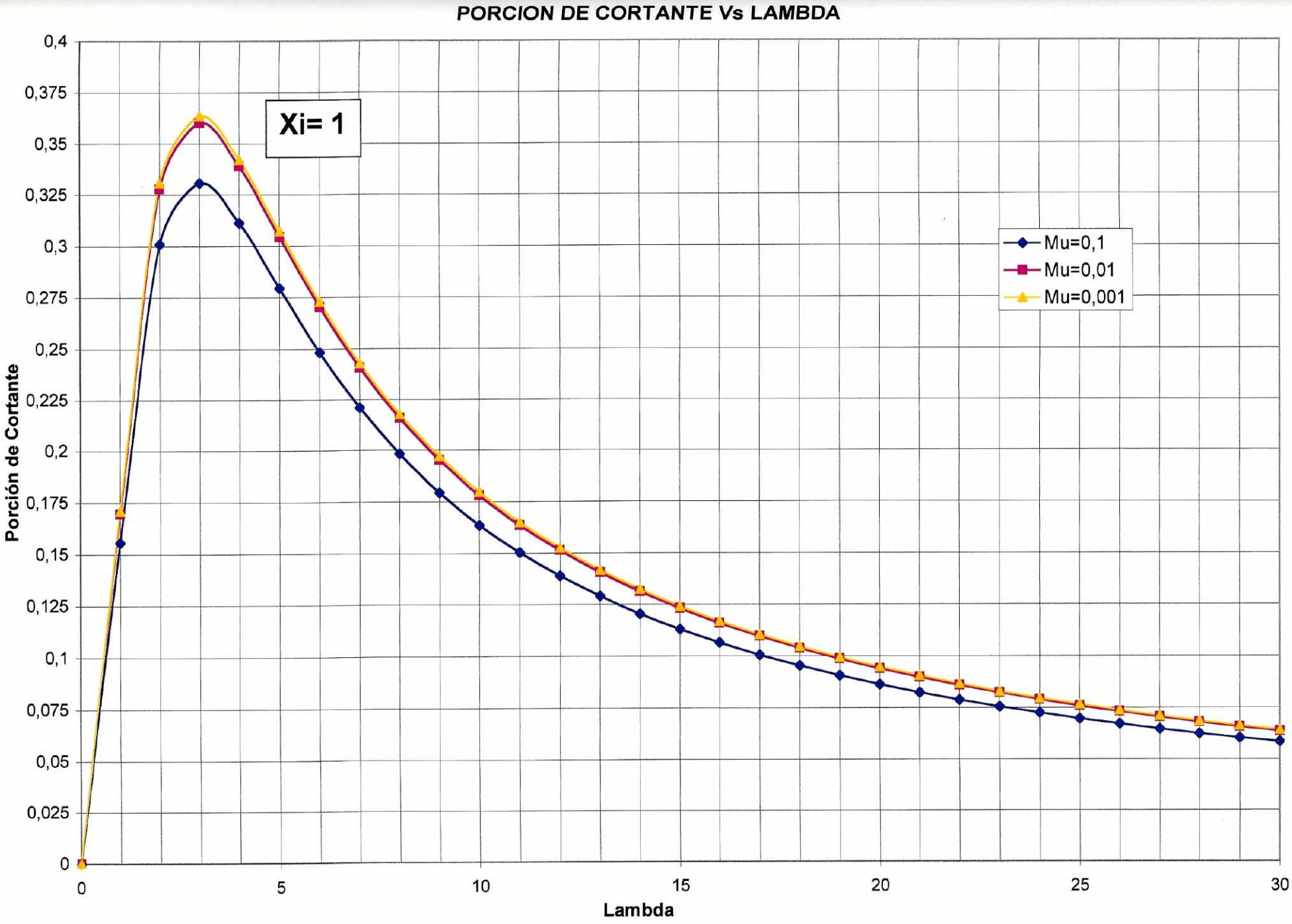
PORCION DE CORTANTE Vs LAMBDA
Xi= 1
Mu=0,1
Mu=0,01
Mu=0,001
Porción de Cortante
Lambda
0,4
0,375
0,35
0,325
0,3
0,275
0,25
0,225
0,2
0,175
0,15
0,125
0,1
0,075
0,05
0,025
0
0
5
10
15
20
25
30

GRÁFICO 1

III. METODO MATRICIAL

El software utilizado para realizar los análisis estructurales estáticos fue el SAP 2000 versión Estudiantil 6.13. Los análisis dinámicos no son marco de ésta investigación.

El SAP 2000 permite obtener una cantidad abundante de información detallada de las solicitaciones a la que están sometidos todos los miembros que conforman la estructura. La introducción de datos debe hacerse minuciosamente, pues necesita una cantidad y diversidad de información apropiada para así tener semejanza con el modelo deseado, de lo contrario puede arrojar resultados incorrectos.

Una vez conocido el intervalo de longitudes de pantalla a estudiar y escogida la geometría de los elementos conectores (bielas), se procedió a analizar el pórtico de la Figura 3, anexándole la pantalla, según cada configuración, para estudiar su comportamiento.

Para cada configuración estructural, se estudiaron los siguientes parámetros:

Flecha, deriva y corte: como se mencionó anteriormente, éstos son los parámetros que se buscan optimizar en el refuerzo de estructuras aporticadas, por lo que es necesario analizar su comportamiento.

Momento de volcamiento: es importante para reflejar de manera gráfica las fuerzas axiales en las columnas, que son proporcionales a la diferencia entre el Momento Externo y aquél que absorbe la estructura dual.

Fuerzas axiales en columnas: uno de los problemas que puede surgir es que las fuerzas axiales originadas por el momento de volcamiento pueden exceder significativamente las fuerzas de gravedad, generándose compresiones mayores a las estimadas, teniendo así que hacerse refuerzos adicionales en las columnas.

Fuerzas axiales en bielas: otro patrón de respuesta muy particular, característico de estos sistemas, es que generalmente se presentan fuerzas variables y de magnitudes importantes en los diversos niveles de la estructura, razón por la cual es importante analizar este parámetro, ya que sirve para diseñar las uniones muro-pórtico, indicando si es necesario el refuerzo de losas (en un edificio real).

Corte y Momento en vigas: es importante para el análisis conocer el comportamiento de estos miembros antes y después de la incorporación del muro estructural.

III.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los resultados individuales de la configuración correspondiente a Muro Continuo hasta el Tope, así como también comparaciones de los parámetros estudiados, para un mismo valor de λ, entre todas las configuraciones.

Dado el carácter idealizado del pórtico prototipo y del caso de carga triangular, las magnitudes de los diversos parámetros evaluados son de carácter simbólico, importando únicamente su comportamiento, razón por la cual se hace importante un análisis comparativo.

Si bien en todos los parámetros las comparaciones gráficas son directas, para el corte se plantea un enfoque adicional y a titulo referencial, comparando el cortante que llega al pórtico según el caso de carga especificado anteriormente (ver Figura 7), con un cortante típico (ACI 1756-98), el cual no es más que un perfil para la distribución de carga triangular, donde se reparte el cortante basal según la expresión:

$$Qtípico = 0.1 * Qo + 0.9 * Qo * (1 - \zeta^2) \qquad \text{Ec 9}$$

Este tipo de distribución asemeja el comportamiento del cortante externo dinámico y al obtener el cociente entre los cortantes se puede lograr

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

una comparación muy grafica de cómo se distribuyen dichos cortantes a lo largo del pórtico.

III.1.1 Muro Continuo

III.1.1.1 Flecha y deriva

En general, a menores valores de λ, menores son los valores de flecha y deriva que se presentan en la estructura, lo cual es un comportamiento lógico ya que valores bajos de λ corresponden a pantallas de mayor longitud y por lo tanto proporcionan mayor rigidez al sistema (ver Gráficos 2 y 3).

Para la flecha se observa como el valor de λ =1 se comporta de manera muy similar a un voladizo flexional, para $\lambda > 1$ el comportamiento es una combinación del voladizo flexional y viga de cortante.

Las derivas más uniformes se encuentran en valores de $\lambda < 2$, que corresponden a muros entre 3.3m y 2.1m, donde se puede observar que los desplazamientos relativos aumentan con la altura de la estructura y se hacen asintóticos verticalmente (ver Gráfico 3). Para valores de $\lambda > 3$, muros más flexibles, el comportamiento de estas curvas comienza a variar gradualmente y a perder uniformidad, generándose una concavidad en los niveles

intermedios que asemeja una parábola, lo que se traduce en mayores desplazamientos relativos en dichos niveles, acentuándose esta conducta en valores de $\lambda > 4$.

A medida que se disminuye la anchura de la pantalla, no sólo se aumenta la amplitud de esta concavidad, si no que el punto máximo de la misma se consigue en niveles cada vez más bajos de la estructura.

III.1.1.2 Corte.

Con la adición de pantallas, cualquiera sea su longitud, se logra que las columnas del pórtico en el sistema dual dejen de absorber parte de las fuerzas laterales aplicadas (cortante externo), este porcentaje de absorción varía dependiendo del grado de rigidez que se le dé a dicho sistema (ver Gráfico 4 y 5.a-h).

A medida que λ disminuye, lo que se traduce en sistemas más rígidos, la capacidad de absorción de corte por la pantalla es mayor, dejando así menos solicitadas las columnas del pórtico. Para un $X_i \approx 0.9$, que corresponde al piso 8 de la estructura, ocurre un cambio en este comportamiento (Gráfico 4), donde la estructura original (λ=13.37) tiene un mejor desempeño en los últimos dos (2) niveles que cuando está reforzada, es decir, en los pisos inferiores la rigidez del muro es muy alta y restringe

casi totalmente la deformación del pórtico, mientras que en los pisos superiores el muro tiende a presentar grandes deflexiones, mayores de las que sufriría el pórtico si tuviera que soportar toda la carga lateral por si solo, por ello, en lugar de colaborar con el pórtico a resistir las cargas laterales, el muro origina un incremento en las fuerzas que éste debe resistir. Como se puede ver esto no ocurre en λ=1, donde en todo momento la pantalla absorbe más corte que el pórtico, permitiendo que éste se apoye en él.

El Gráfico 5.a-h permite visualizar mejor el porcentaje de corte que absorben el muro y el pórtico dentro del sistema, para los diferentes λ analizados. La zona entre ambas curvas representa el corte que absorben las columnas.

Para λ=1 (Gráfico 5.a) se puede ver que el muro absorbe casi en su totalidad el cortante externo y a partir de λ=2 (Gráfico 5.b-h) no sólo disminuye el corte que absorbe el muro, si no que su capacidad de absorción de corte en los niveles intermedios, entre el piso 2 y el piso 8, disminuye a medida que se hace menos rígido.

III.1.1.3 Momento.

Como se puede ver en el Gráfico 6.a-h los momentos producto de las fuerzas laterales aplicadas (momento de volcamiento) que debe soportar la

estructura original, son absorbidos casi en su totalidad por las columnas en forma de fuerzas axiales, razón por la cual la sección de sus columnas deberían ser lo suficientemente grandes para absorber las fuerzas que se originen. La zona entre el momento externo y el momento que absorbe el sistema muro-pórtico, corresponde a las fuerzas axiales que deben soportar las columnas del pórtico.

A menores valores de λ, muros más rígidos, mayor es la capacidad de absorción de momentos por el sistema debido a la pantalla de refuerzo, y por lo tanto menores son las fuerzas axiales en columnas; este parámetro es importante evaluarlo para el diseño, ya que si la magnitud de dichas fuerzas no es muy grande, no sería necesaria la adición de una pantalla si no que bastaría con reforzar las columnas en las zonas más afectadas, lo cual es un procedimiento sencillo.

III.1.1.4 Fuerza axial en columnas.

Como se mencionó anteriormente las cargas axiales en una estructura aporticada son mayores que las que se presentan cuando hay un muro de refuerzo (ver Grafico 6.a-h y 7) y a medida que el muro es más rígido, menores son las fuerzas axiales que deben soportar las columnas; para $Xi \geq 0.44$ hay un inversión en este comportamiento, donde los sistemas más flexibles tienen magnitudes menores en estas fuerzas comparados con los

sistemas más rígidos, aunque son valores muy cercanos, sin embargo para λ =1 las fuerzas axiales son menores a lo largo de la altura H de la estructura.

A nivel de fundación ocurren variaciones significativas en lo que se refiere a la magnitud de las axiales en columnas para valores de λ comprendidos entre 1 y 4; para valores de λ superiores a 4, dichas fuerzas no son tan sensibles a la variación de este parámetro.

III.1.1.4 Fuerza axial en bielas.

El análisis de estas solicitaciones es importante para saber si es necesario un refuerzo de la losa de entrepiso en los puntos de unión de la estructura con la pantalla. El Gráfico 8 refleja que la mayor concentración de esfuerzos en los elementos conectores se encuentran en los pisos inferiores y en el tope, donde además de reforzar la losa de entrepiso se deberían colocar bielas más resistentes.

Los sistemas flexibles presentan mayores cargas axiales en los niveles inferiores, mientras que los rígidos están más solicitados en los niveles superiores.

En todos los gráficos que se presentan, los valores negativos corresponden a fuerzas de compresión así como los positivos corresponden a fuerzas de tracción, esto se debe a la convención de signos adoptada por el SAP 2000.

FLECHA
MURO CONTINUO

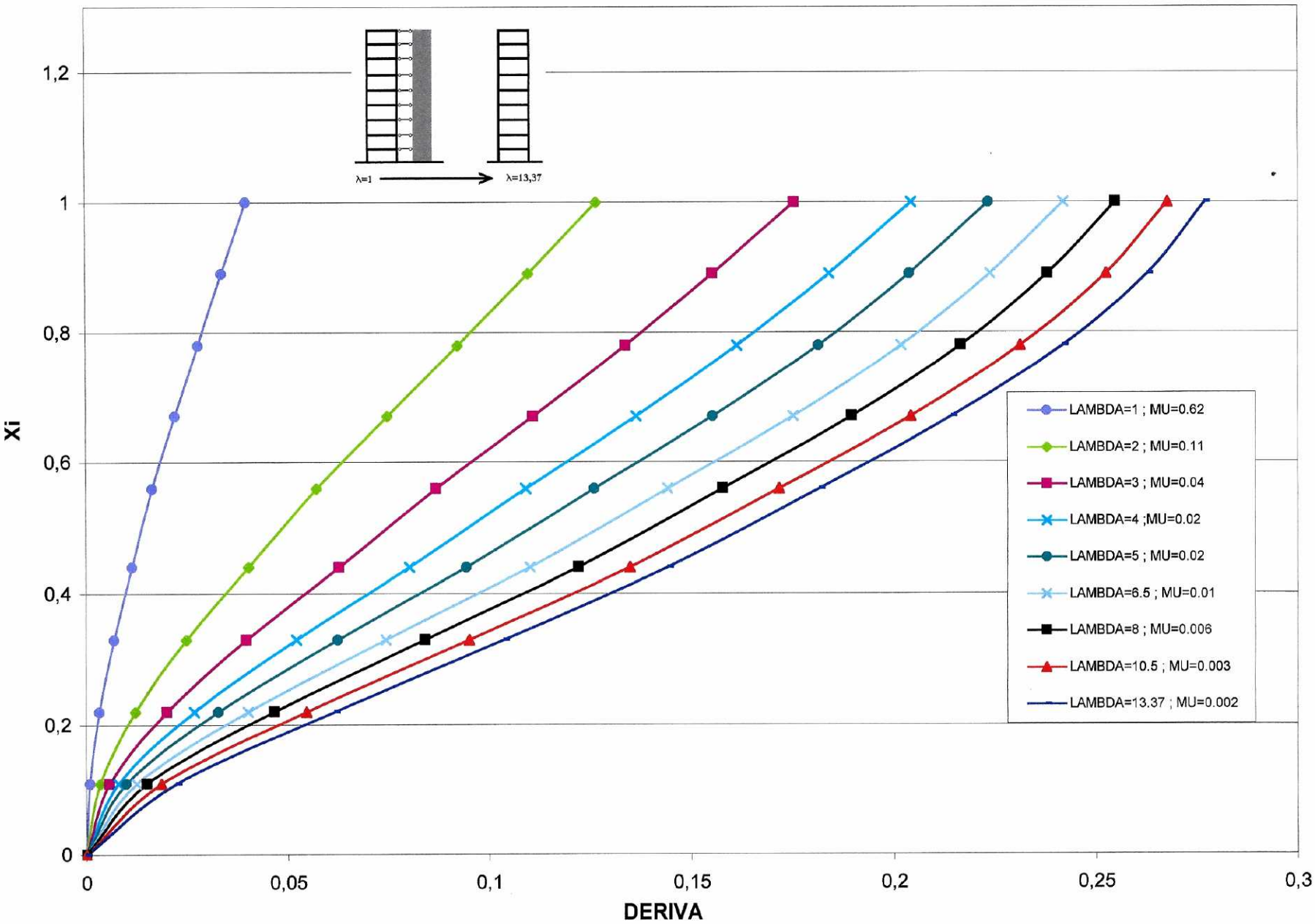

GRÁFICO 2

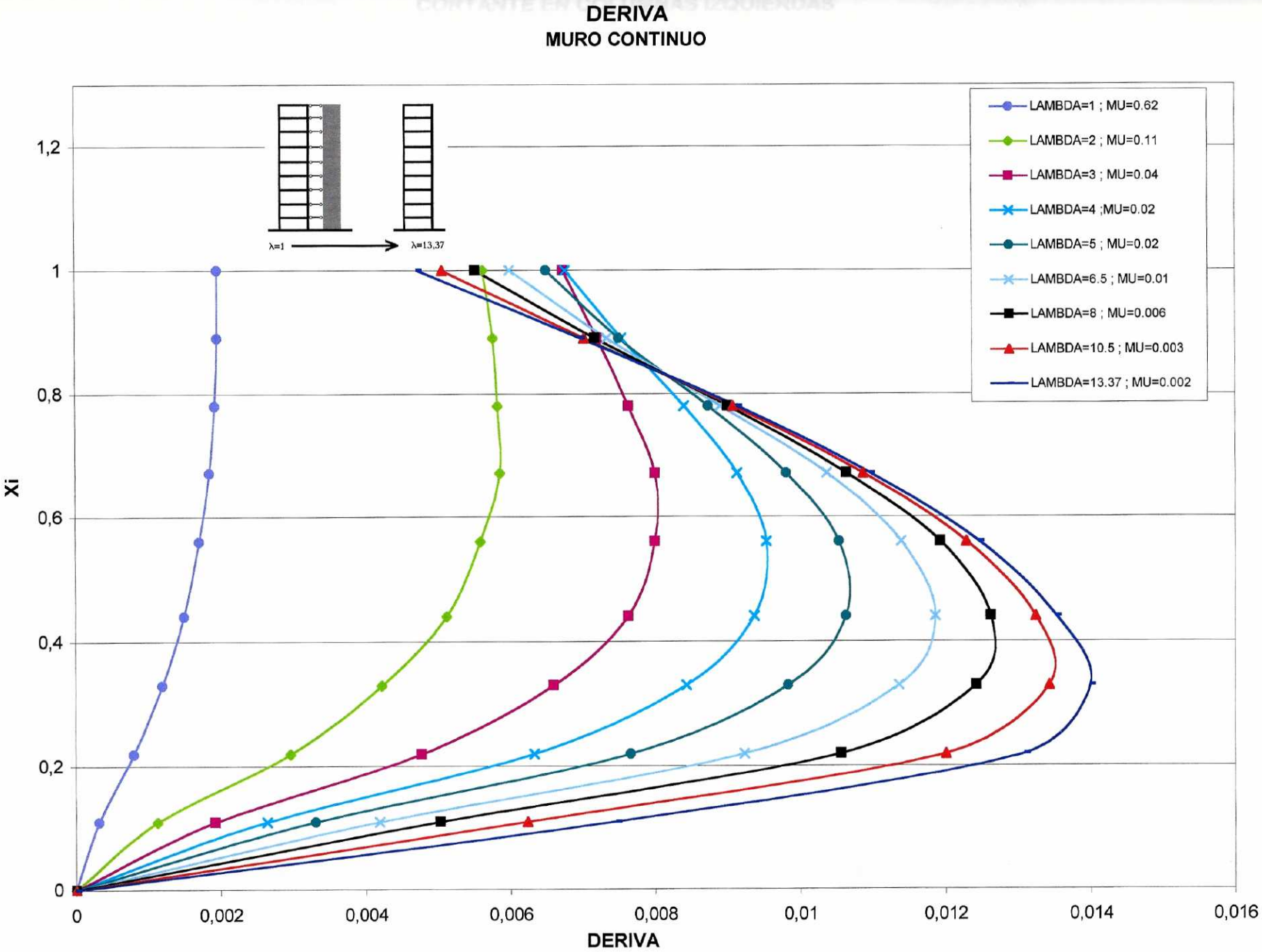
DERIVA
MURO CONTINUO
λ=1
λ=13,37
LAMBDA=1 ; MU=0.62
LAMBDA=2 ; MU=0.11
LAMBDA=3 ; MU=0.04
LAMBDA=4 ;MU=0.02
LAMBDA=5 ; MU=0.02
LAMBDA=6.5 ; MU=0.01
LAMBDA=8 ; MU=0.006
LAMBDA=10.5 ; MU=0.003
LAMBDA=13.37 ; MU=0.002
Xi
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,002
0,004
0,006
0,008
0,01
0,012
0,014
0,016
DERIVA

GRÁFICO 3

CORTANTE EN COLUMNAS IZQUIERDAS
MURO CONTINUO

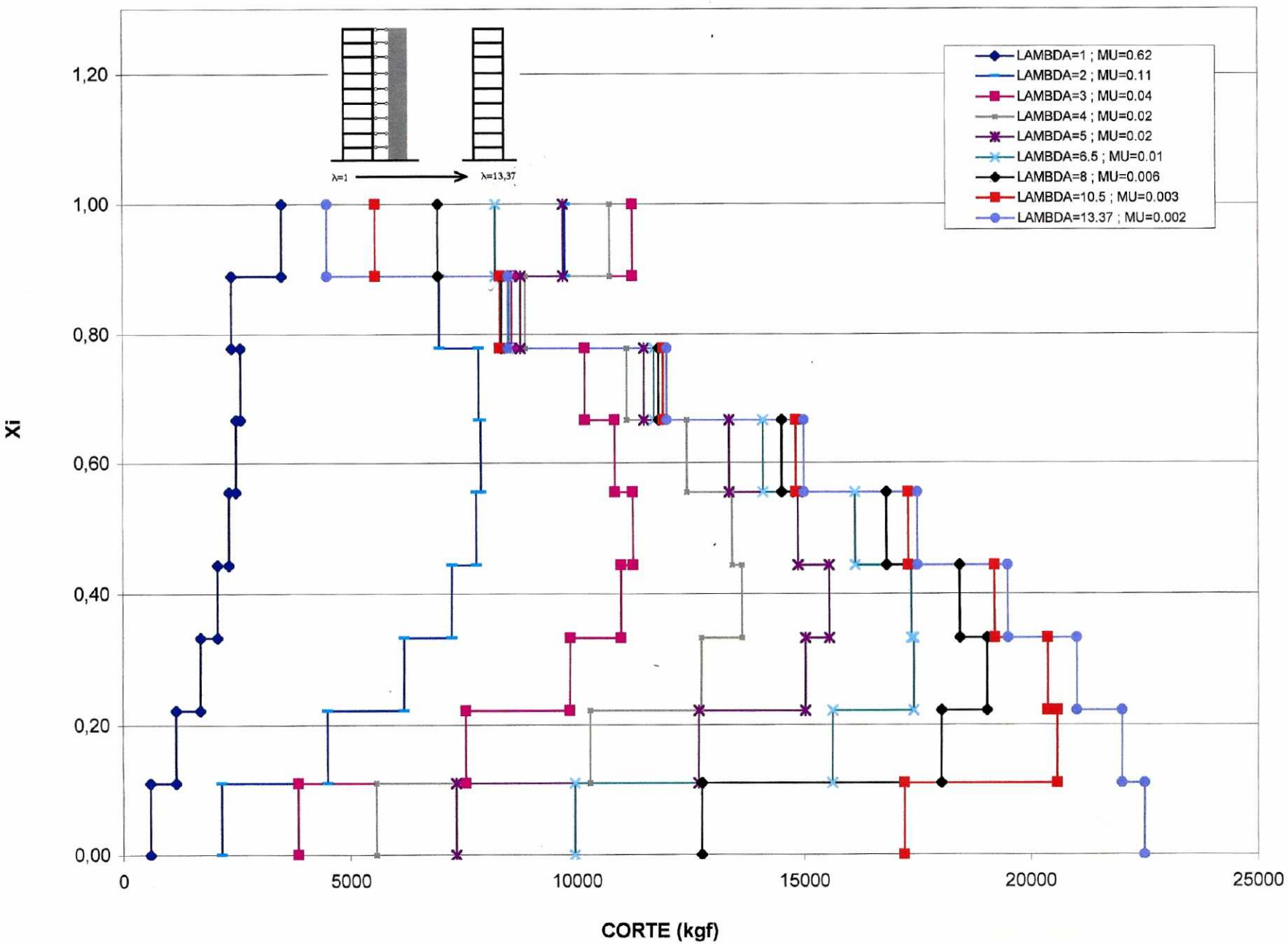

GRÁFICO 4

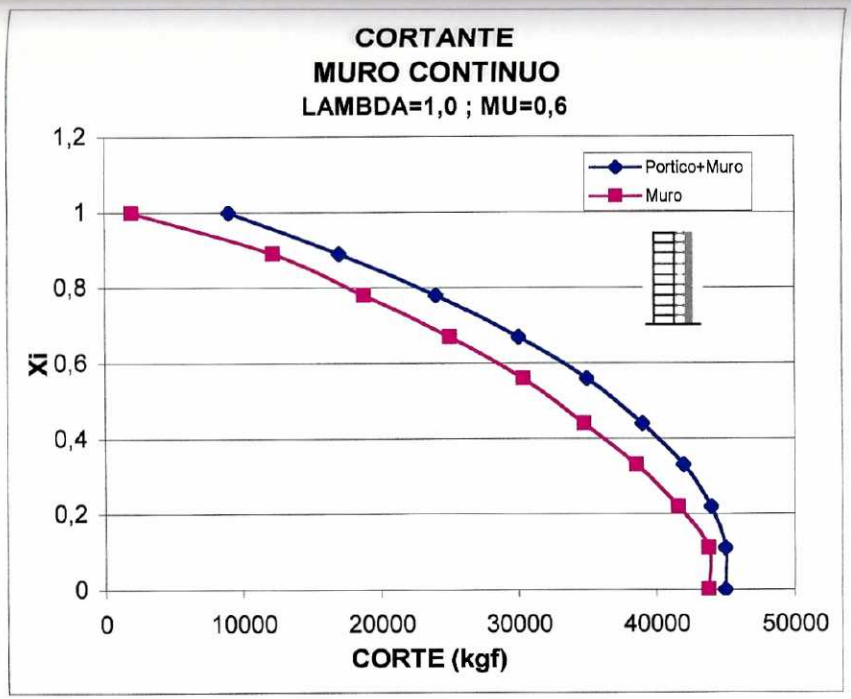

GRÁFICO 5-a

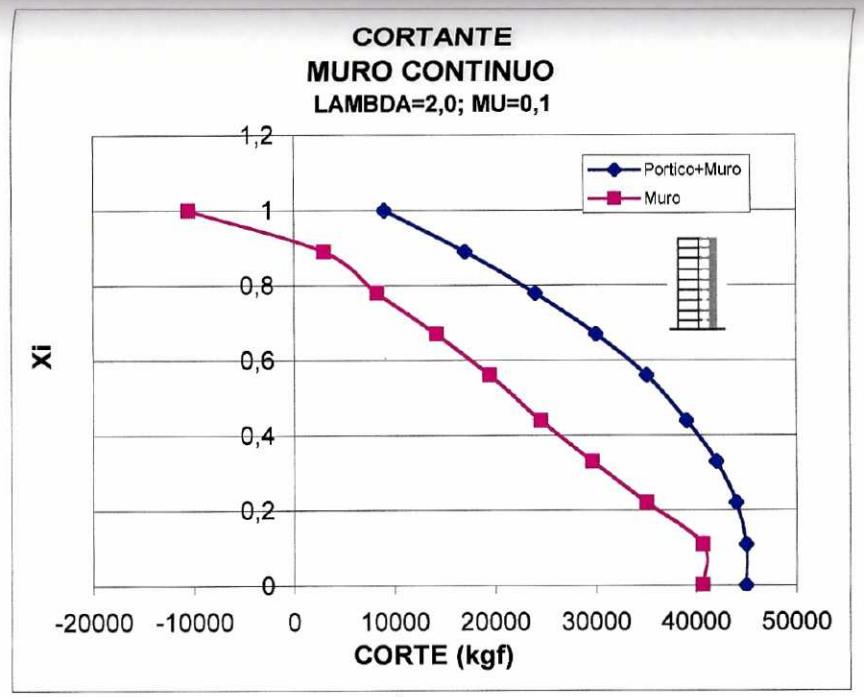

GRÁFICO 5-b

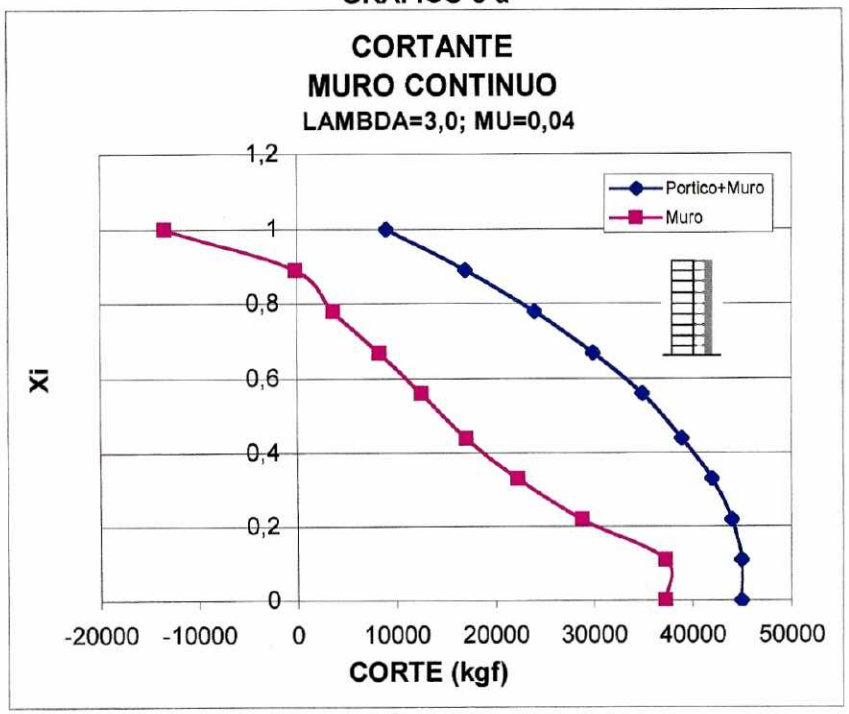

GRÁFICO 5-c

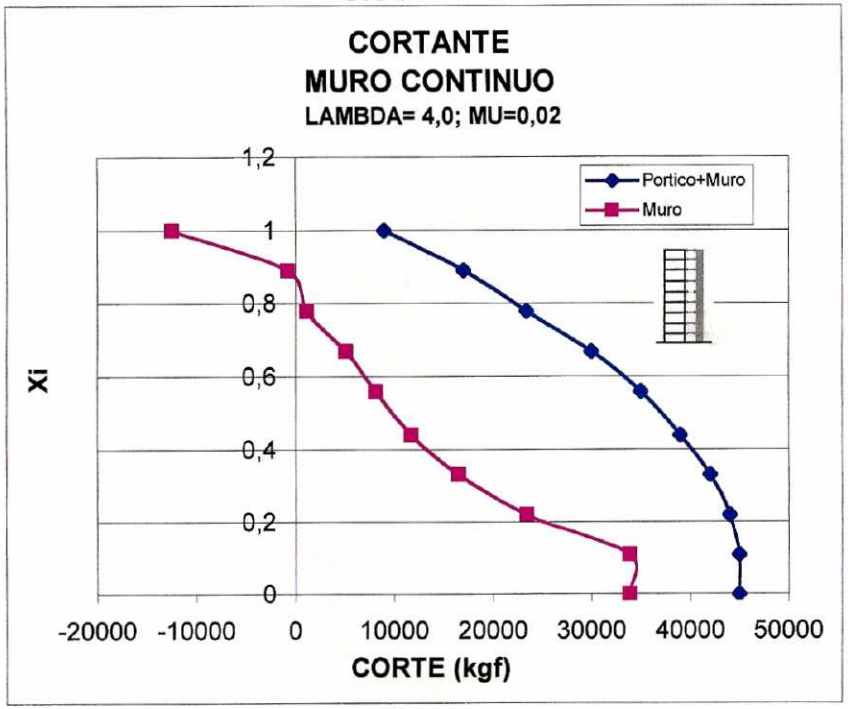

GRÁFICO 5-d

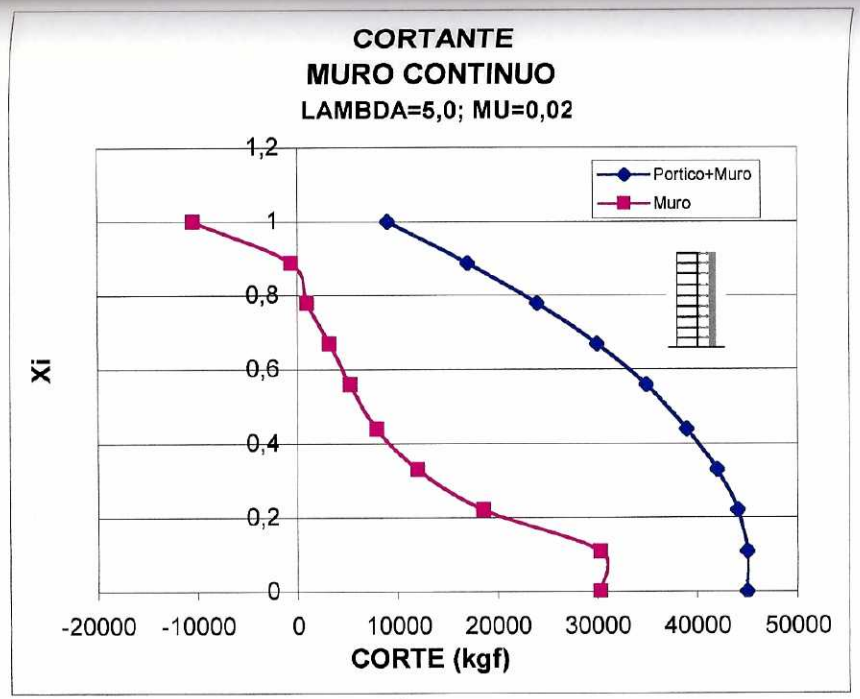

GRÁFICO 5-e

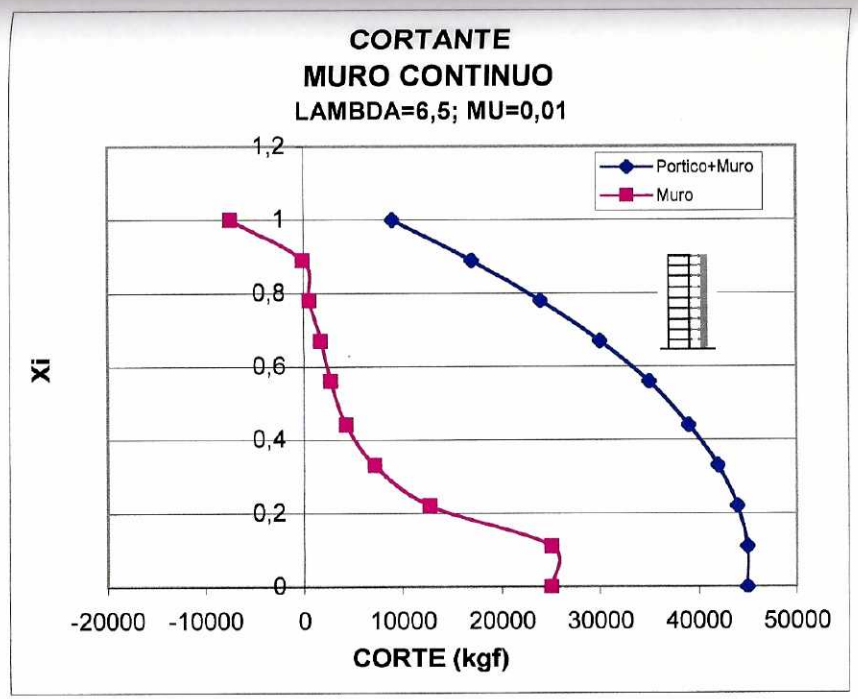

GRÁFICO 5-f

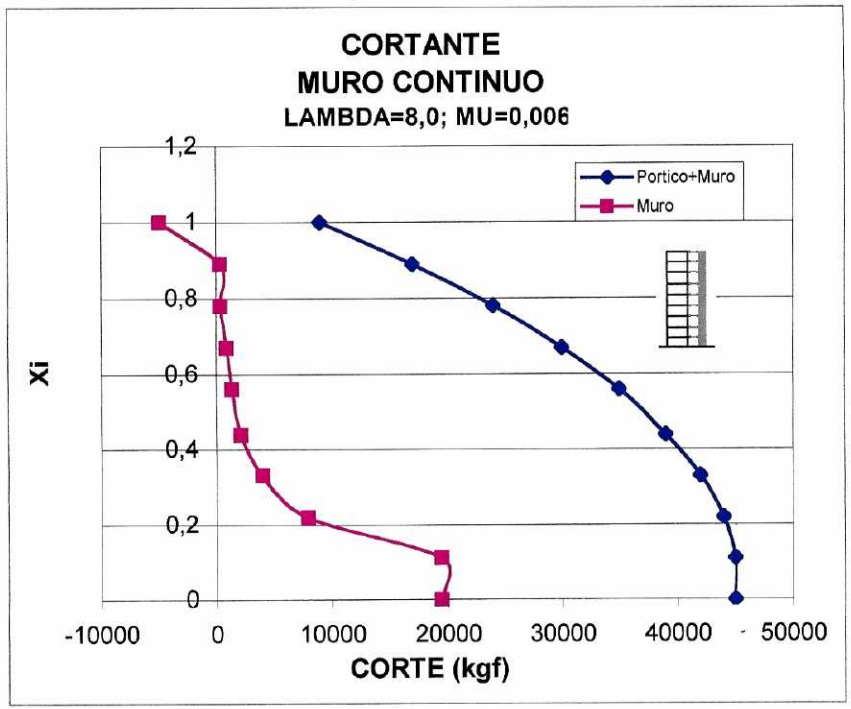

GRÁFICO 5-g

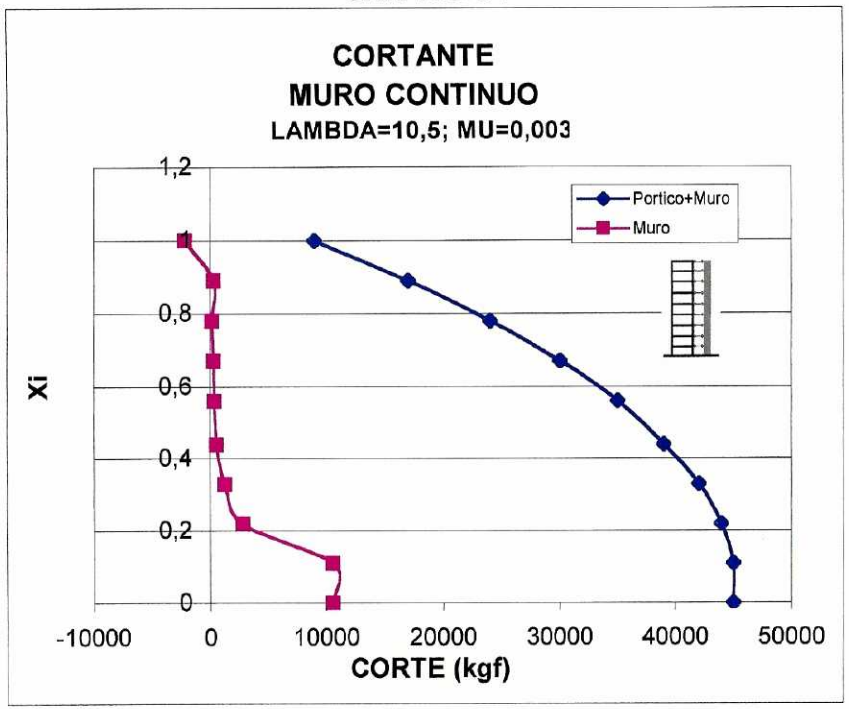

GRÁFICO 5-h

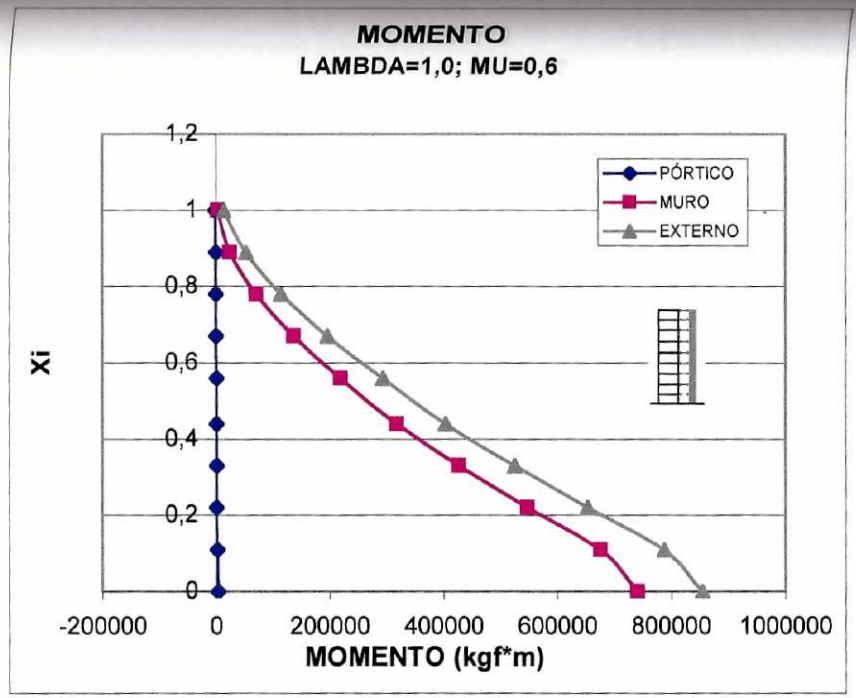

GRÁFICO 6-a

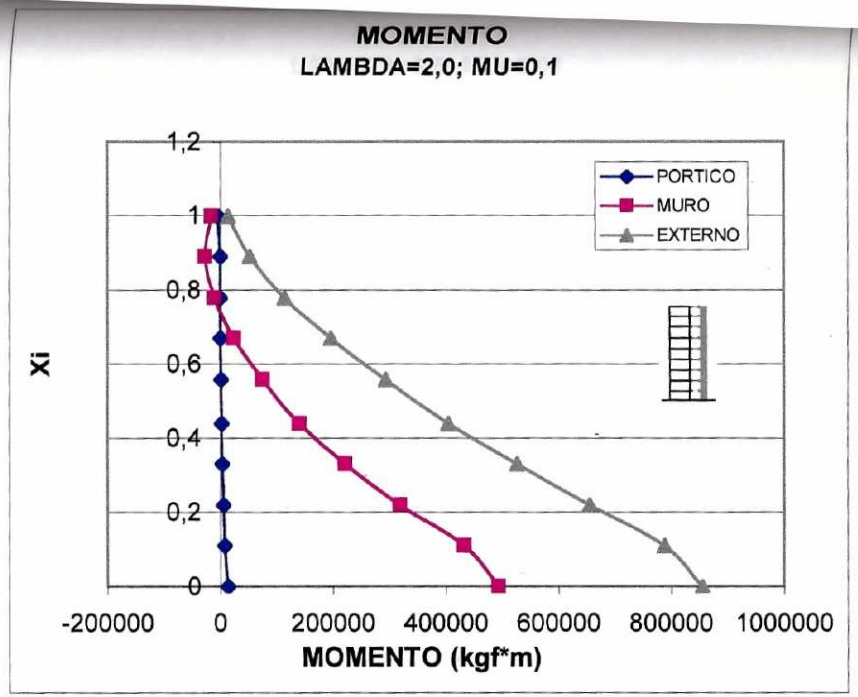

GRÁFICO 6-b

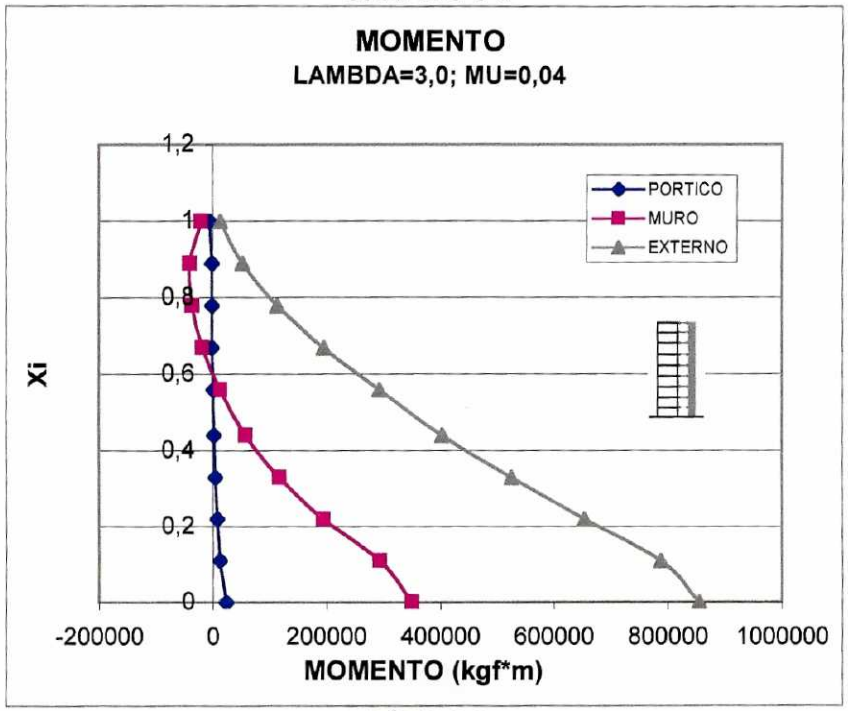

GRÁFICO 6-c

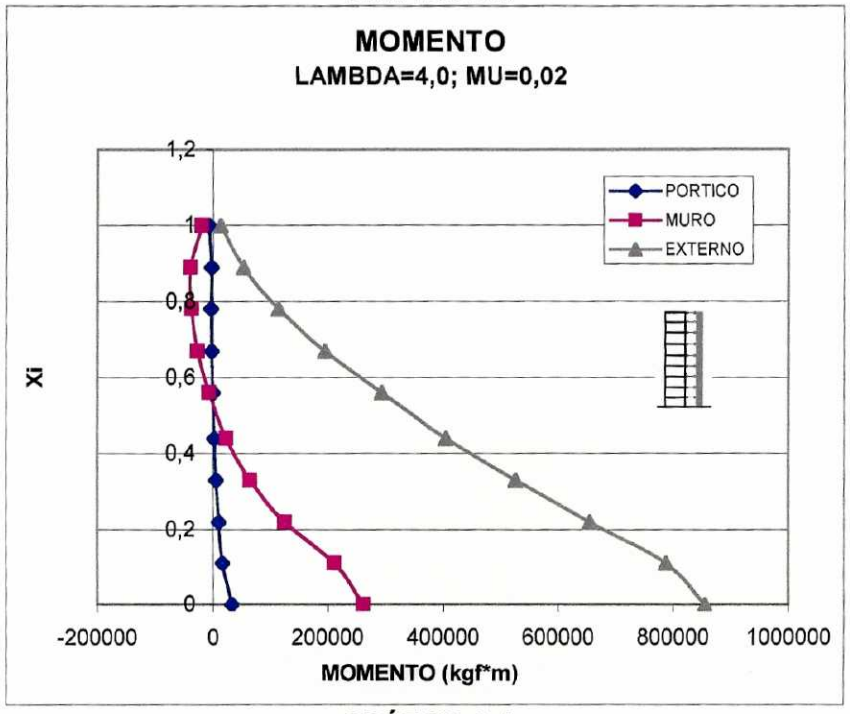

GRÁFICO 6-d

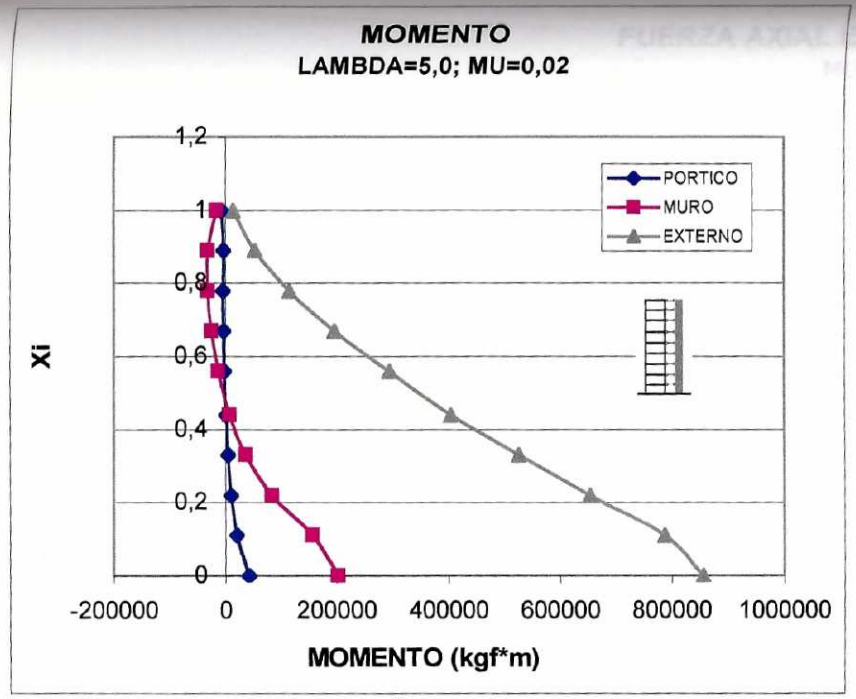

GRÁFICO 6-e

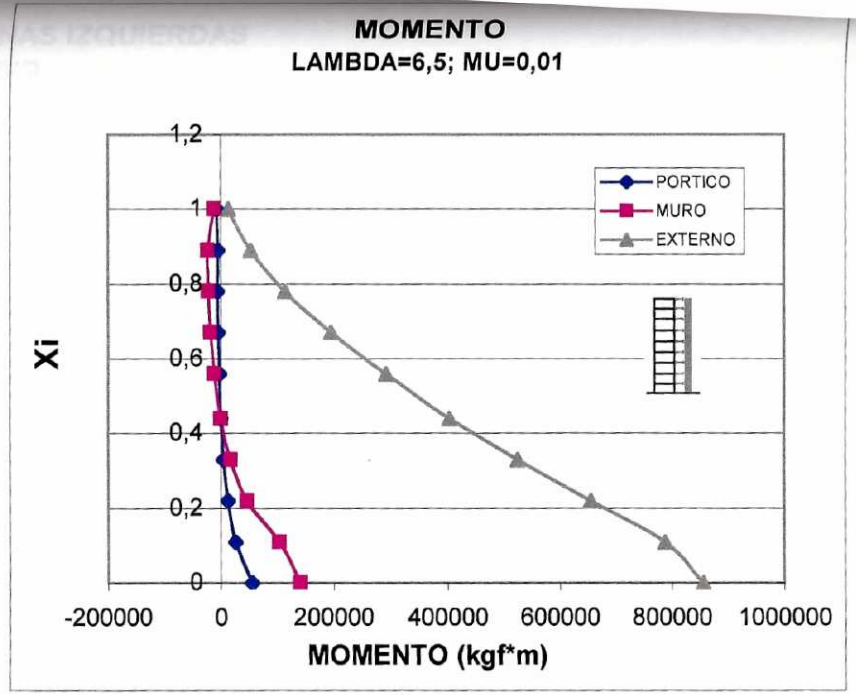

GRÁFICO 6-f

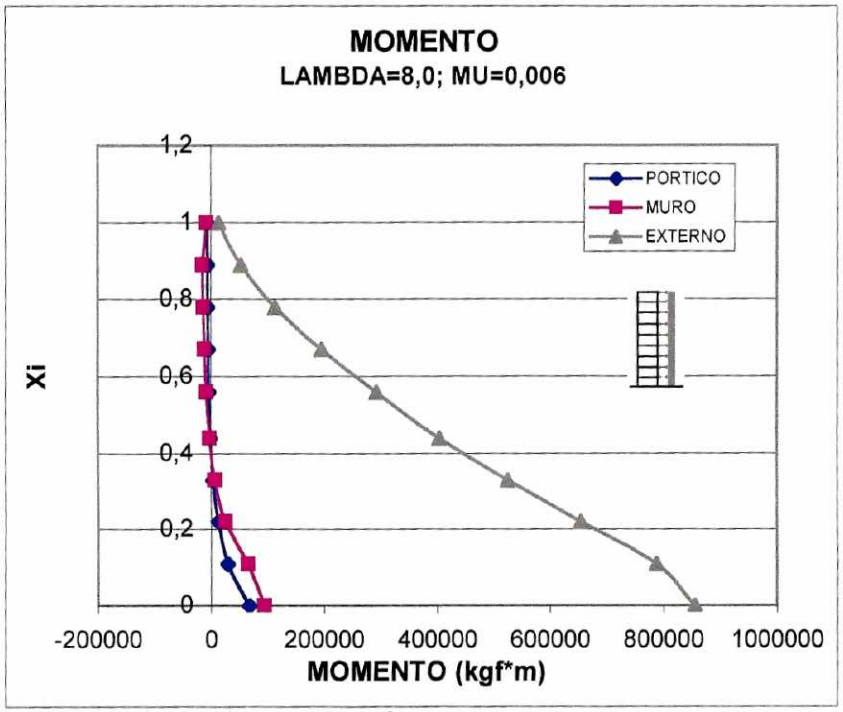

GRÁFICO 6-g

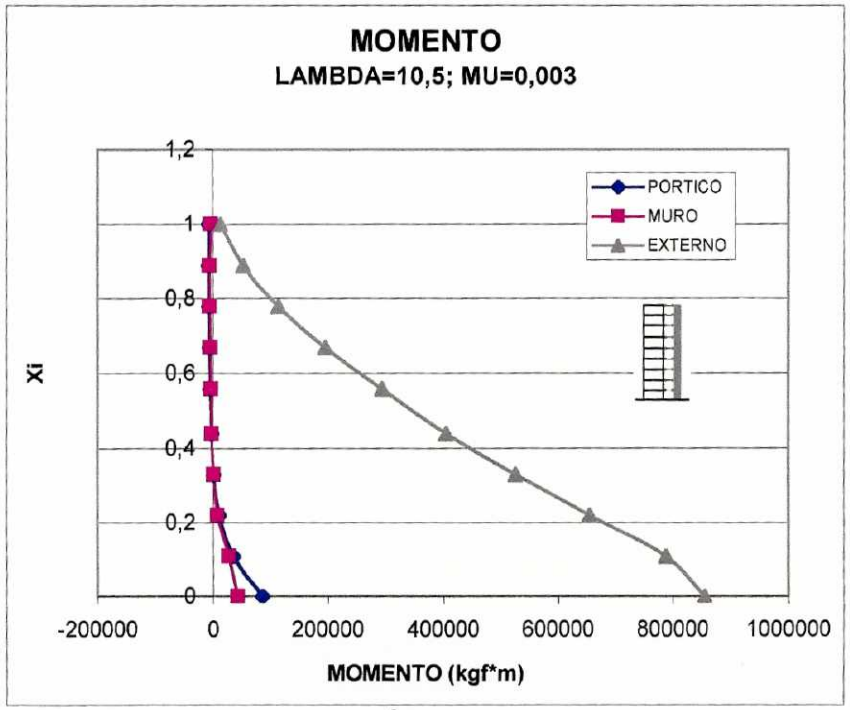

GRÁFICO 6-h

FUERZA AXIAL EN COLUMNAS IZQUIERDAS
MURO CONTINUO

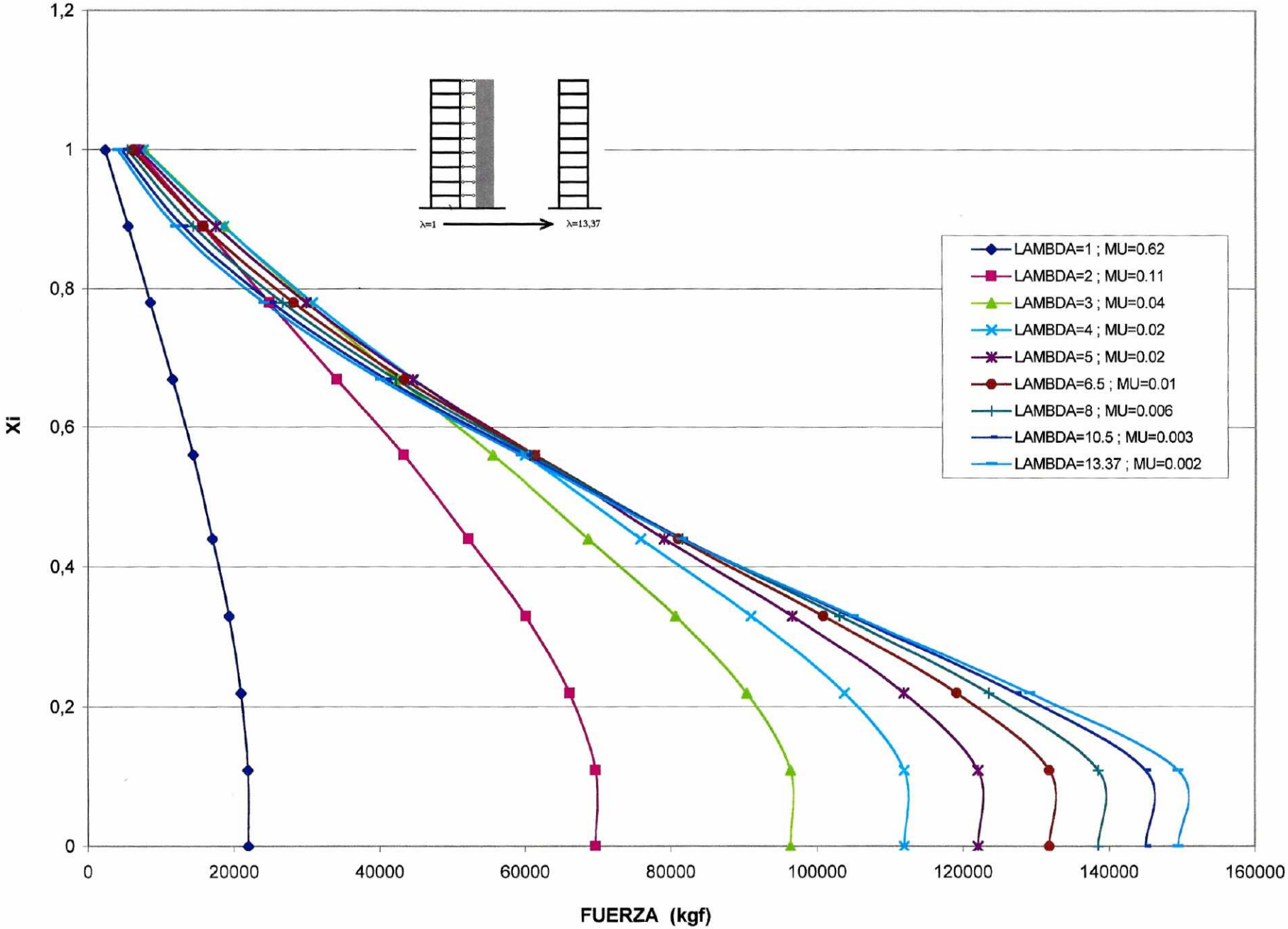

GRÁFICO 7

FUERZA AXIAL EN BIELAS
MURO CONTINUO

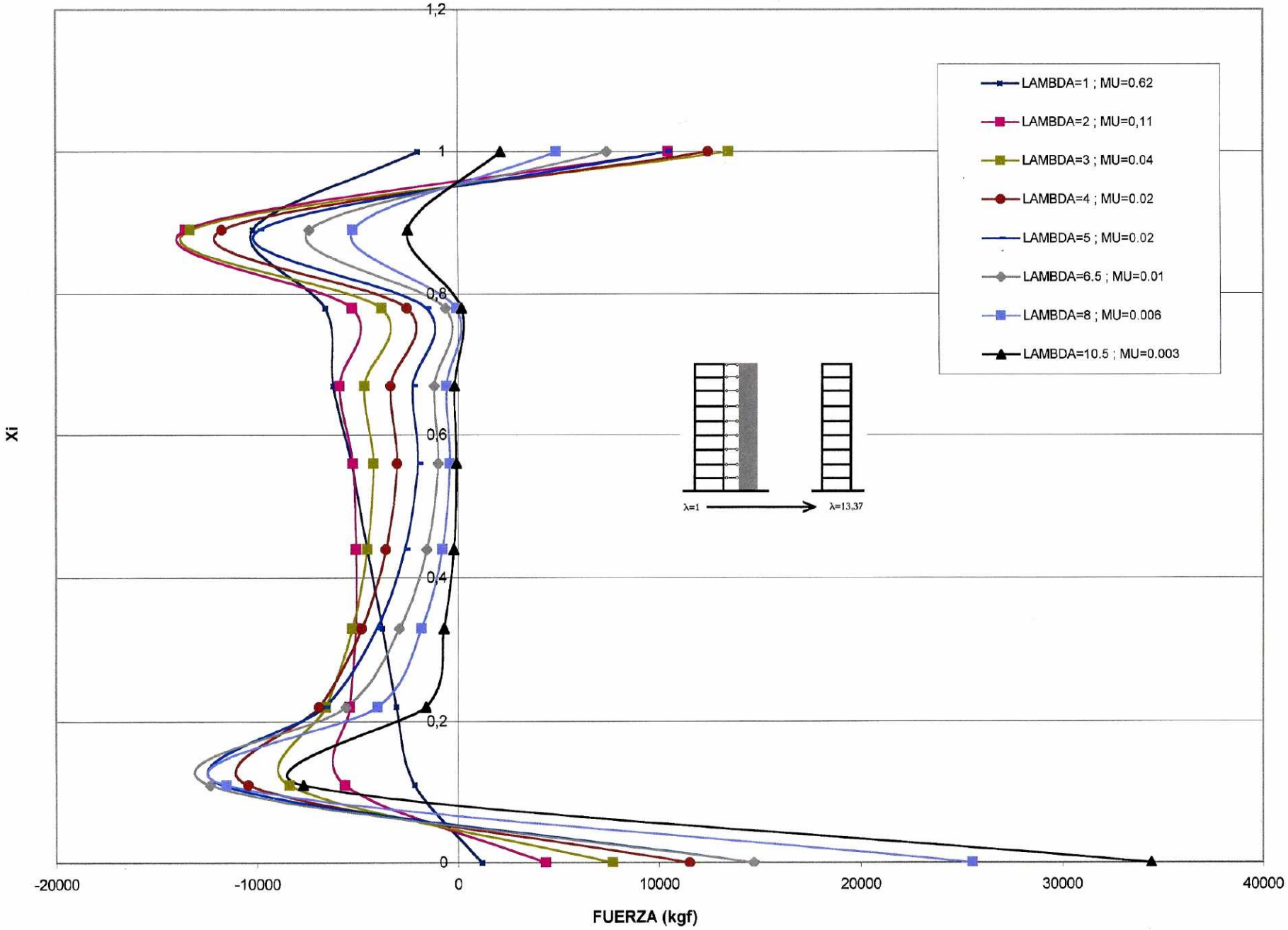

GRÁFICO 8

III.1.2. Comparación de las diferentes configuraciones para un mismo valor de λ

III.1.2.1. Flecha y deriva

Para sistemas flexibles los desplazamientos laterales de la estructura de las diferentes configuraciones son de magnitudes similares, desde el nivel de fundación hasta el tope de la misma y a medida que se hace más rígido las menores flechas las observamos en las configuraciones no truncadas, excluyendo Muro Truncado piso 8 (ver Gráfico 9.a-h); cuando se tiene un alto grado de rigidez en estas configuraciones se observa un comportamiento similar al voladizo flexional, mientras que el resto de las configuraciones tienen un comportamiento combinado de voladizo flexional y viga de cortante.

El punto de inflexión de la flecha de la estructura, el cual coincide con el punto máximo de la deriva, disminuye en altura cada vez que el sistema se hace más flexible (ver Gráfico 10).

En el Gráfico 11.a-h se puede apreciar que para valores bajos de λ existe una mayor uniformidad en los desplazamientos laterales relativos correspondientes a las configuraciones de Muro Continuo hasta el tope, Muros Discontinuos y Muro Truncado piso 8 inclusive, y a medida que el

valor de λ aumenta, se hace menos uniforme la deriva y se presentan mayores desplazamientos en los niveles centrales de la estructura.

Cuando el sistema dual es muy rígido las otras configuraciones de Muros Truncados presentan comportamientos bastante irregulares de deriva, que van desapareciendo a medida que el sistema se hace más flexible; un comportamiento aceptable se observa en λ=10.5, donde el aporte del muro a la restricción de los desplazamientos es poco significativo. Estas configuraciones proporcionan un arriostramiento de la estructura hasta la altura "H_m" del muro, castigando después dicha estructura con unos desplazamientos de gran magnitud en los niveles libres o no arriostrados.

Para $2 \leq \lambda \leq 10{,}5$, en los niveles superiores de la mayor parte de las configuraciones se sobrepasan los valores de la deriva para el pórtico original.

El Gráfico 12 resume el comportamiento de la Deriva en las configuraciones truncadas comparadas con el Muro Continuo, diferenciándose tres (3) zonas cuyas fronteras están determinadas por el parámetro λ y la altura Xi del muro.

III.1.2.2. Corte

Para cada λ analizado, todas las configuraciones absorben prácticamente el mismo cortante que el Muro Continuo hasta el Tope, desde el nivel de fundación hasta el tope del mismo o hasta el piso inmediato inferior al truncamiento, en el caso que este ocurra. (ver Gráfico 13.a-h).

En el último nivel de altura "H_m" del muro ocurre un cambio de signo en la fuerza cortante del muro de todas las configuraciones, lo que significa que el pórtico debe absorber un corte mayor en ese nivel al que tendría que soportar si no se reforzara la estructura. La magnitud de esta fuerza es menor mientras el sistema es más flexible. Cuando el muro es lo suficientemente rígido (λ=1) como para permitir un desplazamiento mínimo de la estructura original y absorber prácticamente todo el cortante externo, se logran evitar solicitaciones adicionales en el pórtico.

Por otro lado se puede observar que en las configuraciones truncadas a 2/3H, 1/2H y 1/3H, para λ bajos, se presentan picos en el nivel inmediato inferior al corte del muro que sobrepasan el cortante externo, lo que indica que en esos niveles la pantalla está produciendo un daño al pórtico, dejando así de beneficiar al sistema.

En el Gráfico 14 se pueden observar dos (2) zonas, una donde el comportamiento de los muros truncados es similar al del Muro Continuo hasta el tope, y otra donde se producen cambios bruscos en la magnitud del cortante.

Si se relaciona el cortante que absorbe el pórtico en cada piso con una distribución típica de cortante dinámico (ver Ec. 9), mientras más cercano sea éste a una recta vertical, más uniforme será la distribución de corte en los diferentes niveles de la estructura (ver Gráfico 15.a-d); este comportamiento se observa para λ=1 y λ=10,5 entre los niveles que van desde la base de la estructura hasta un (1) nivel inferior al truncamiento del muro, presentándose en los niveles superiores una distribución de corte muy dispar. En los Muros Discontinuos se observa una mayor uniformidad en el comportamiento para valores bajos de λ y la conducta dispar de los pisos superiores se suaviza.

III.1.2.3. Momento

Mientras el muro sea más rígido, sea cual sea la configuración, la capacidad de absorción de momentos por el sistema es mayor, dejando así menos solicitadas a cargas axiales las columnas del pórtico (ver Gráfico 16.a-h). Para un mismo valor de λ, la magnitud del momento absorbido por el sistema es básicamente el mismo en todas las configuraciones, desde la

base de la estructura hasta el tope de la misma, presentándose una diferencia en los Muros Truncados 1/2H y 1/3H, los cuales tienen menor capacidad de absorción para λ bajos que el resto de las configuraciones.

Los momentos negativos indican un cambio en el comportamiento a flexión del sistema dual y como se puede ver son magnitudes muy pequeñas comparadas con los momentos a nivel de fundación de la estructura.

III.1.2.4. Fuerza axial en columnas

Como se mencionó anteriormente éste es un parámetro cuyo comportamiento se deriva de que el sistema tenga o no la capacidad de absorber momentos de volcamiento, por lo tanto mientras el sistema sea más flexible, menores momentos absorbe y mayores son las fuerzas axiales en las columnas del pórtico (ver Gráfico17a-h). De igual manera sucede que para un mismo λ, las fuerzas axiales de todas las configuraciones están por el mismo orden de magnitud, exceptuando los Muros Truncados 1/2H y 1/3H en sistemas rígidos.

III.1.2.5. Fuerza axial en bielas

Las bielas de las configuraciones de Muros Truncados 2/3H, 1/2H y 1/3H tienen un comportamiento anormal, presentando solicitaciones de

magnitudes exageradas en el último nivel de altura "H_m" del muro, dicho comportamiento se suaviza a medida que el sistema es más flexible y se asemeja al de los otros casos analizados (ver Gráfico18.a-h).

Las mayores solicitaciones ocurren en los niveles inferiores de la estructura y en los últimos niveles de la altura del muro, lo que indica que éstas son las zonas de máximo cuidado en el diseño.

Las solicitaciones en la base de la estructura son mínimas para λ=1 y a medida que se hace más flexible el sistema, se incrementan las solicitaciones.

.

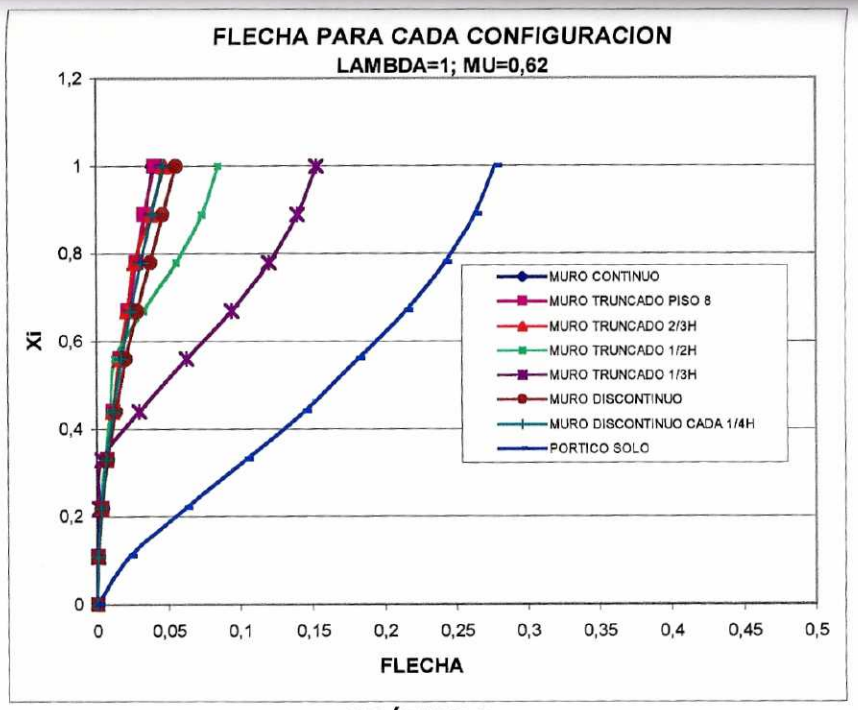

GRÁFICO 9-a

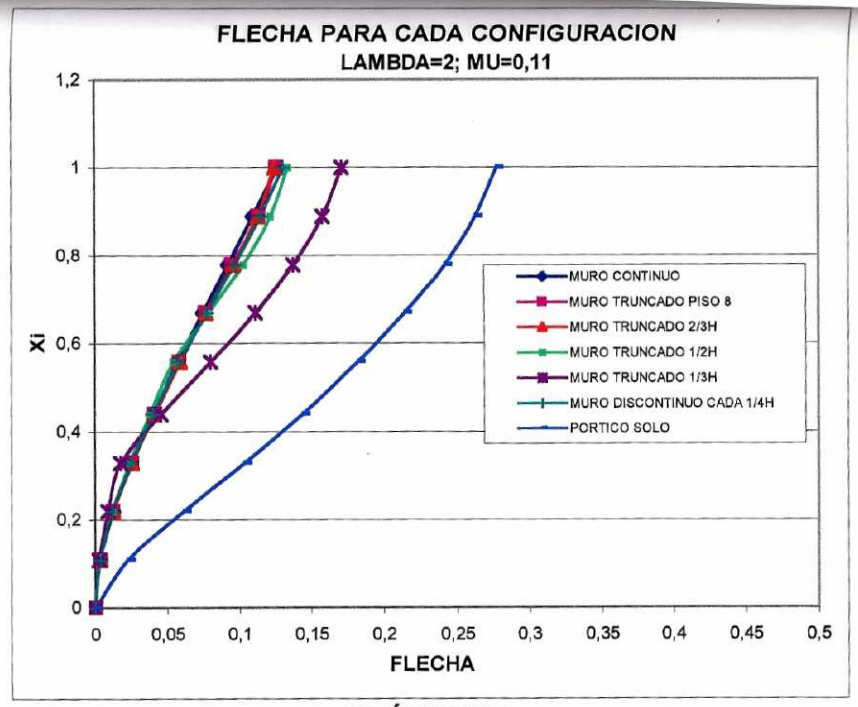

GRÁFICO 9-b

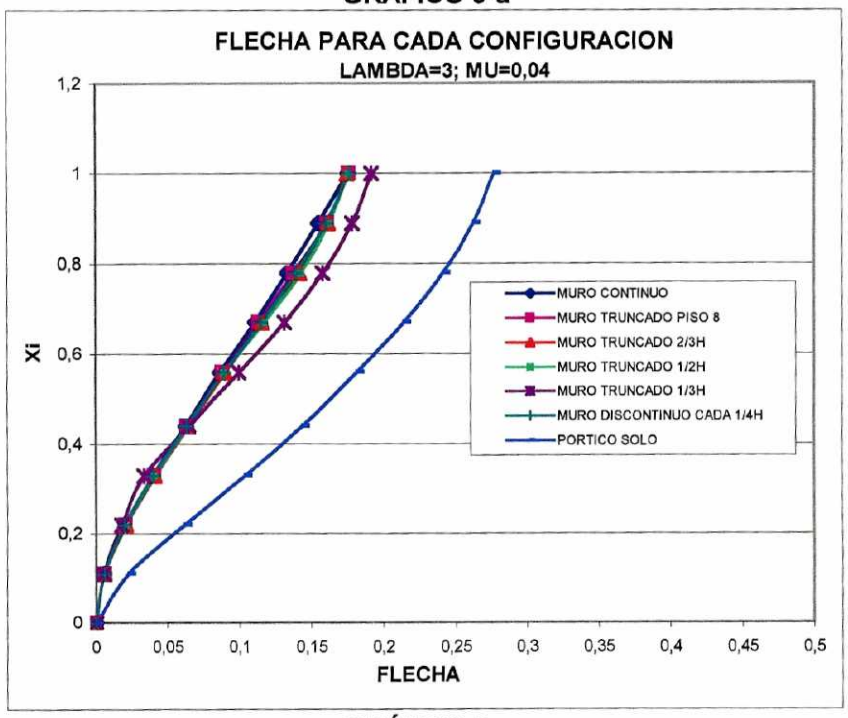

GRÁFICO 9-c

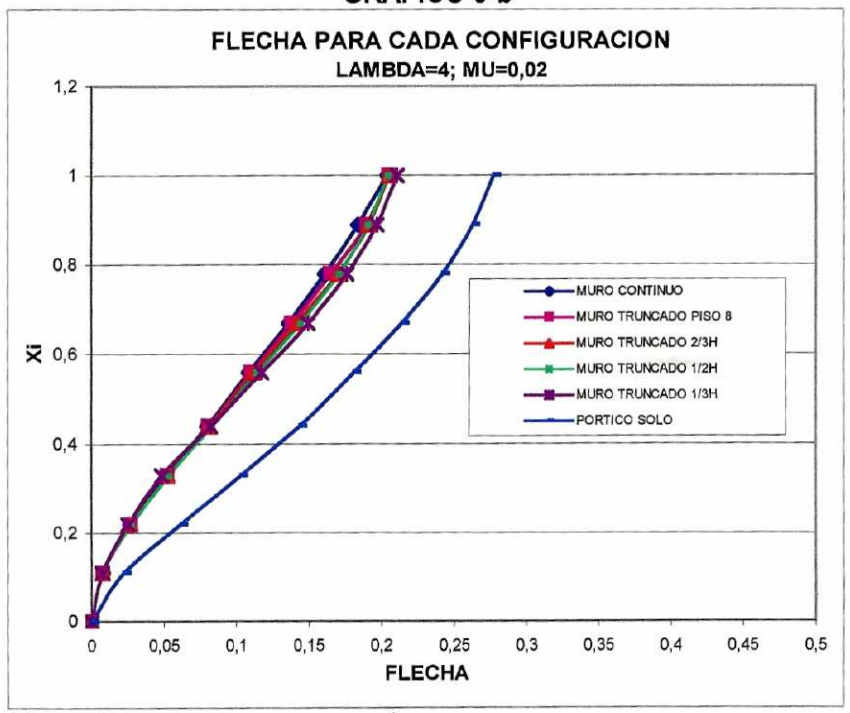

GRÁFICO 9-d

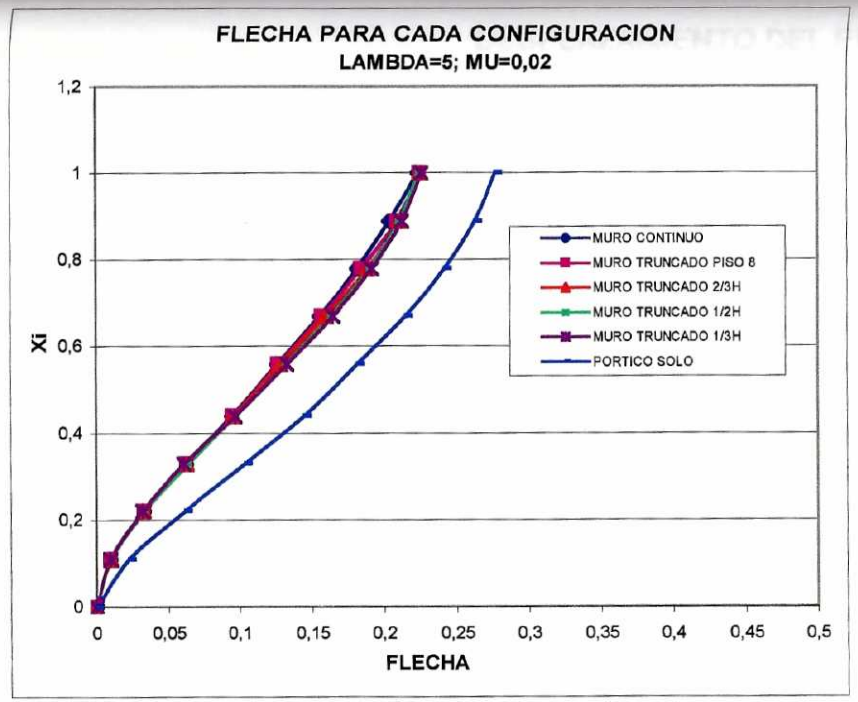

GRÁFICO 9-e

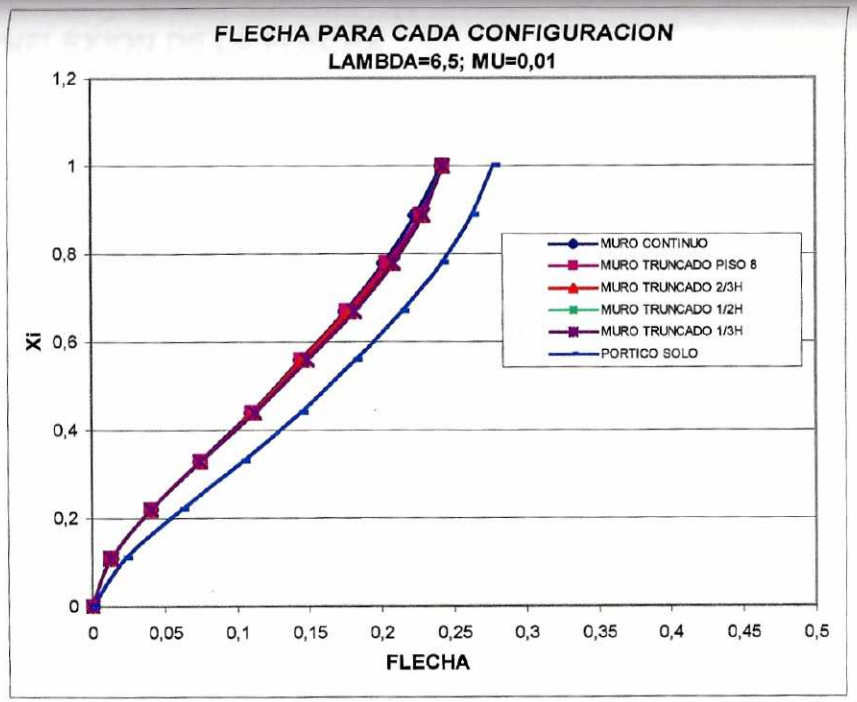

GRÁFICO 9-f

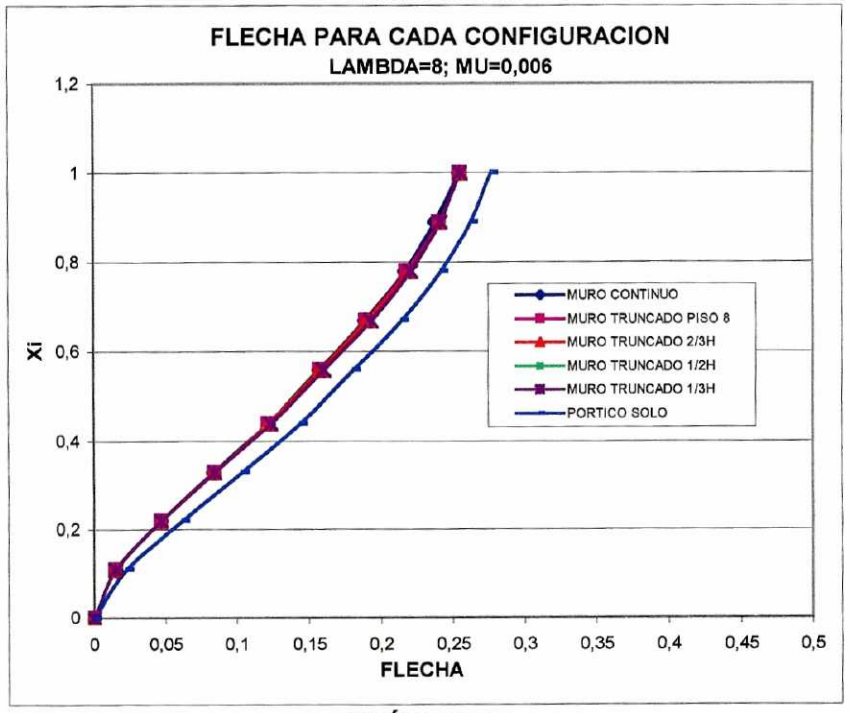

GRÁFICO 9-g

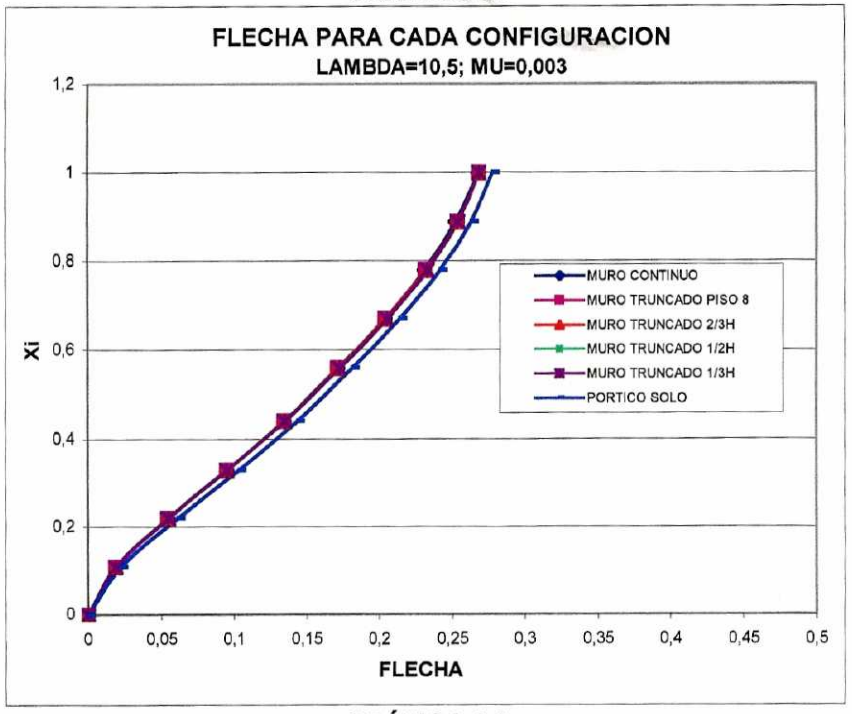

GRÁFICO 9-h

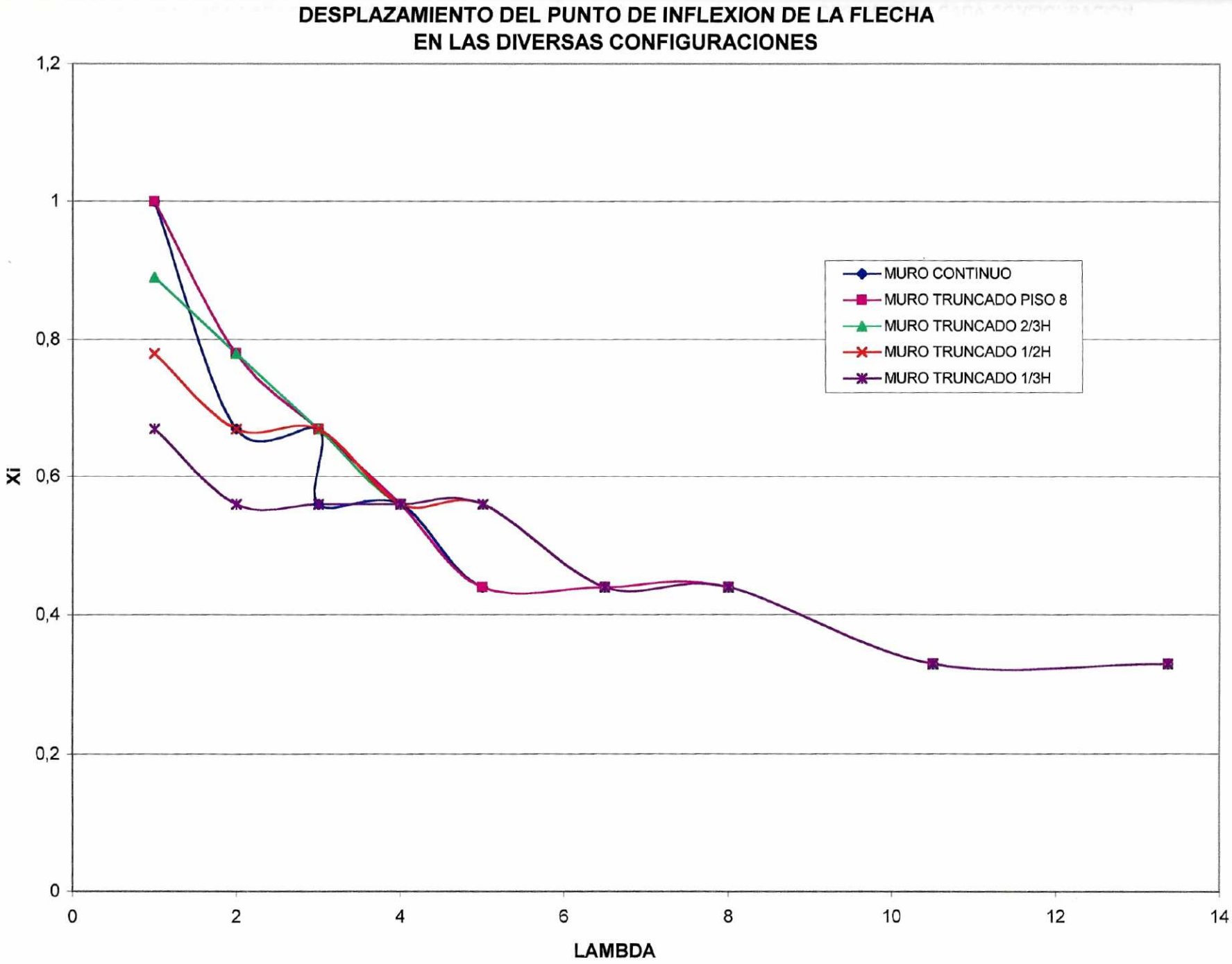
DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO DE INFLEXION DE LA FLECHA
EN LAS DIVERSAS CONFIGURACIONES
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
Xi
0
2
4
6
8
10
12
14
LAMBDA
MURO CONTINUO
MURO TRUNCADO PISO 8
MURO TRUNCADO 2/3H
MURO TRUNCADO 1/2H
MURO TRUNCADO 1/3H

GRÁFICO 10

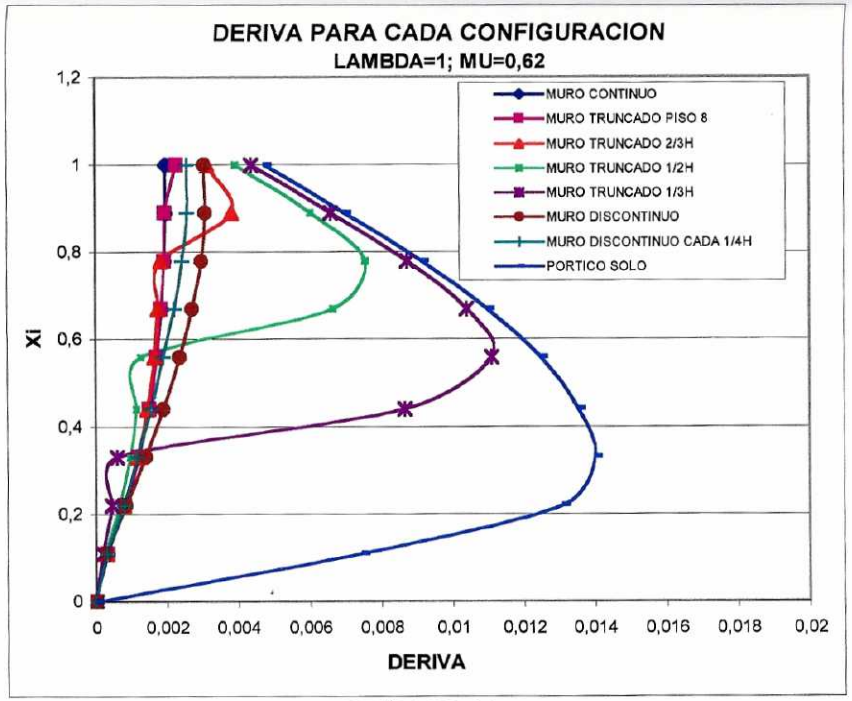

GRÁFICO 11-a

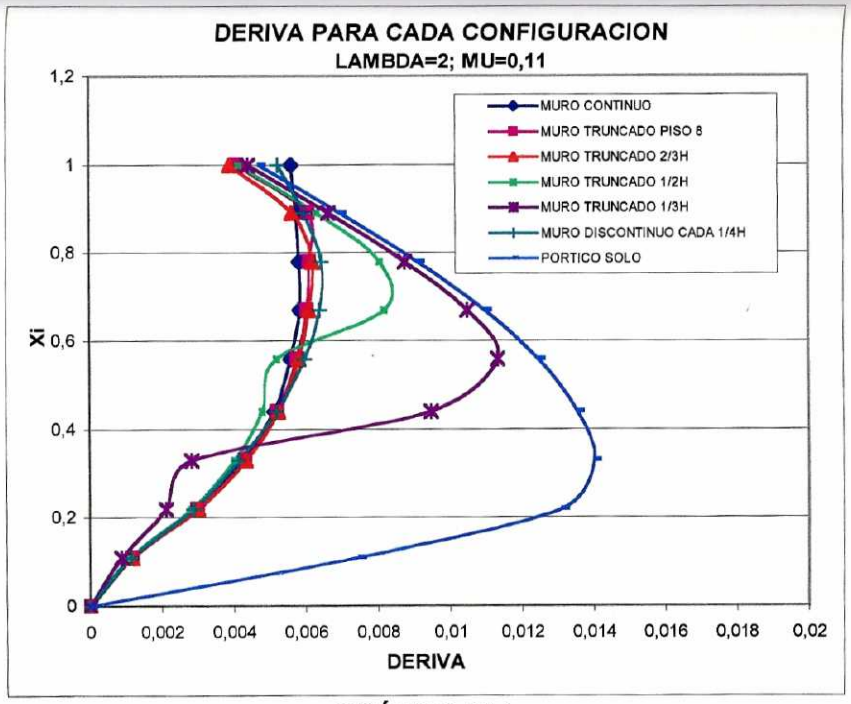

GRÁFICO 11-b

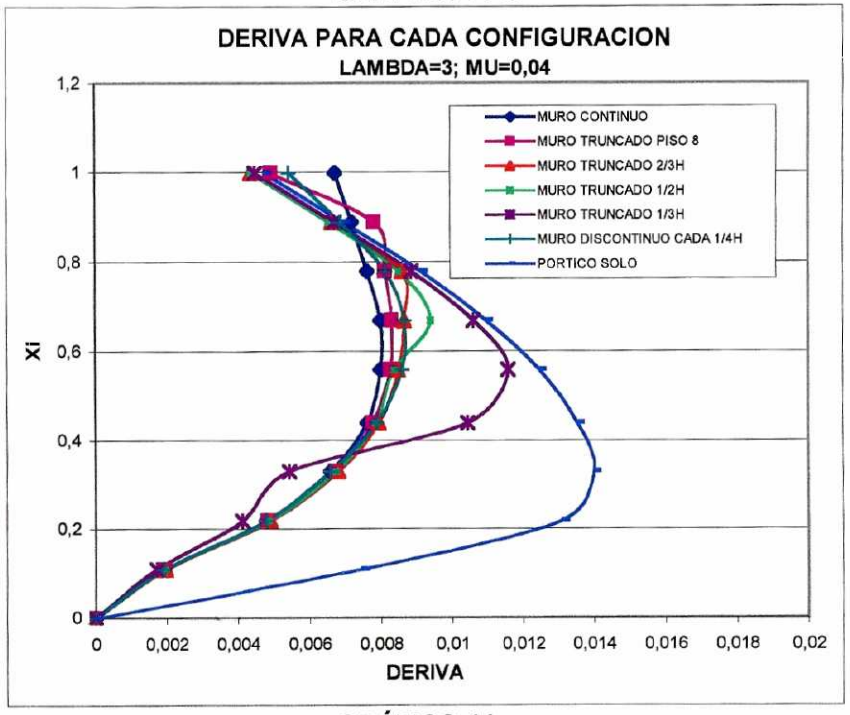

GRÁFICO 11-c

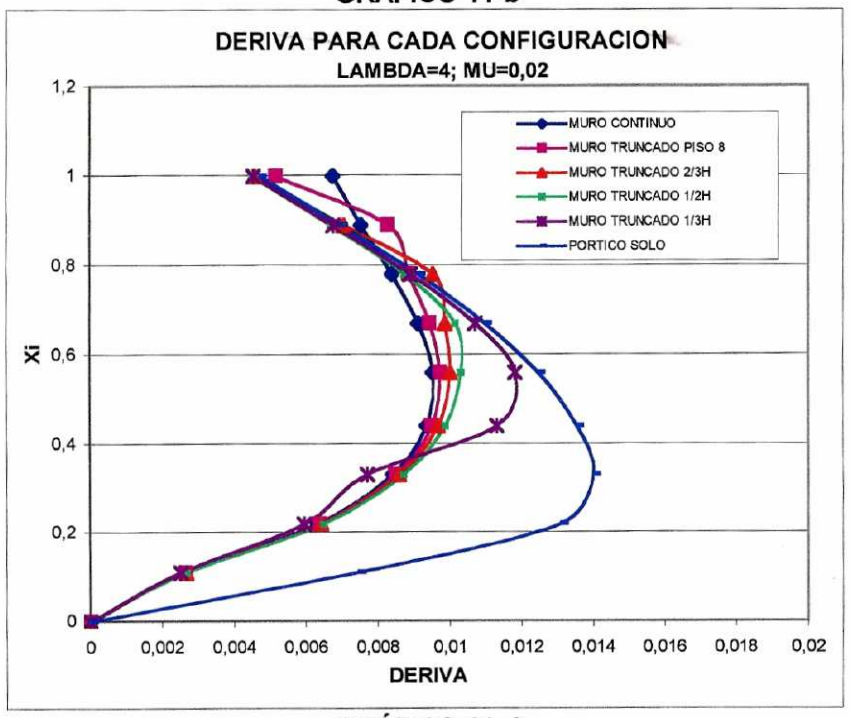

GRÁFICO 11-d

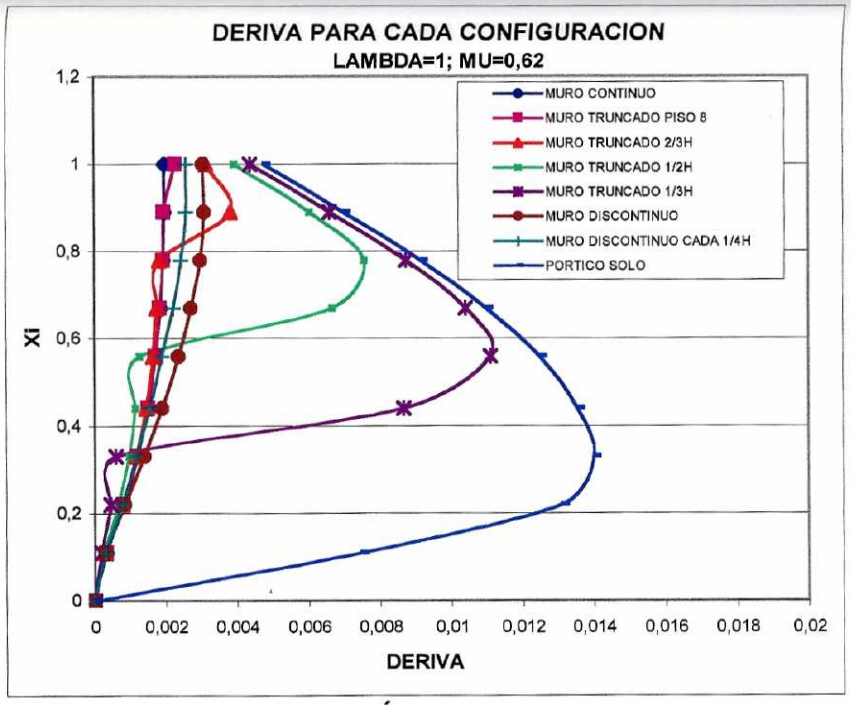

GRÁFICO 11-a

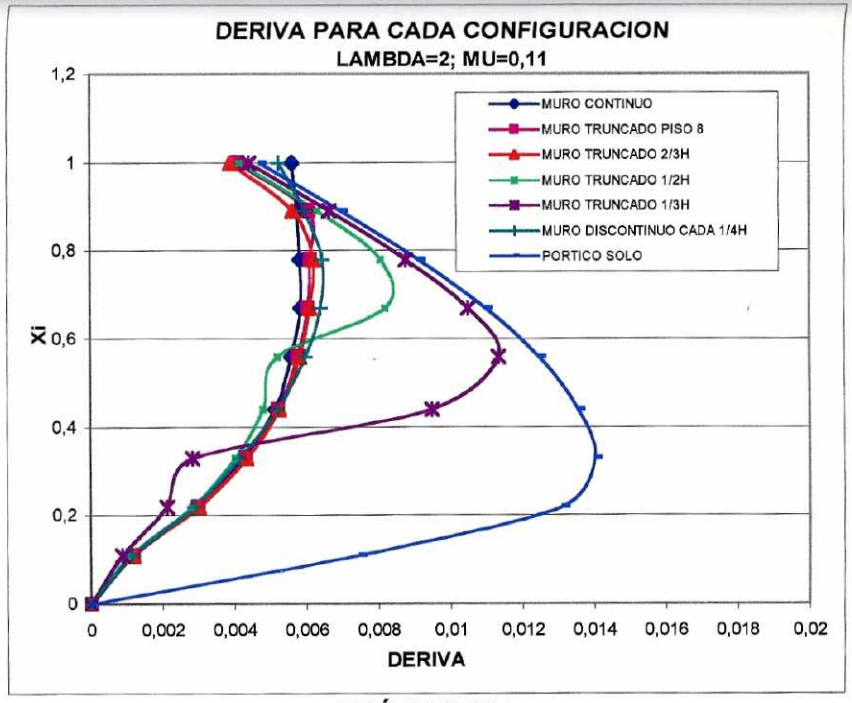

GRÁFICO 11-b

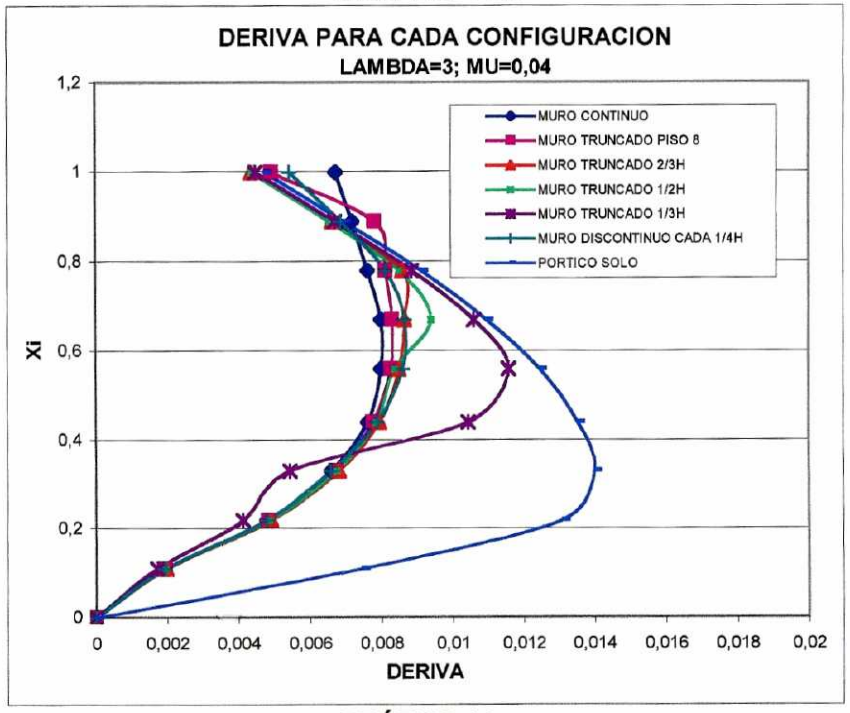

GRÁFICO 11-c

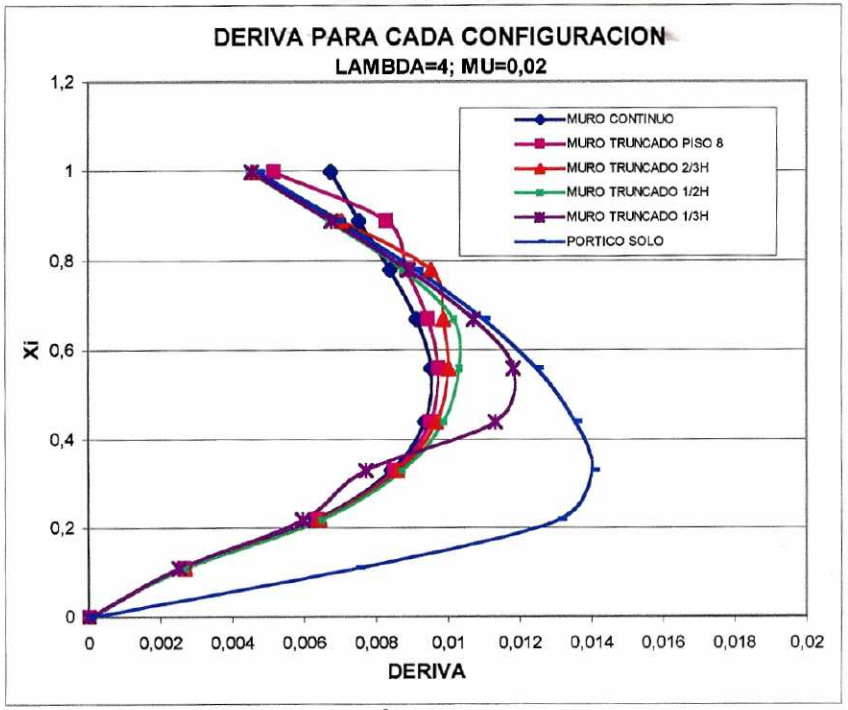

GRÁFICO 11-d

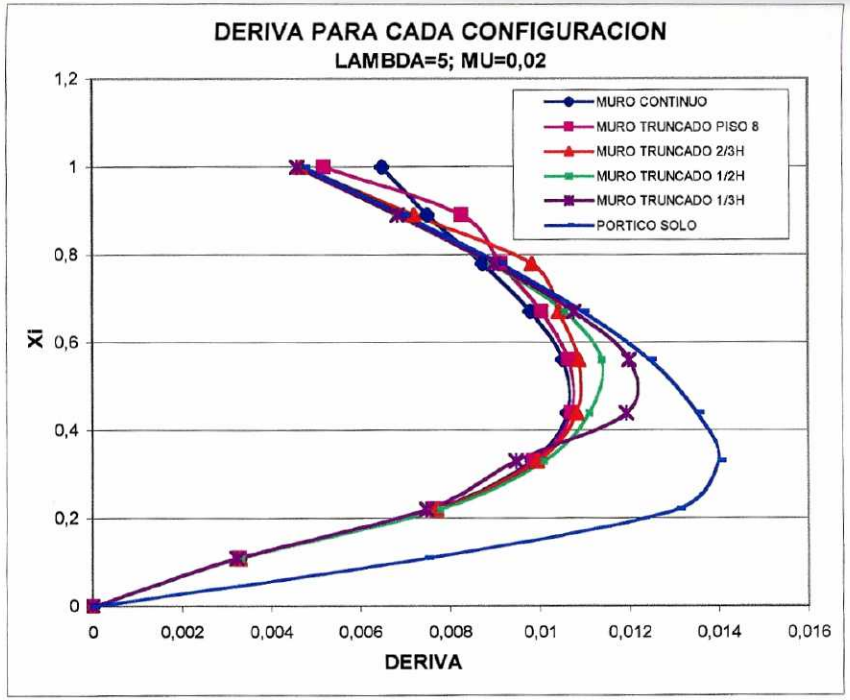

GRÁFICO 11-e

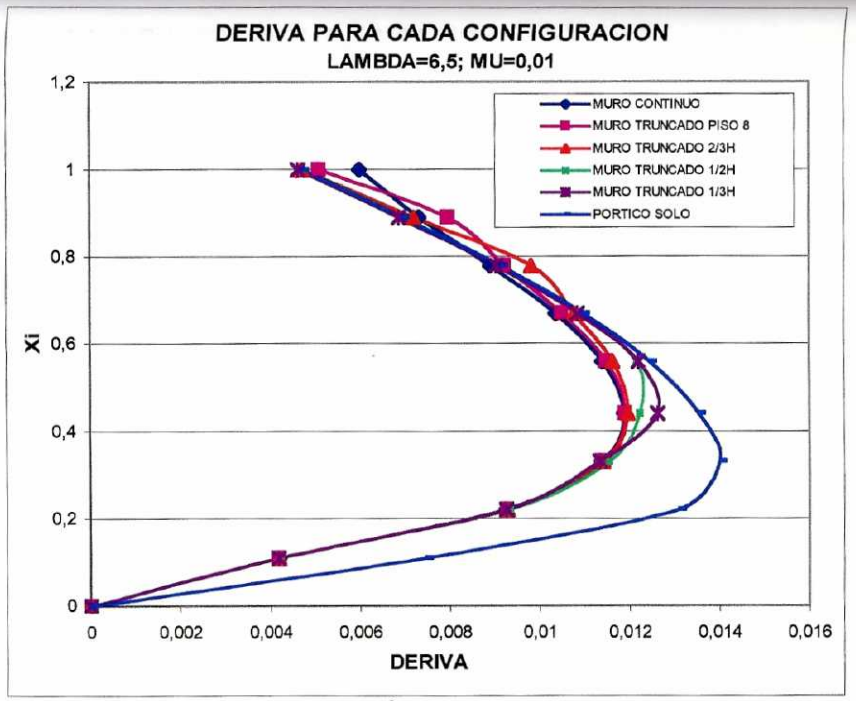

GRÁFICO 11-f

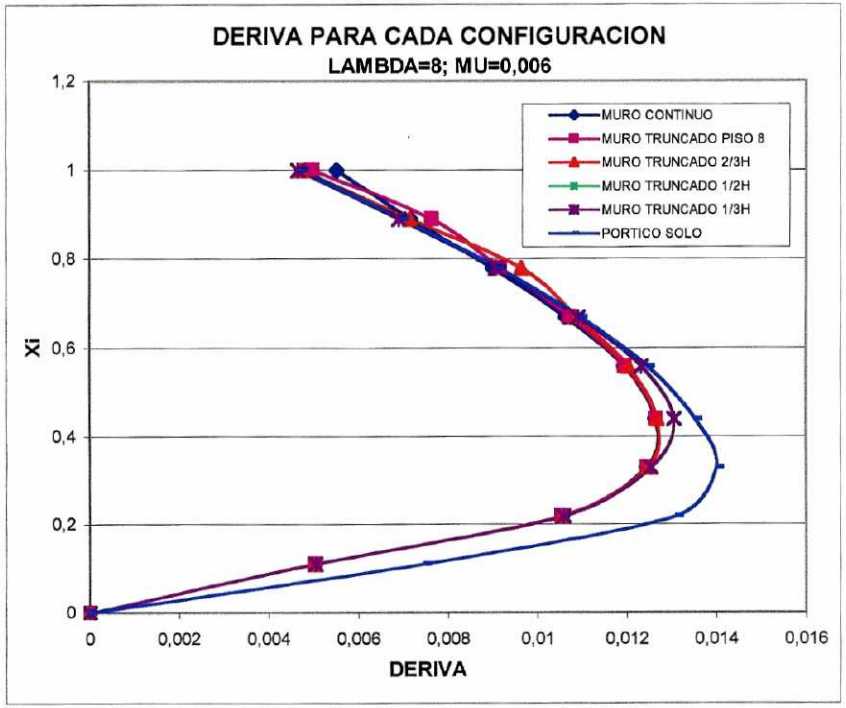

GRÁFICO 11-g

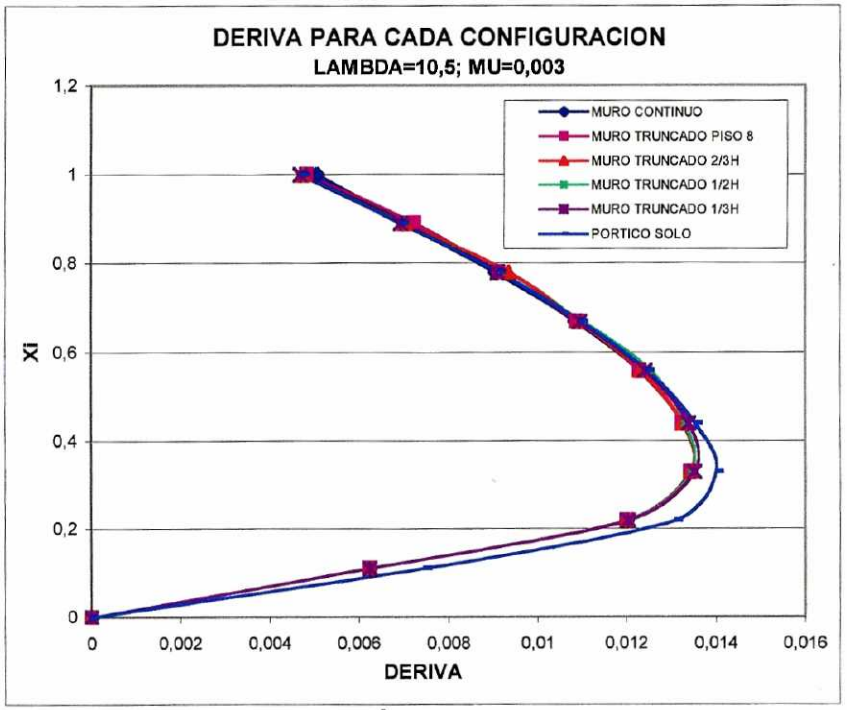

GRÁFICO 11-h

PERTURBACIONES DE LA DERIVA EN LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES RESPECTO AL MURO CONTINUO

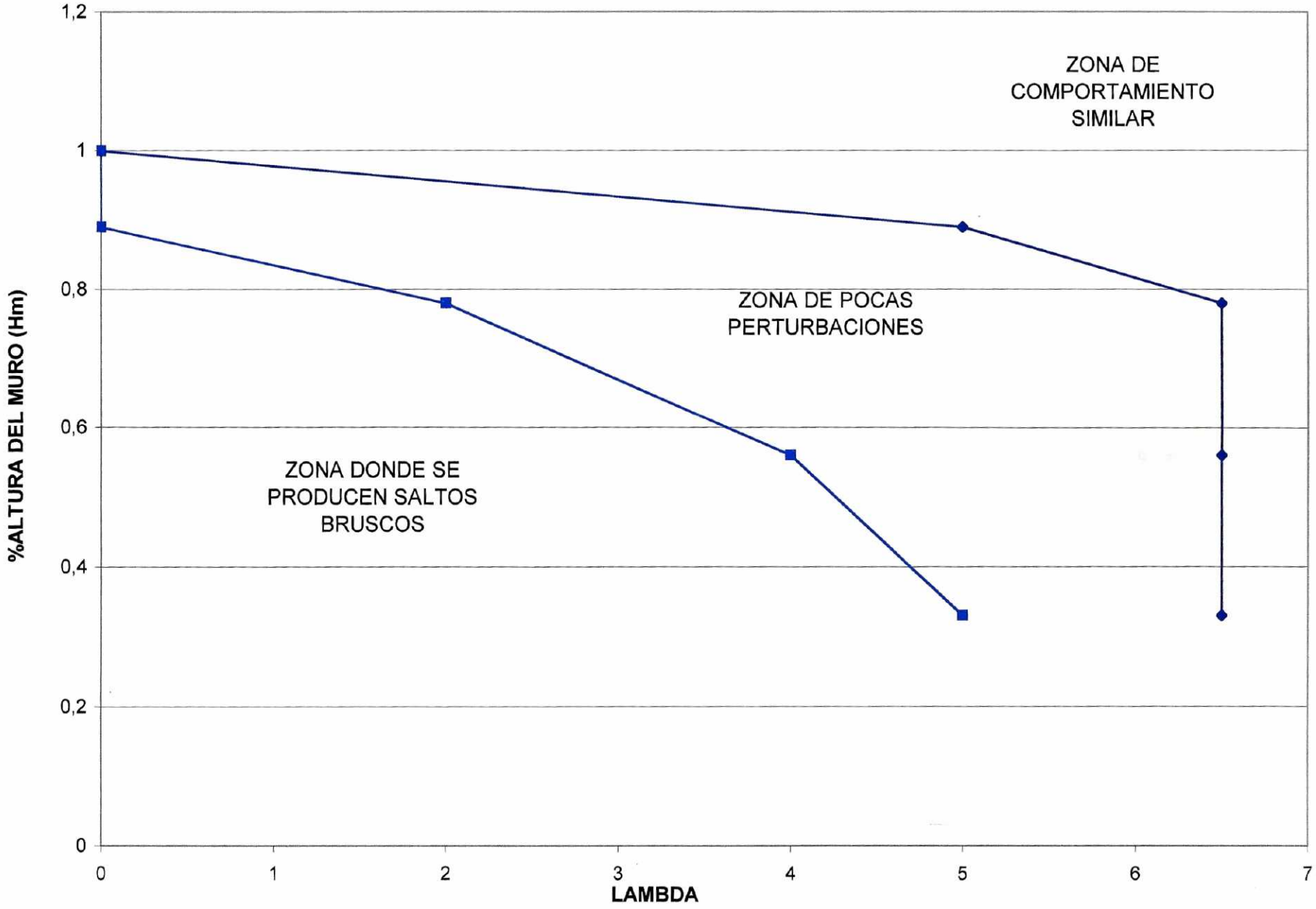

GRÁFICO 12

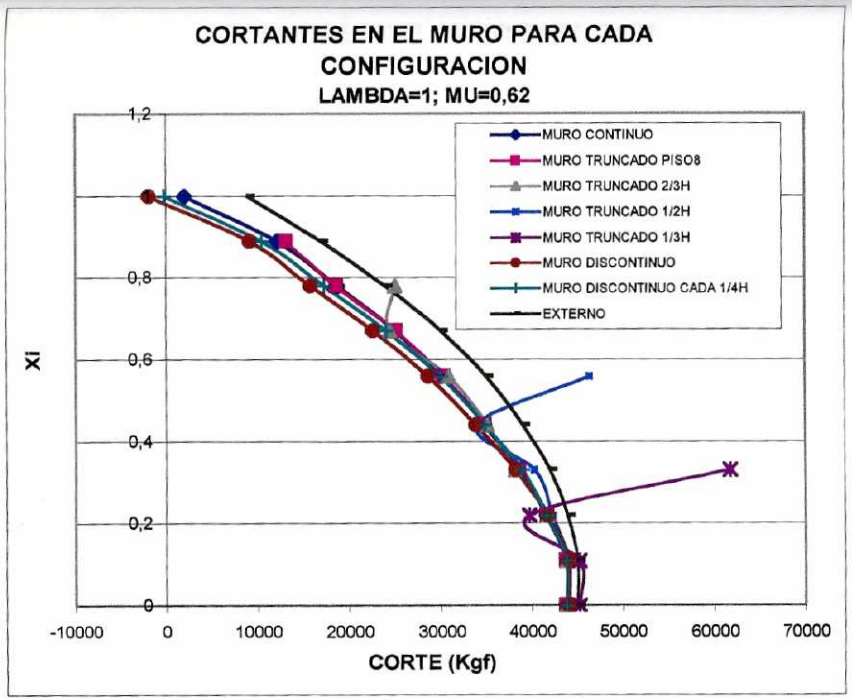

GRÁFICO 13-a

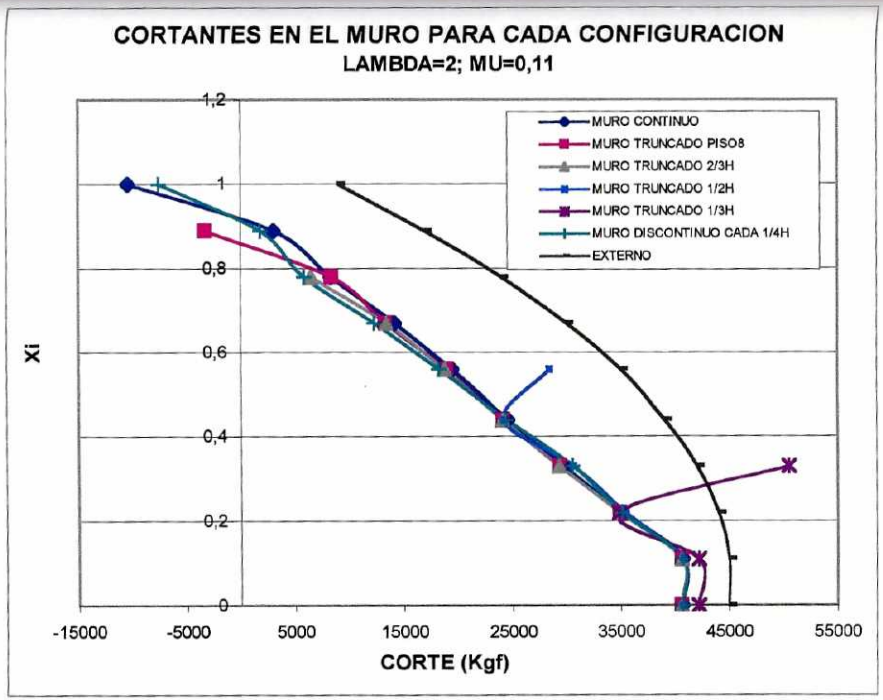

GRÁFICO 13-b

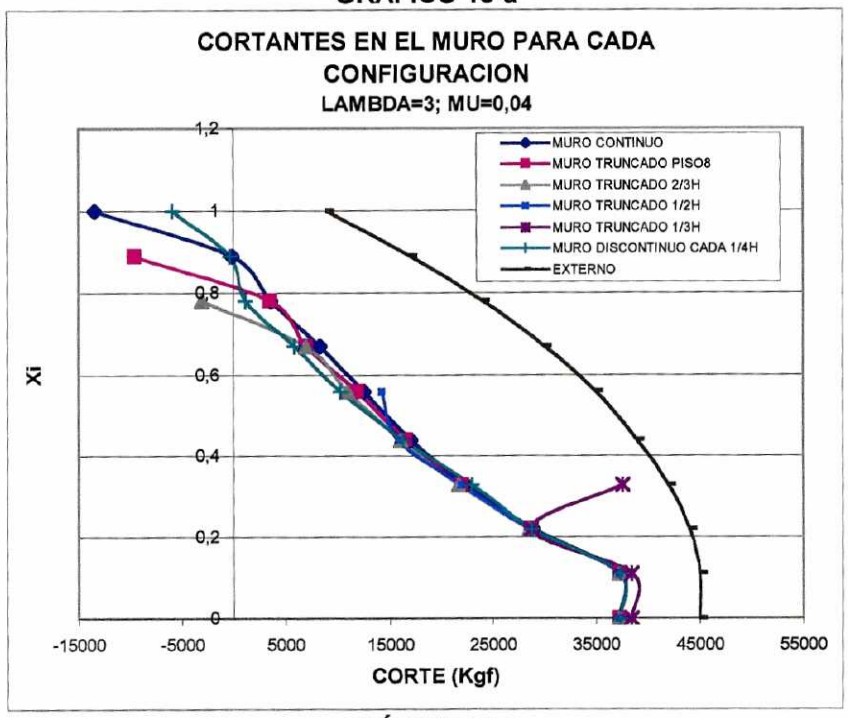

GRÁFICO 13-c

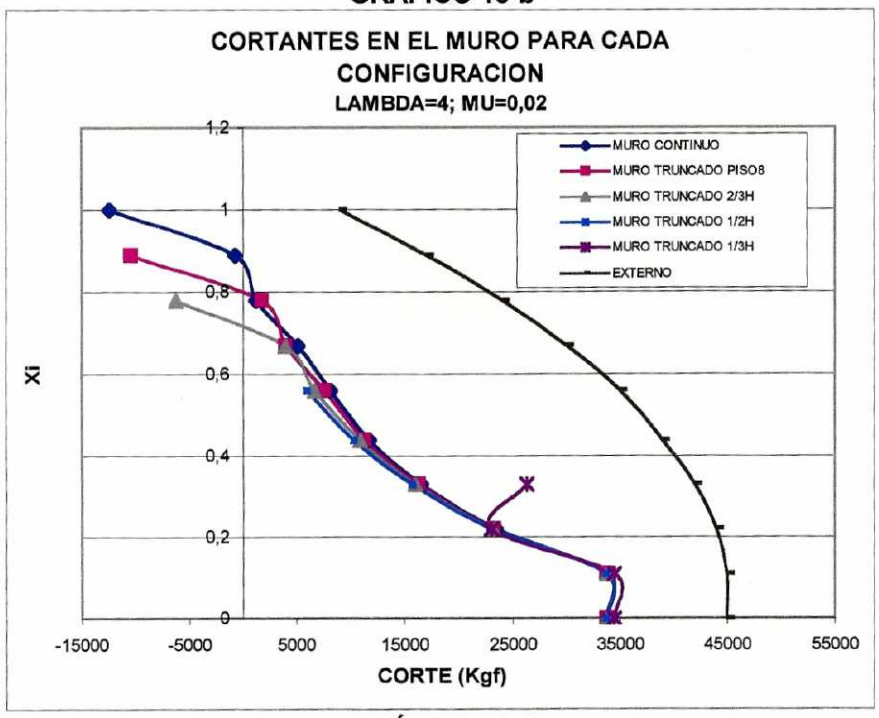

GRÁFICO 13-d

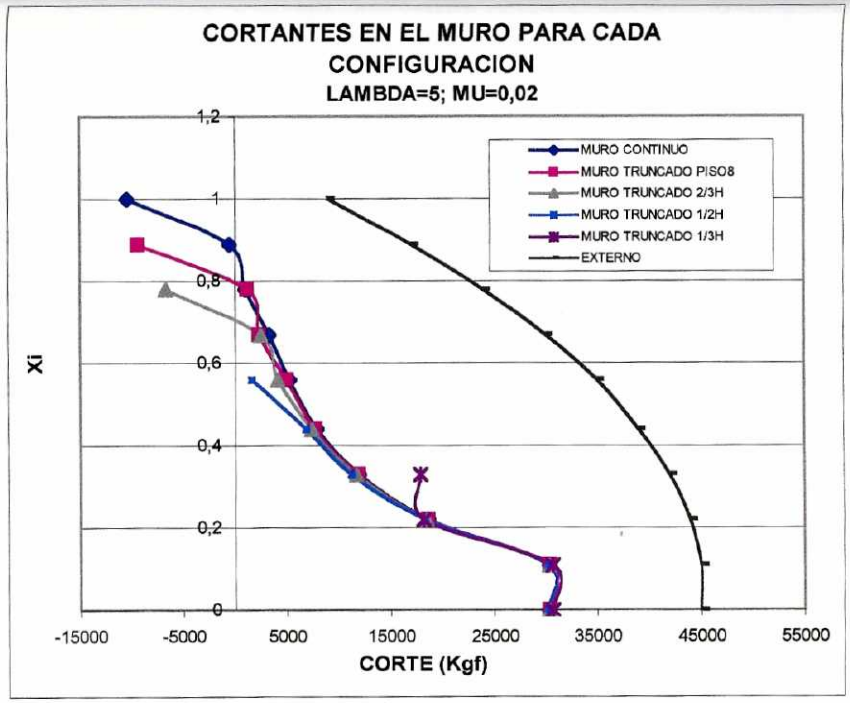

GRÁFICO 13-e

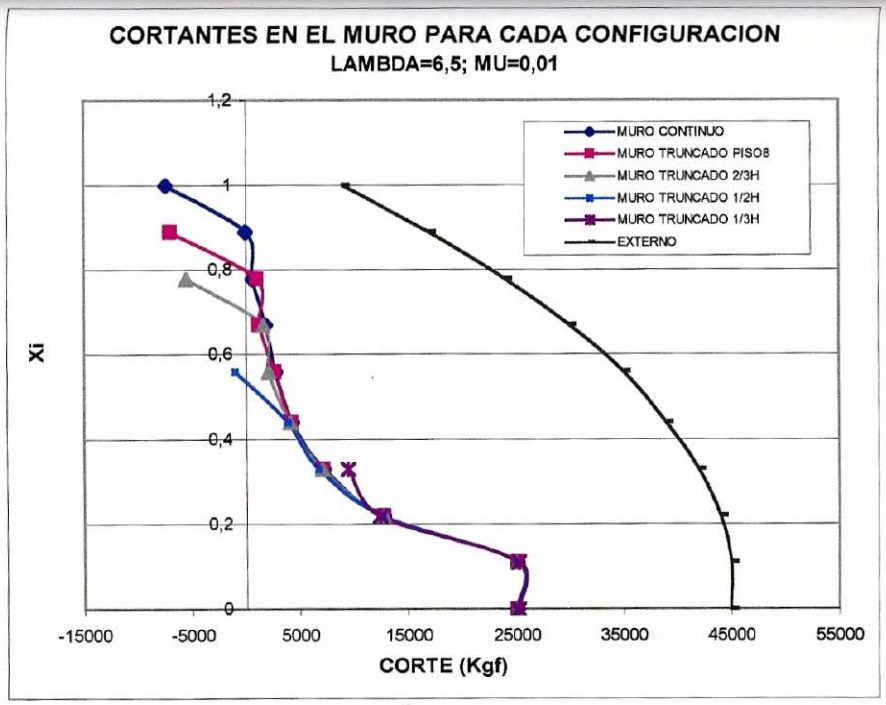

GRÁFICO 13-f

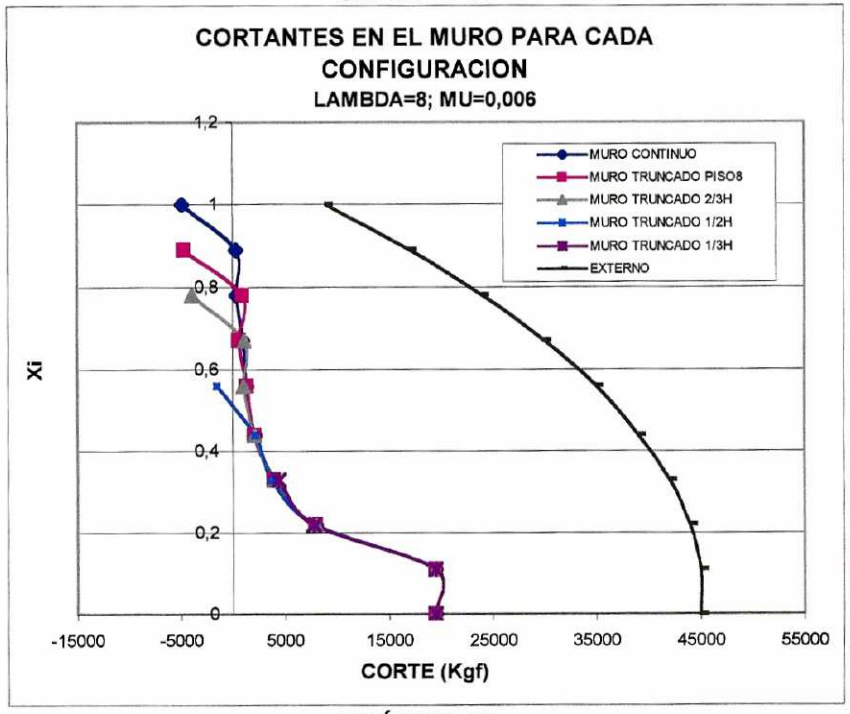

GRÁFICO 13-g

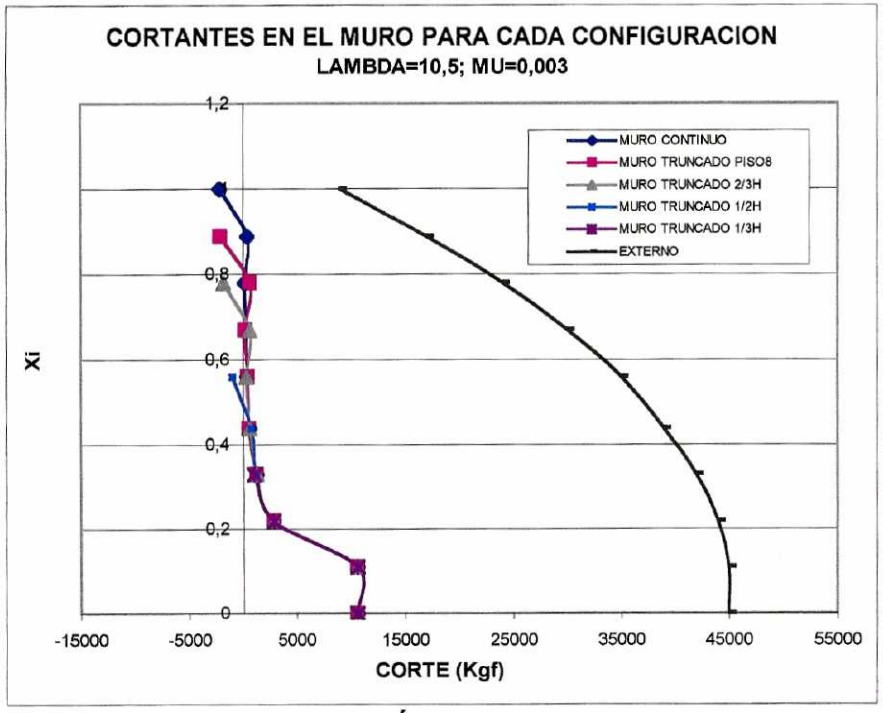

GRÁFICO 13-h

PERTURBACIONES DEL CORTANTE EN LAS DIFERNTES CONFIGURACIONES RESPECTO AL MURO CONTINUO

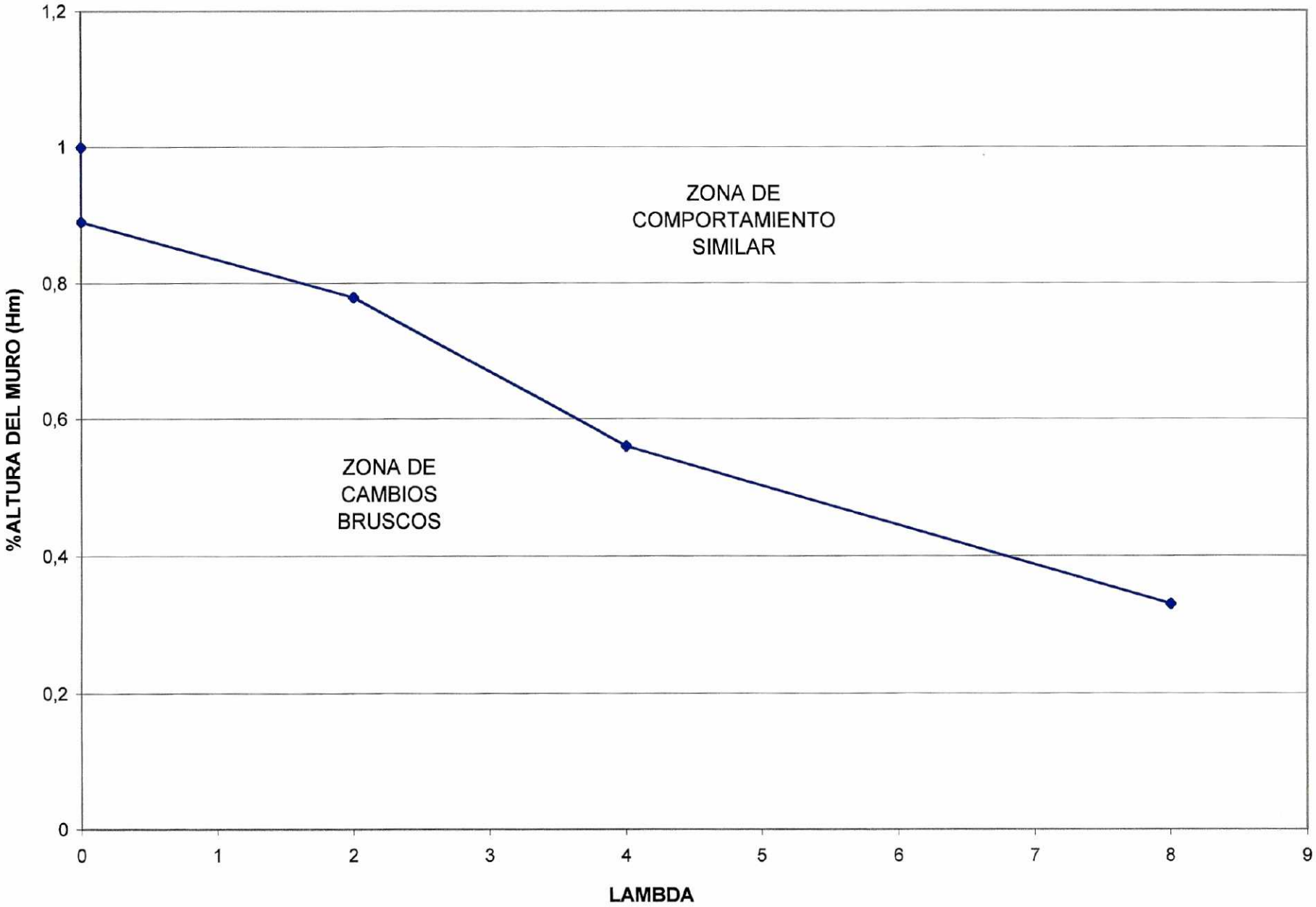

GRÁFICO 14

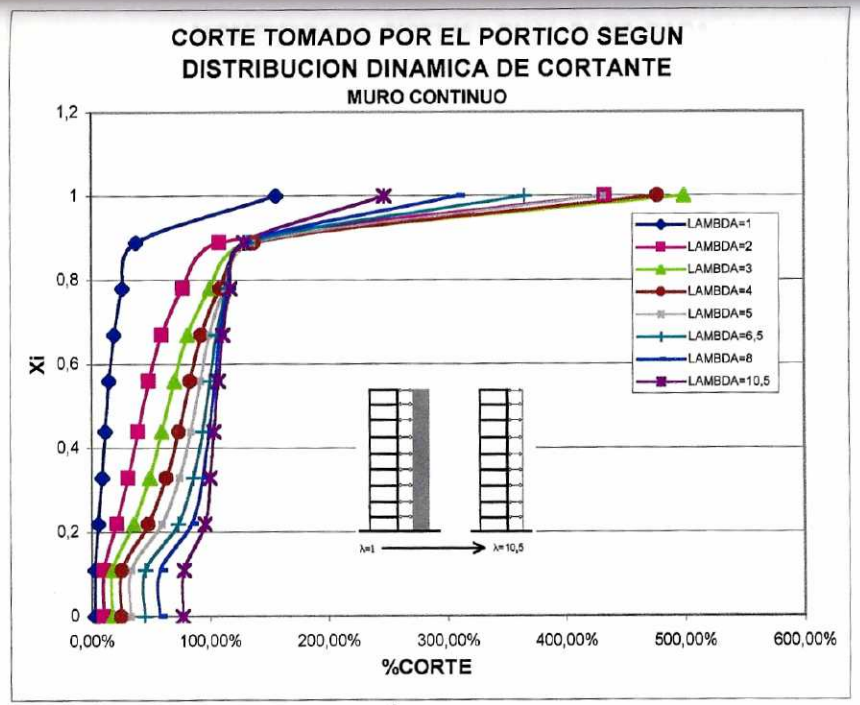

GRÁFICO 15-a

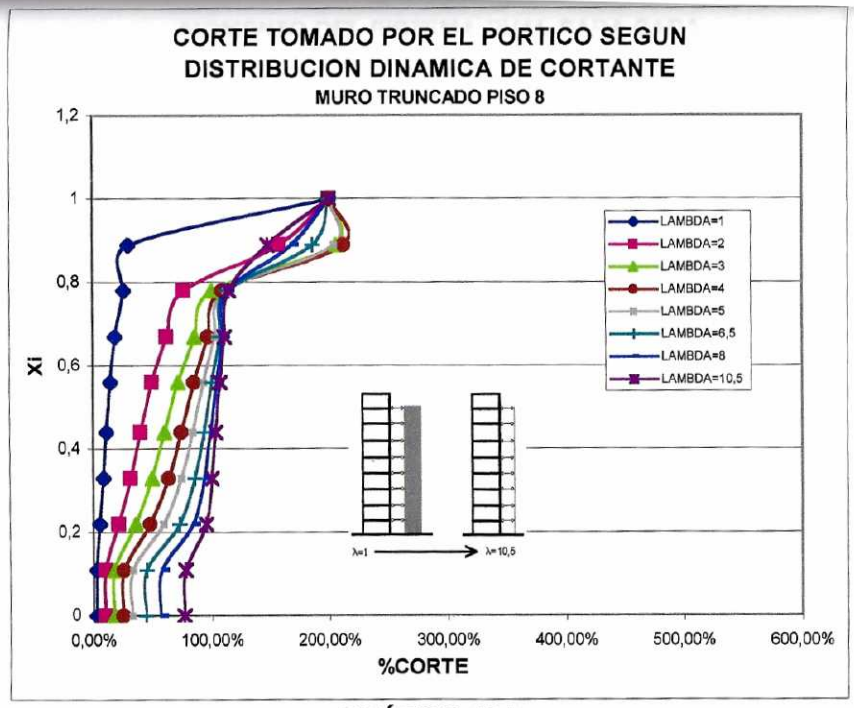

GRÁFICO 15-b

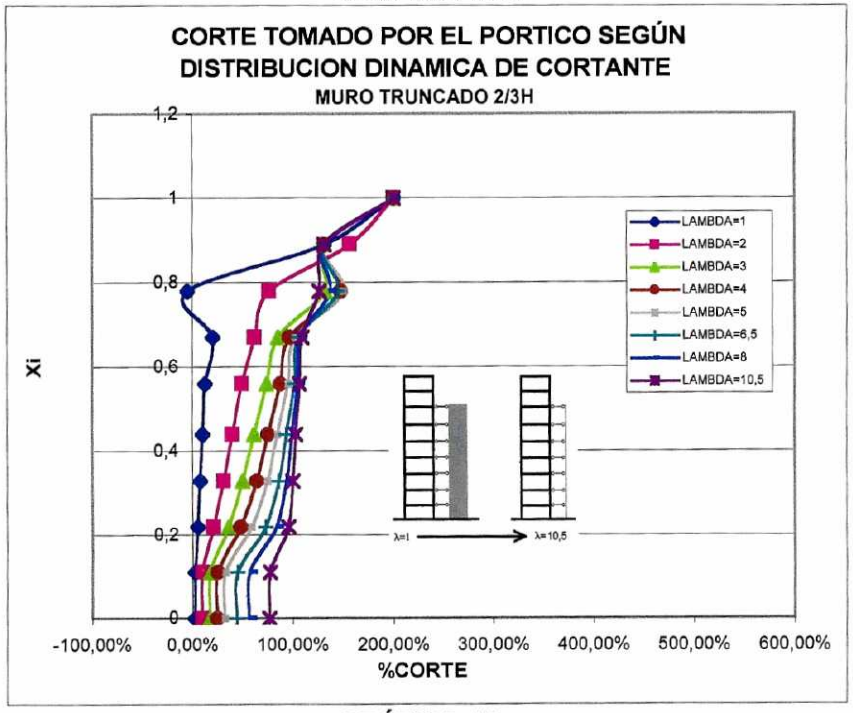

GRÁFICO 15-c

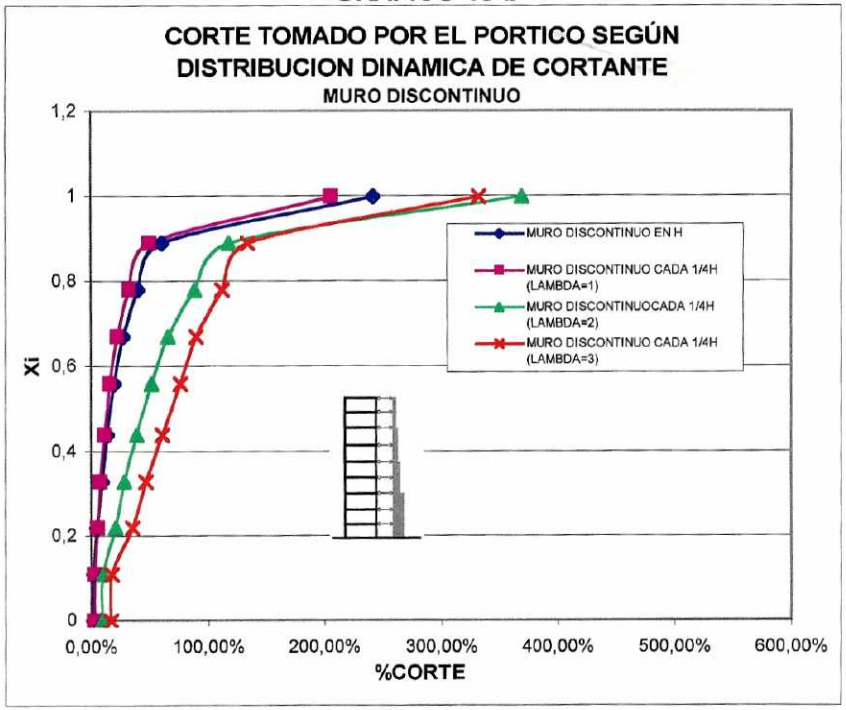

GRÁFICO 15-d

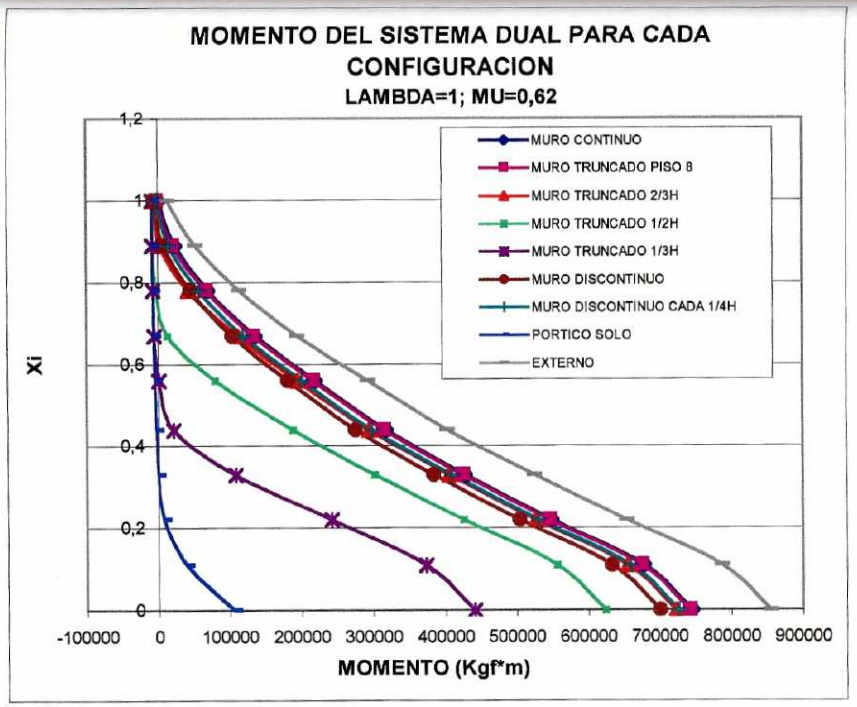

GRÁFICO 16-a

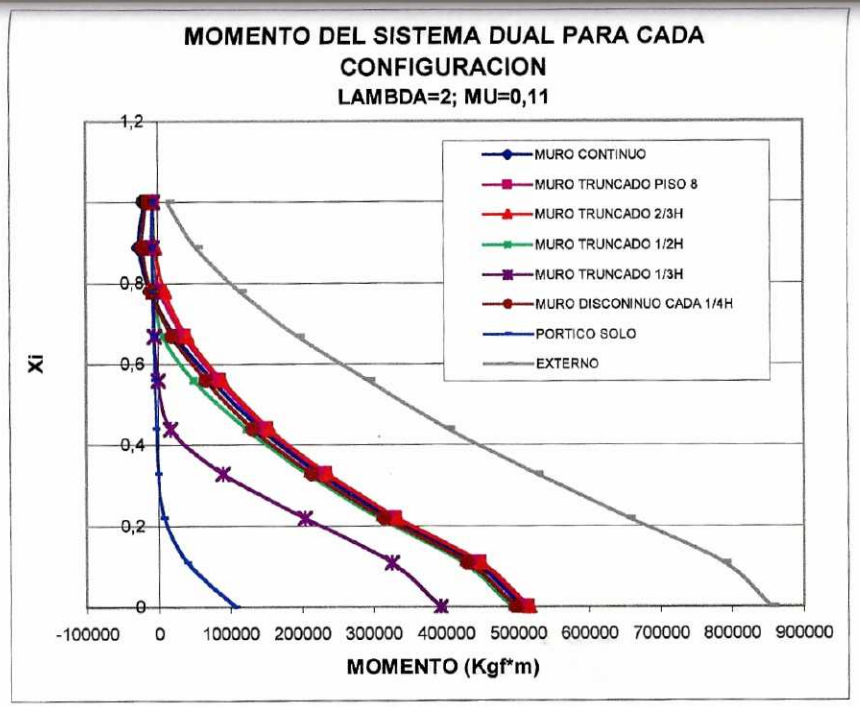

GRÁFICO 16-b

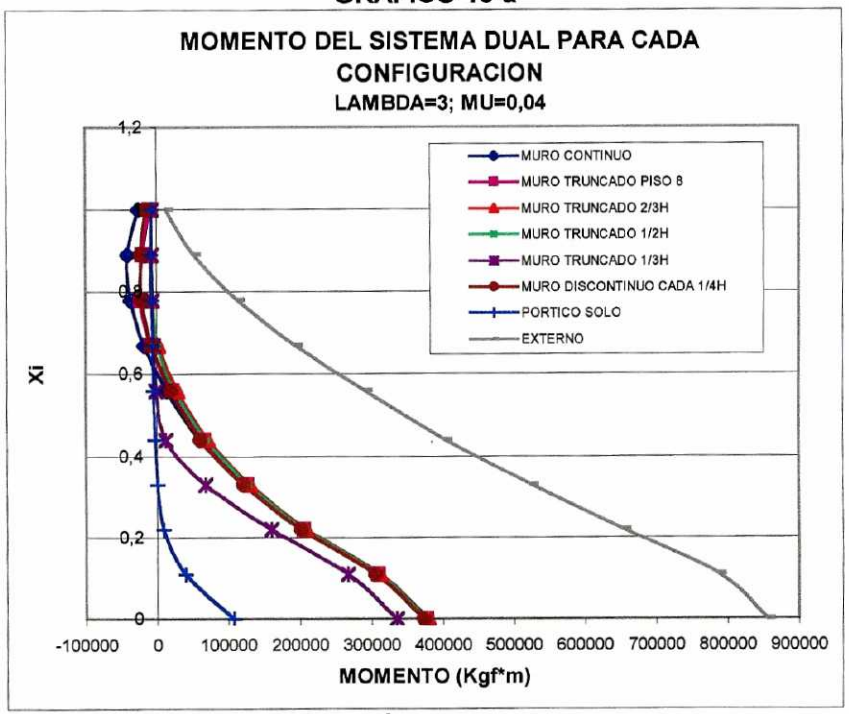

GRÁFICO 16-c

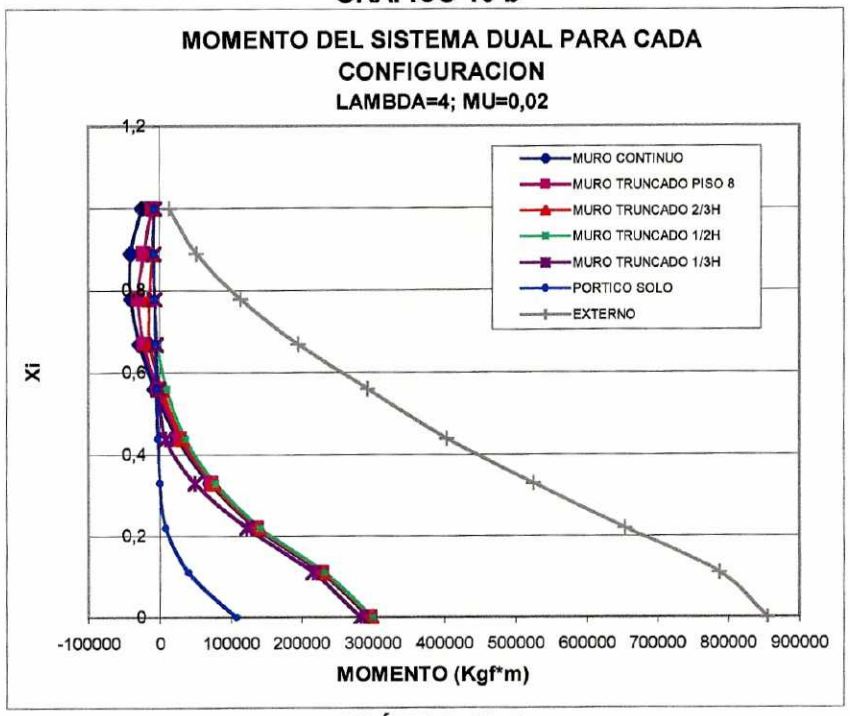

GRÁFICO 16-d

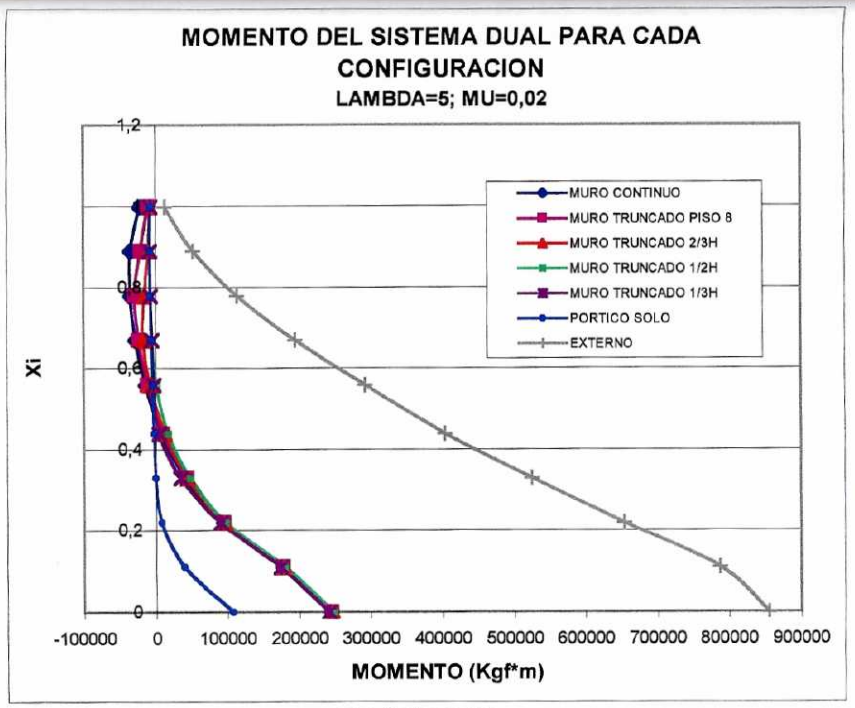

GRÁFICO 16-e

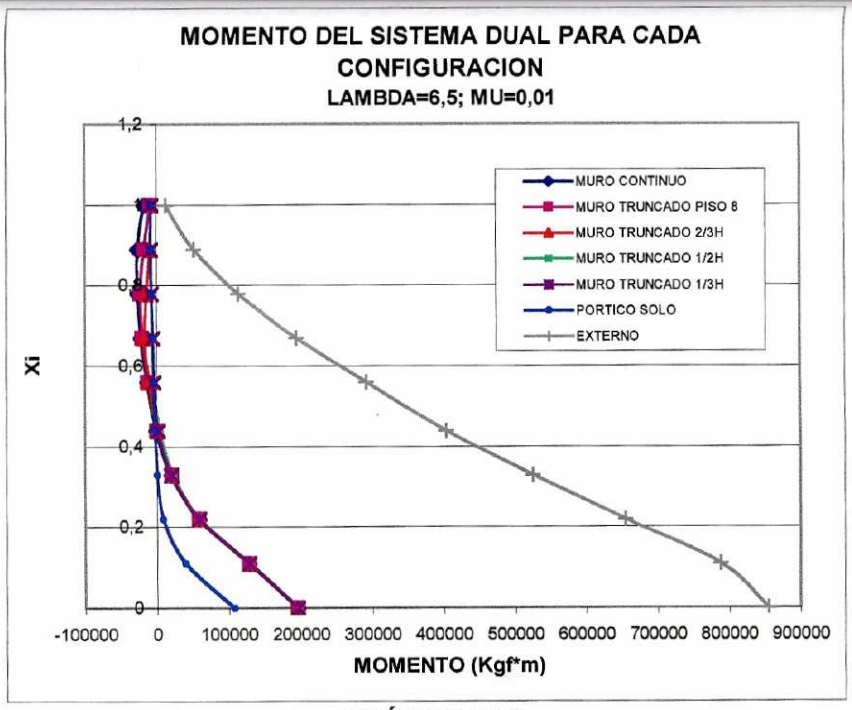

GRÁFICO 16-f

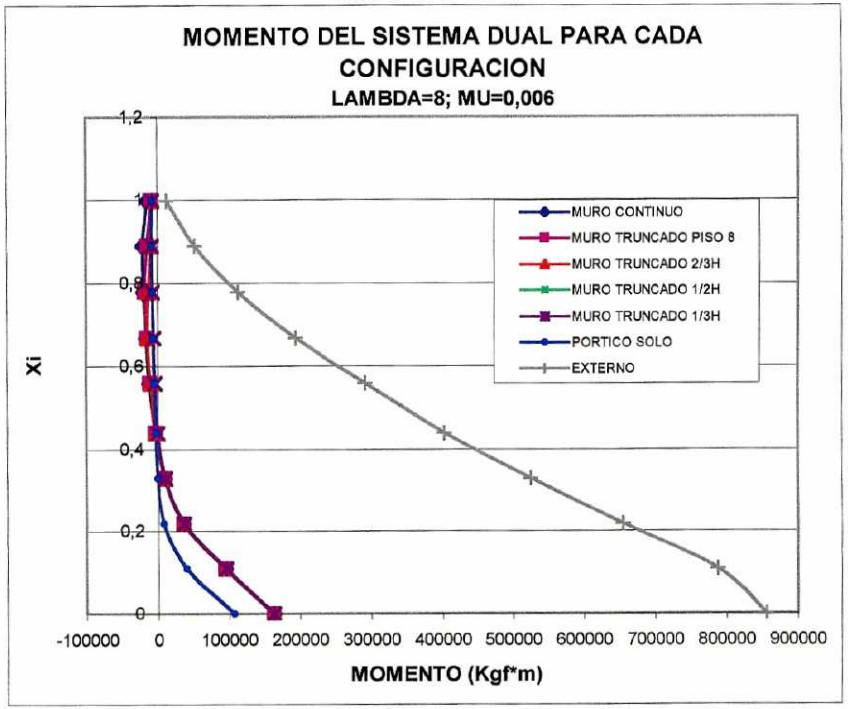

GRÁFICO 16-g

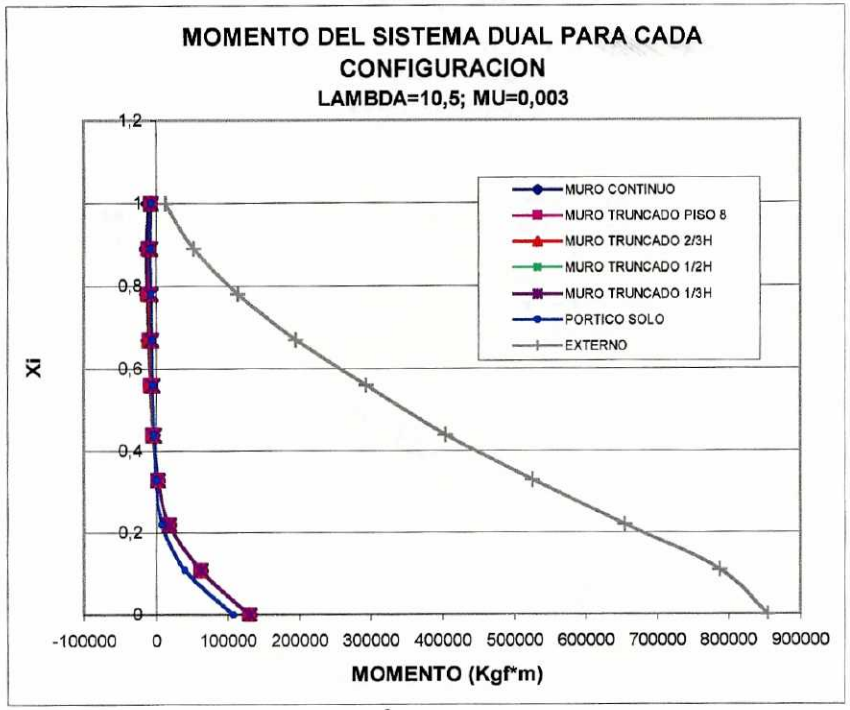

GRÁFICO 16-h

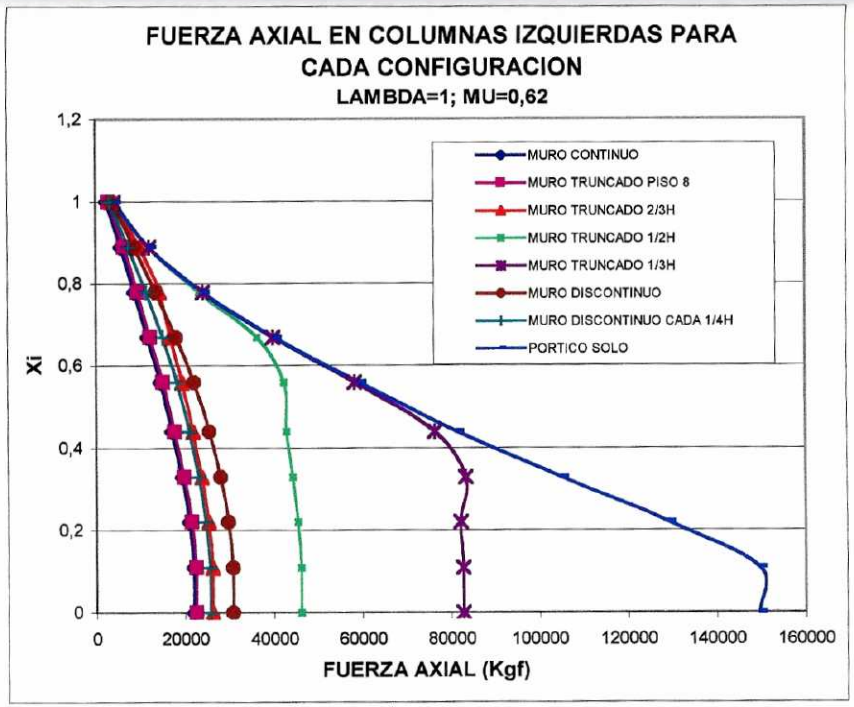

GRÁFICO 17-a

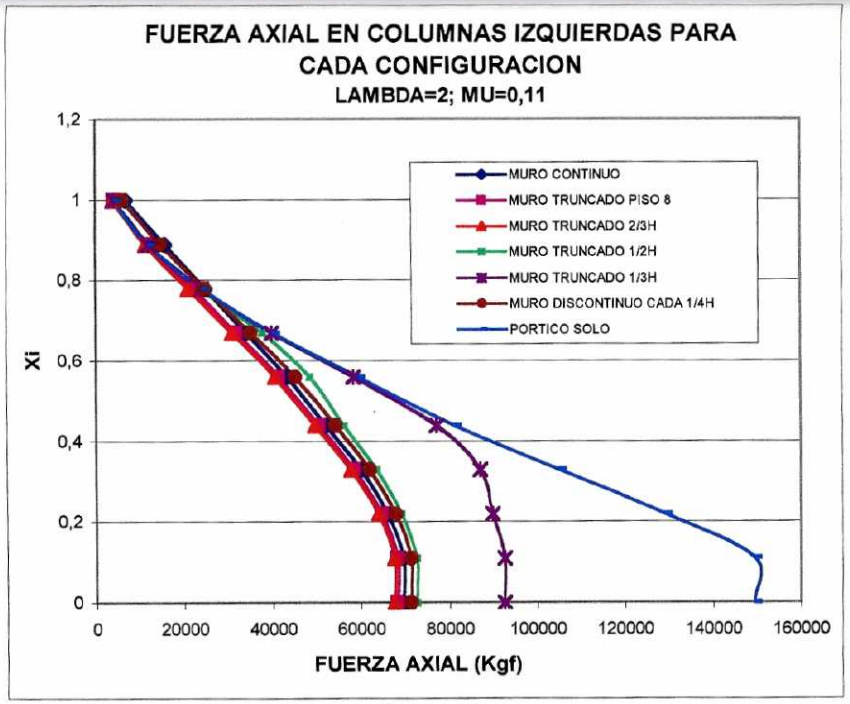

GRÁFICO 17-b

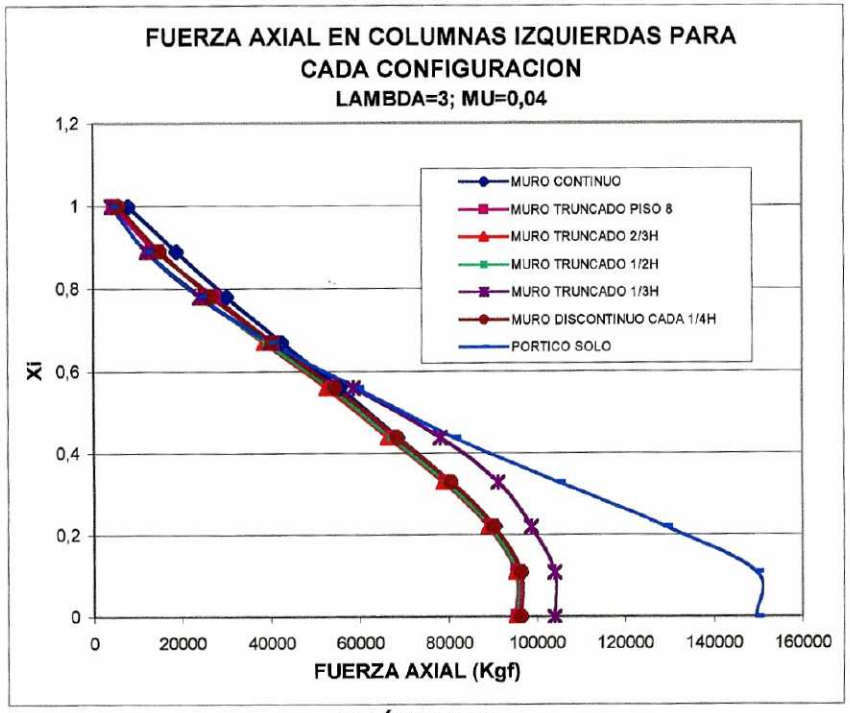

GRÁFICO 17-c

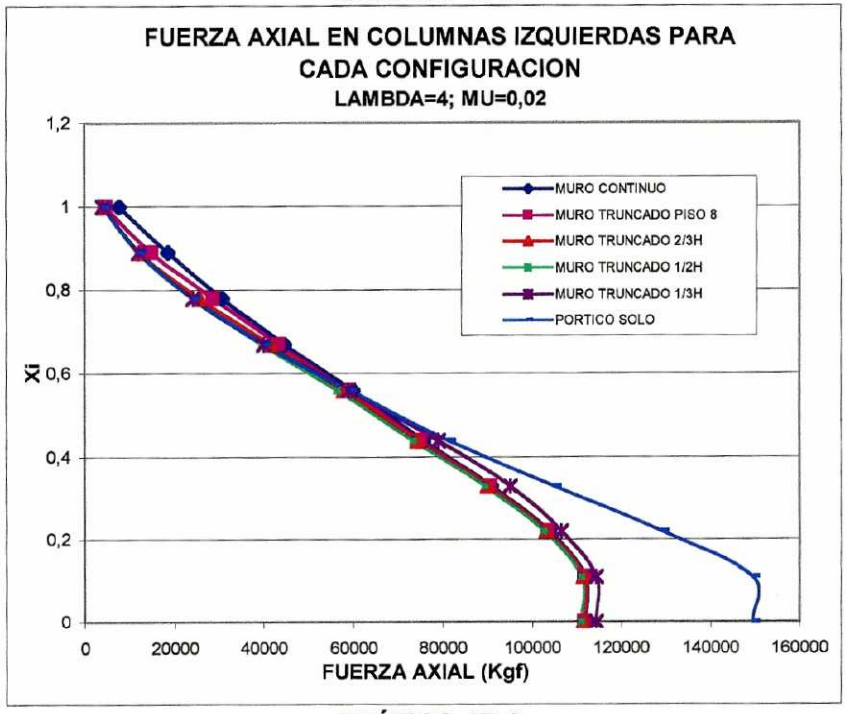

GRÁFICO 17-d

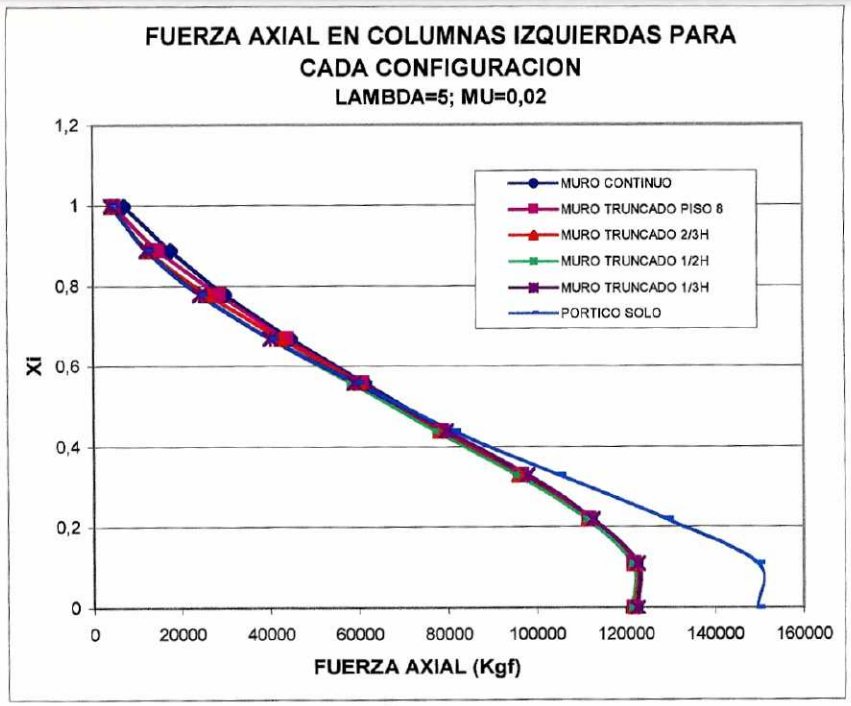

GRÁFICO 17-e

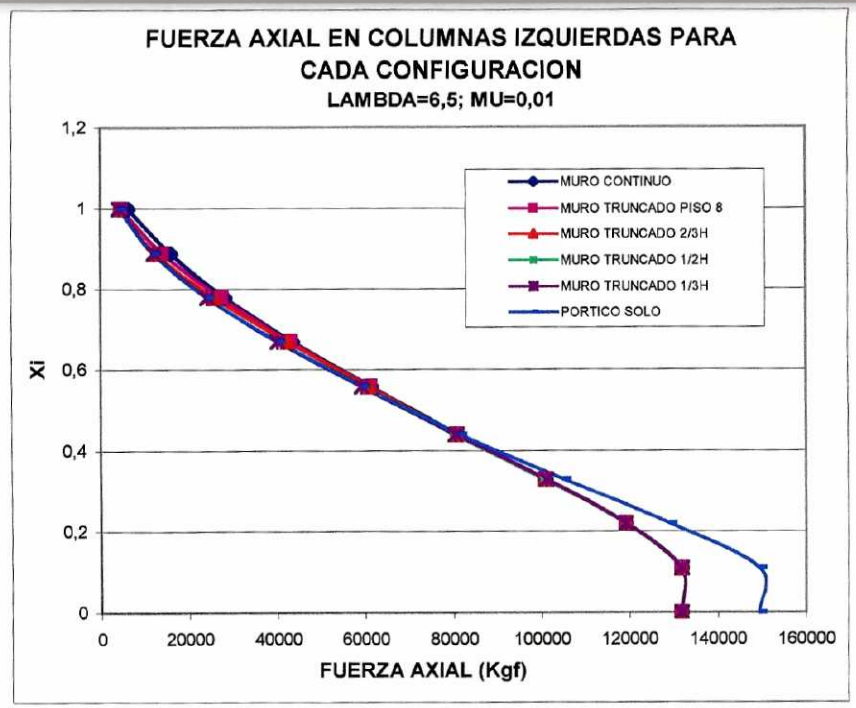

GRÁFICO 17-f

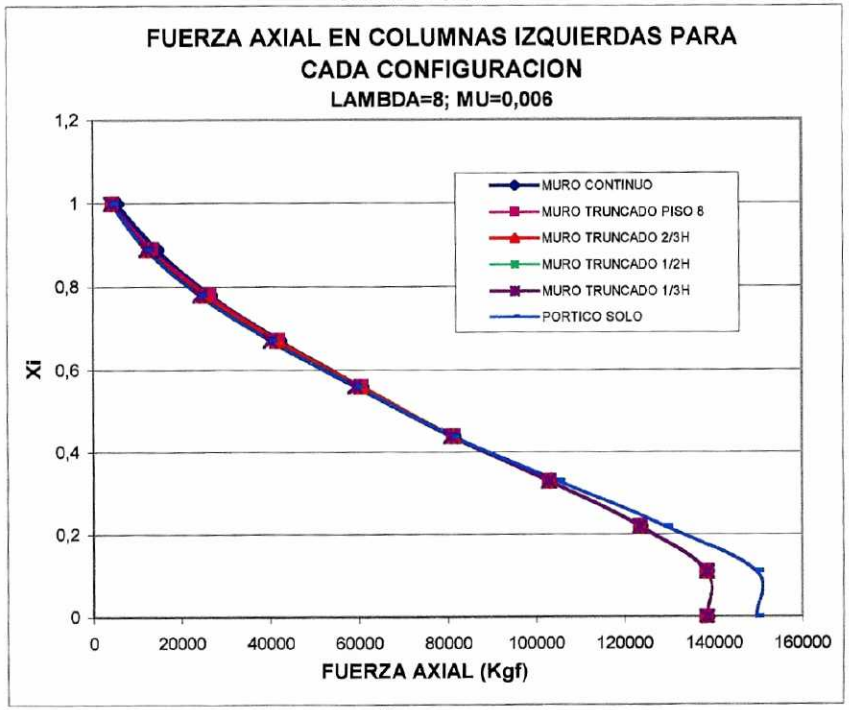

GRÁFICO 17-g

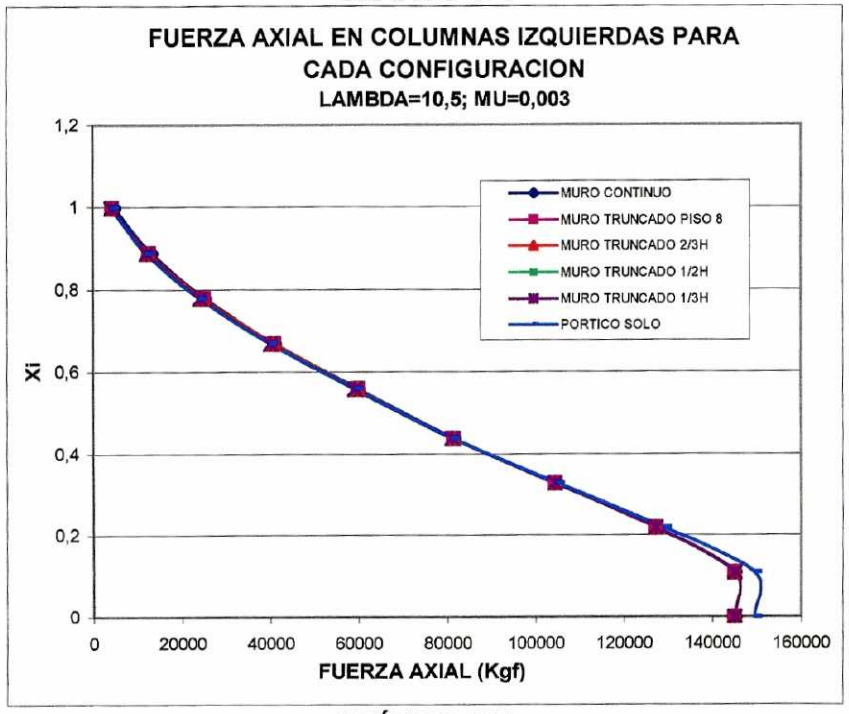

GRÁFICO 17-h

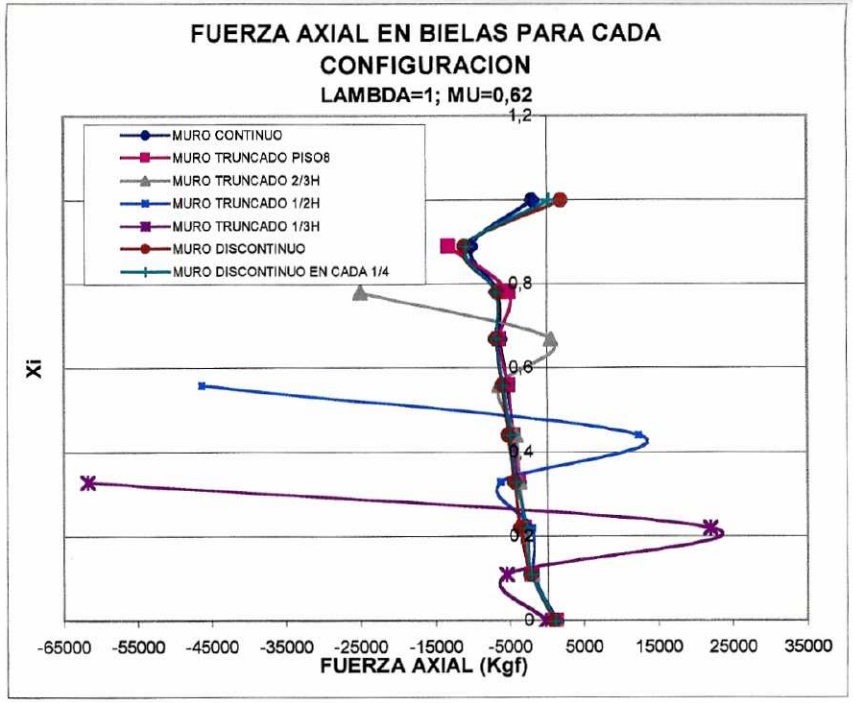

GRÁFICO 18-a

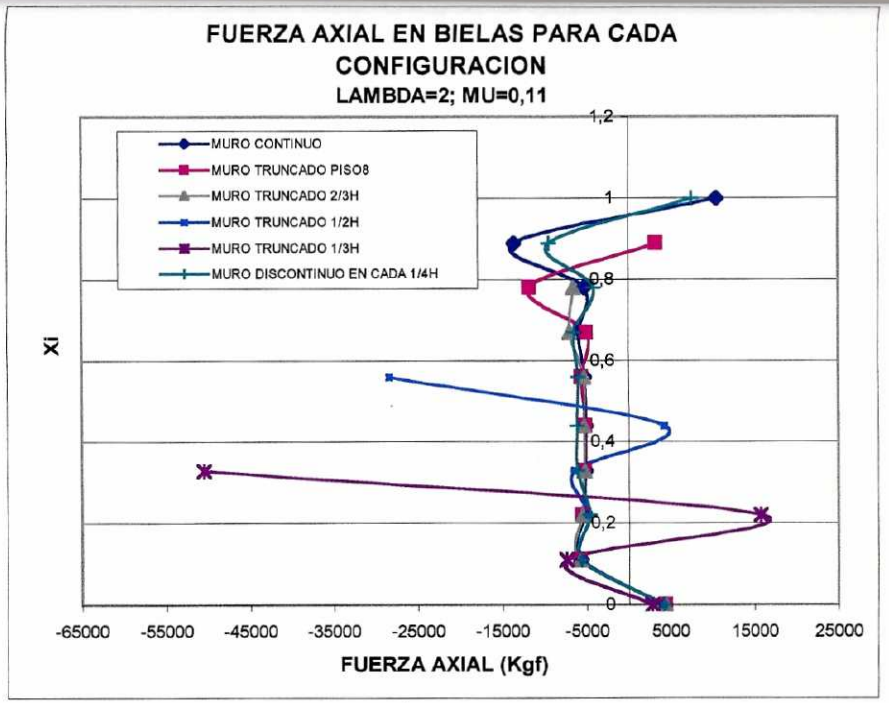

GRÁFICO 18-b

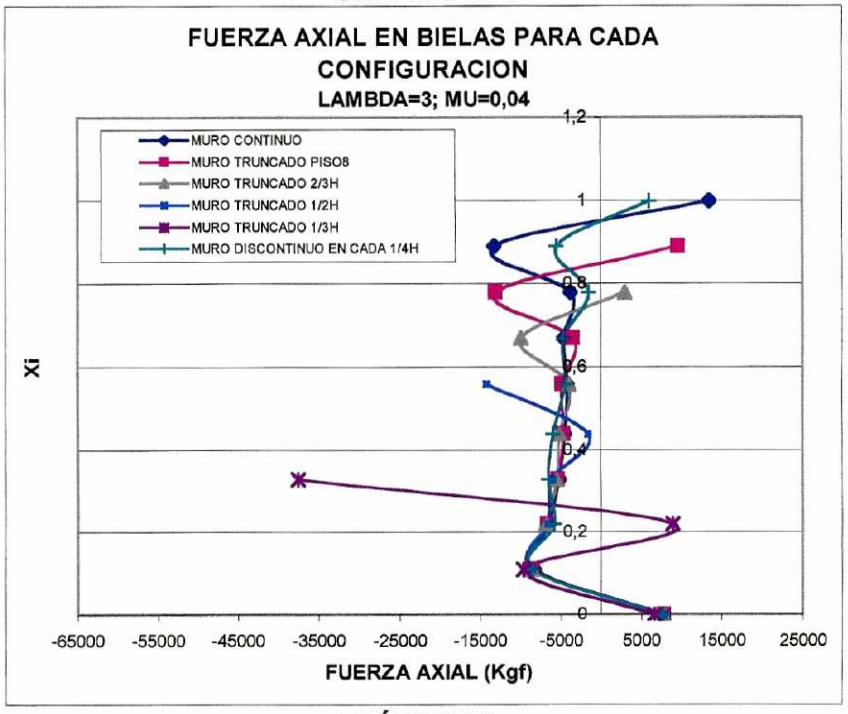

GRÁFICO 18-c

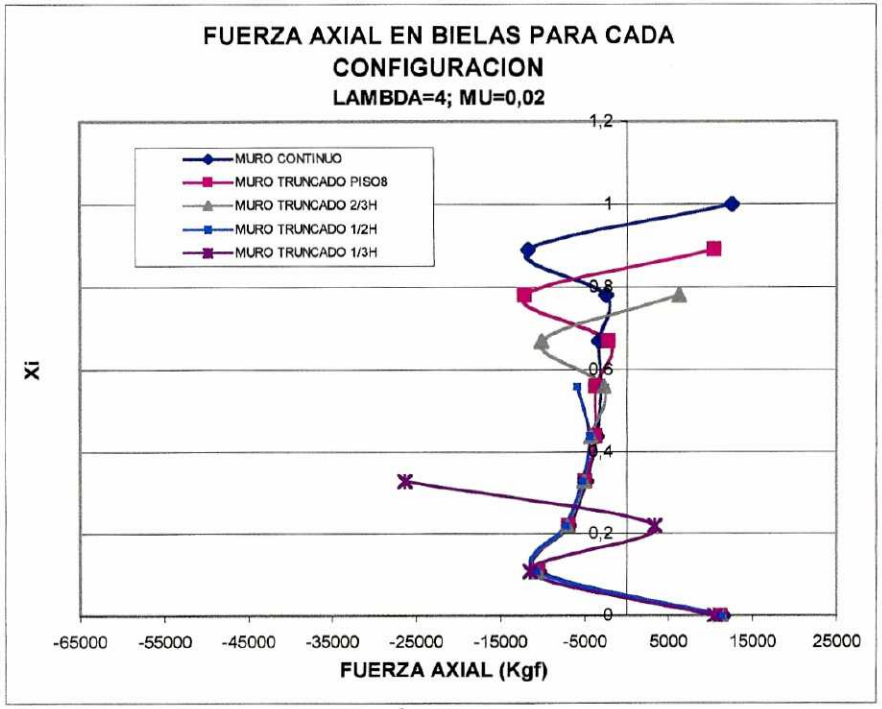

GRÁFICO 18-d

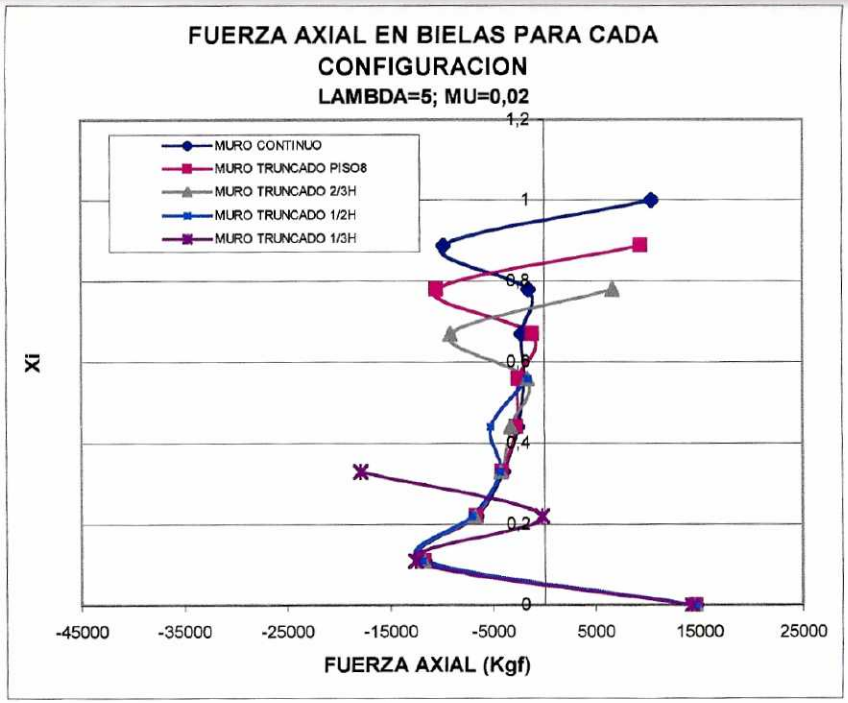

GRÁFICO 18-e

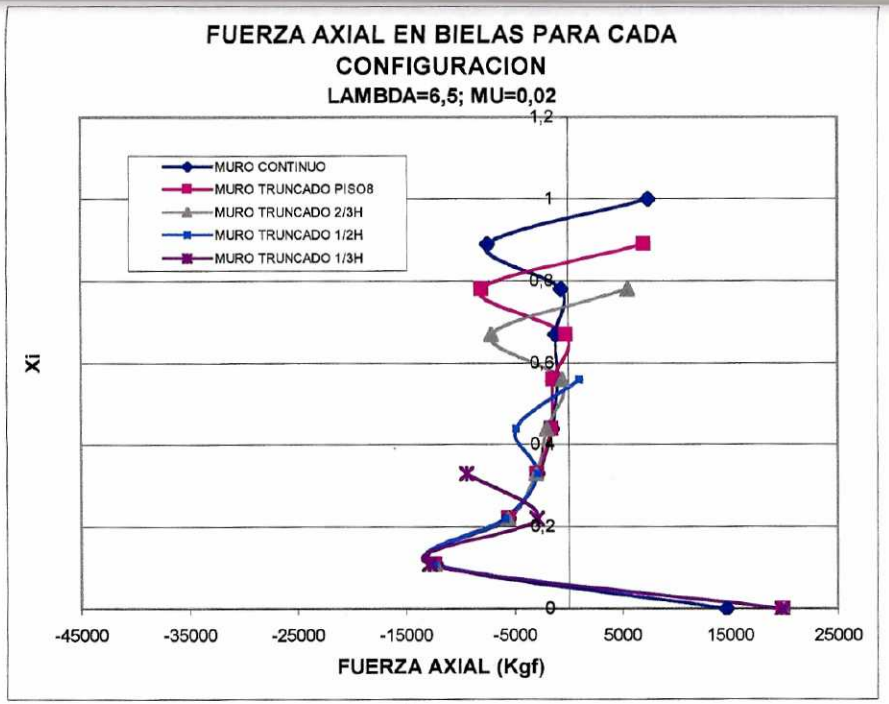

GRÁFICO 18-f

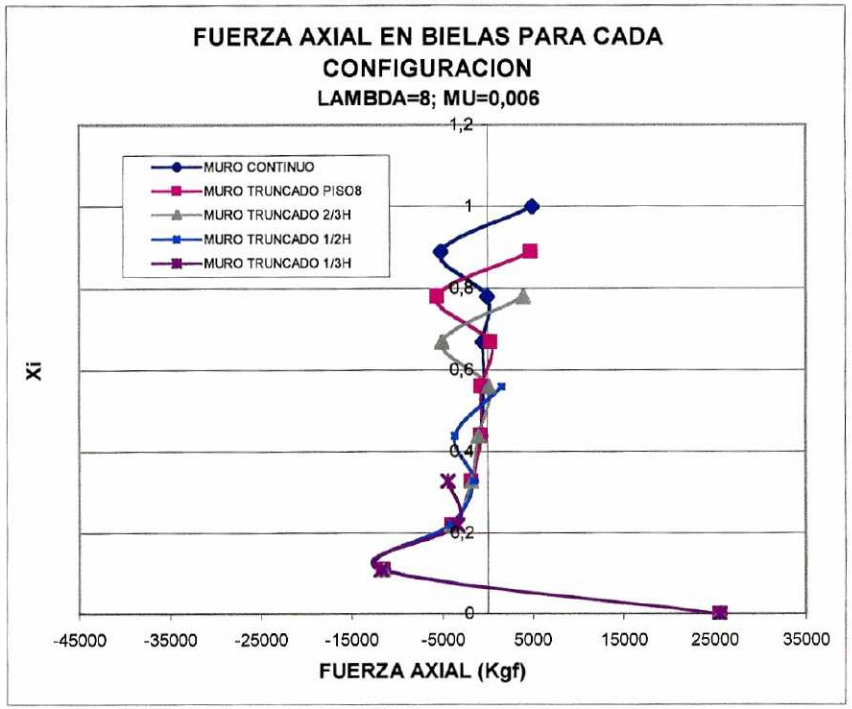

GRÁFICO 18-g

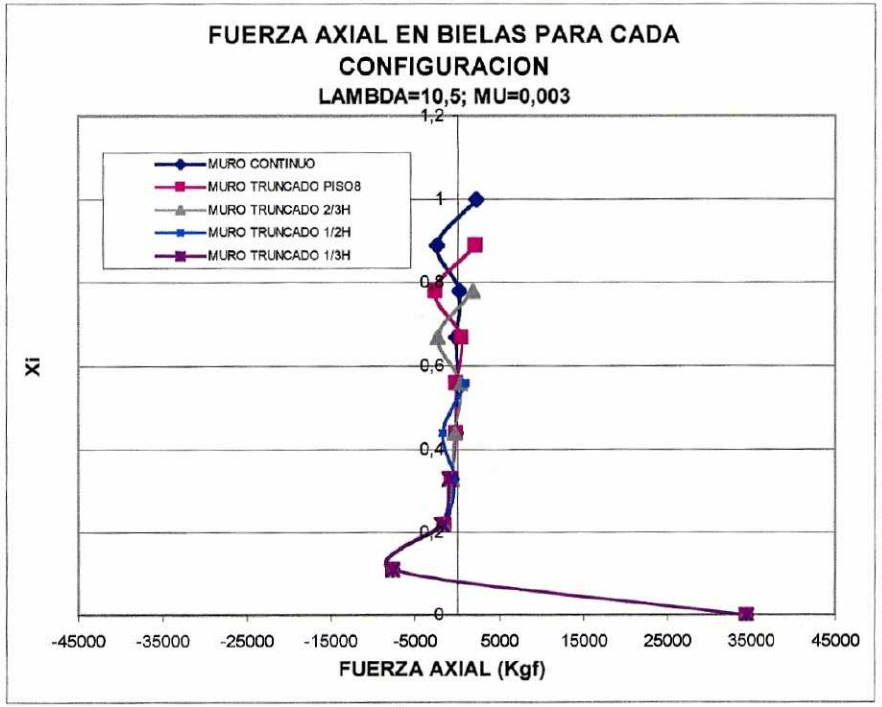

GRÁFICO 18-h

III.1.3. Comportamiento de las vigas en cada configuración para un mismo valor de λ

III.1.3.1. Corte y momento

Independientemente de la configuración analizada, mientras más rígido sea el muro, menores son las solicitaciones en las vigas (ver gráficos 19.a-h y 20.a-h). Para $\lambda \geq 2$ existen ciertas configuraciones que sobrepasan las solicitaciones de la estructura original en los pisos superiores, lo que significa que el muro está sobrecargando al pórtico en esa zona; para sistemas cada vez más flexibles disminuye la magnitud de dichas fuerzas.

Los Muros Truncados 2/3H, 1/2H y 1/3H presentan cambios bruscos en la magnitud de las solicitaciones entre los niveles inferiores y superiores, conducta que se suaviza para valores altos de λ.

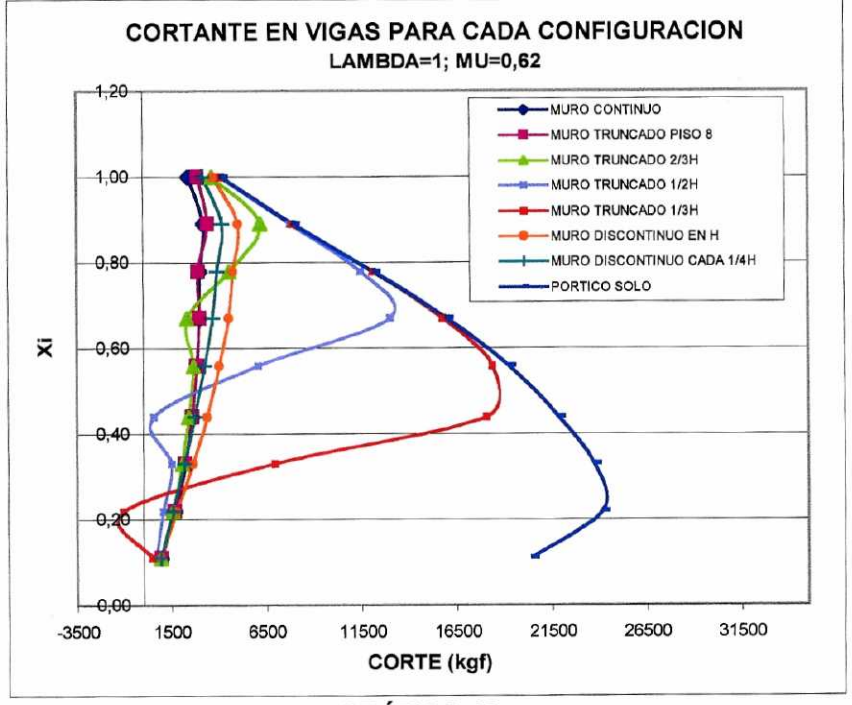

GRÁFICO 19-a

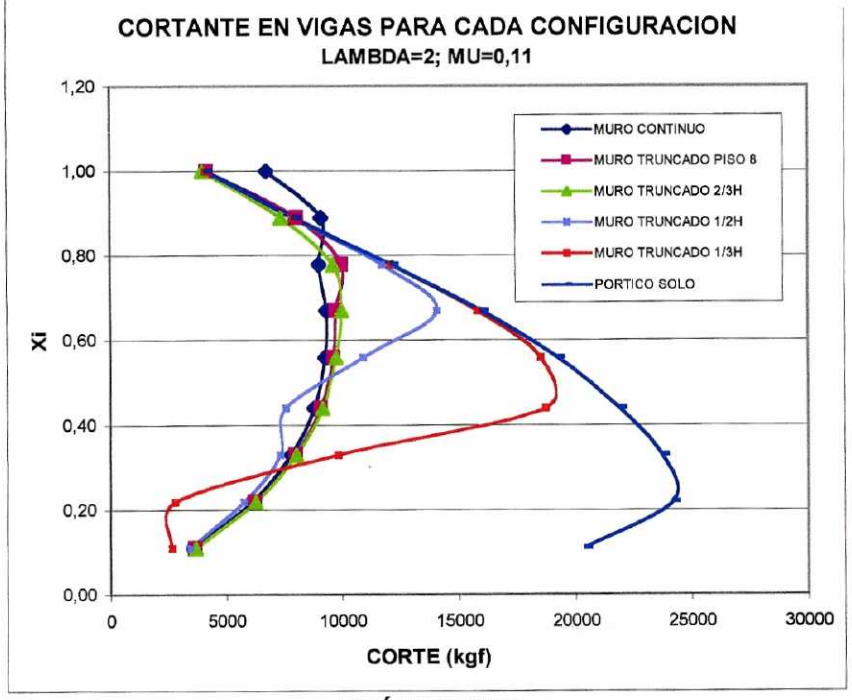

GRÁFICO 19-b

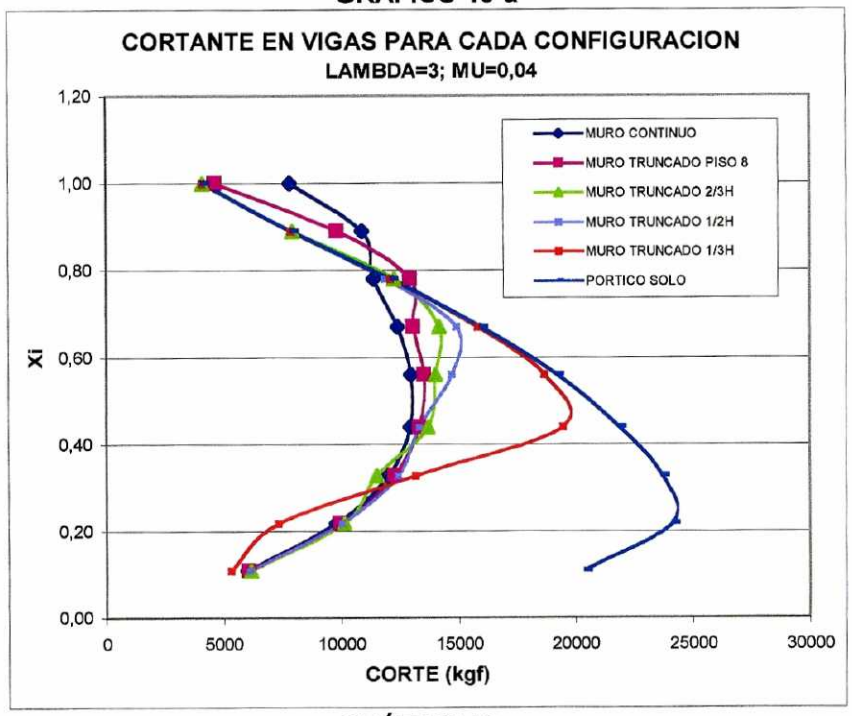

GRÁFICO 19-c

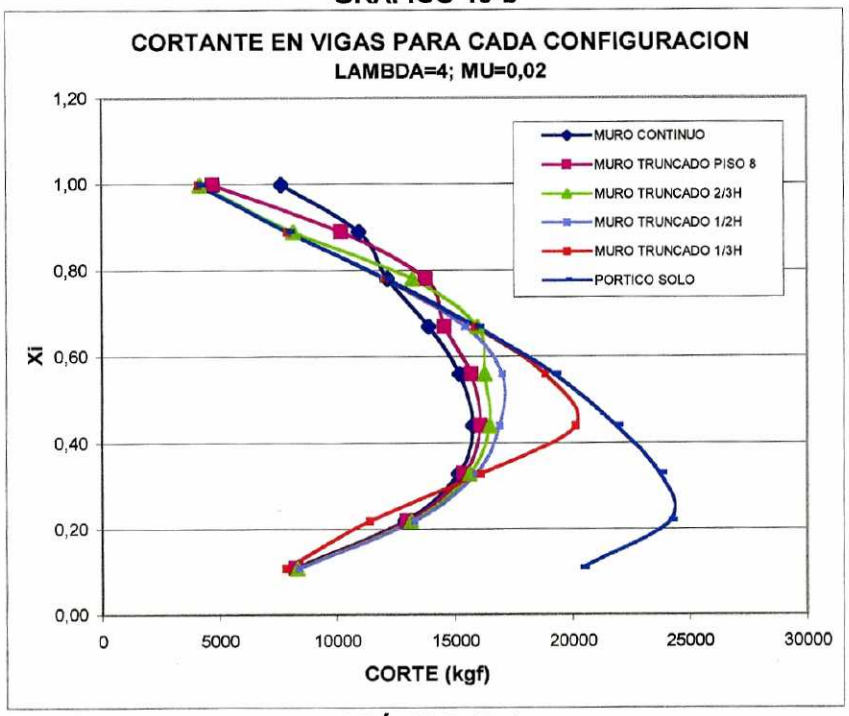

GRÁFICO 19-d

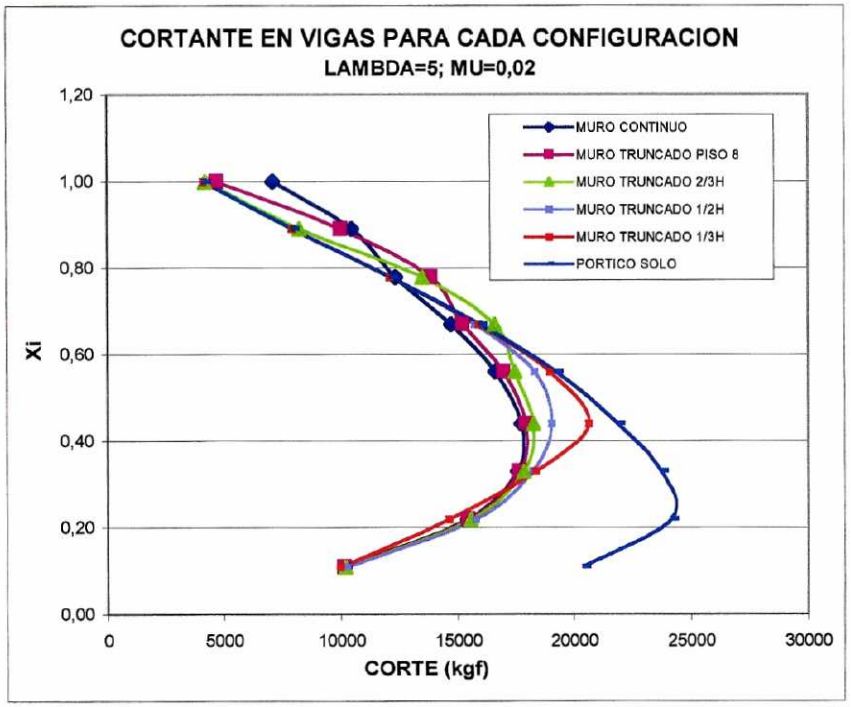

GRÁFICO 19-e

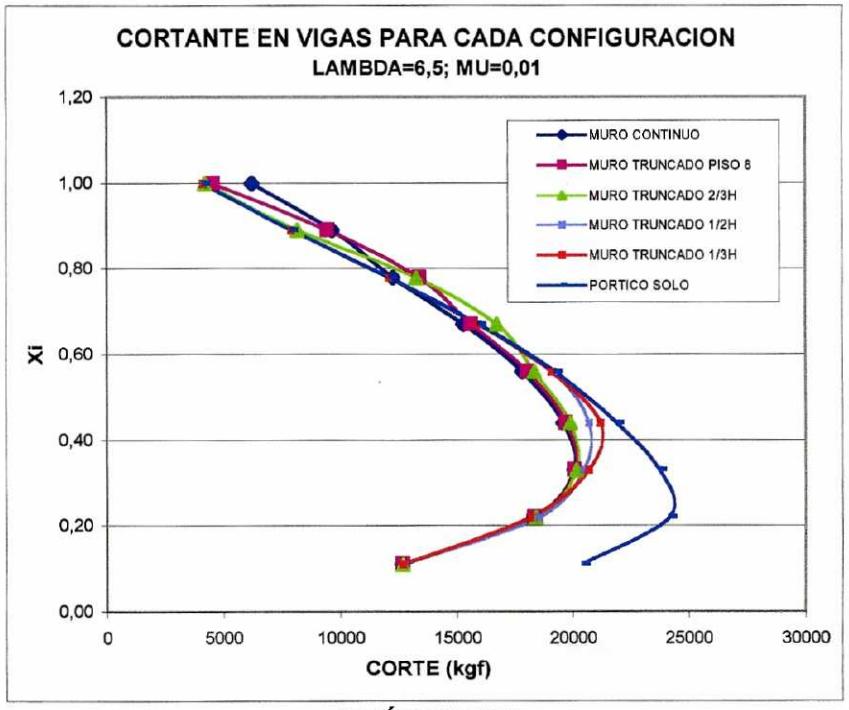

GRÁFICO 19-f

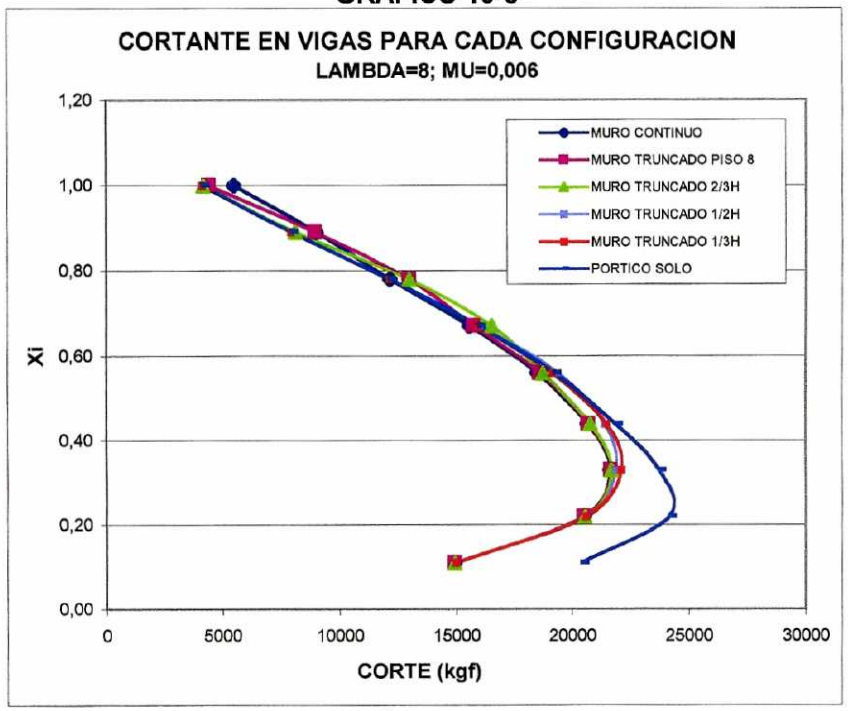

GRÁFICO 19-g

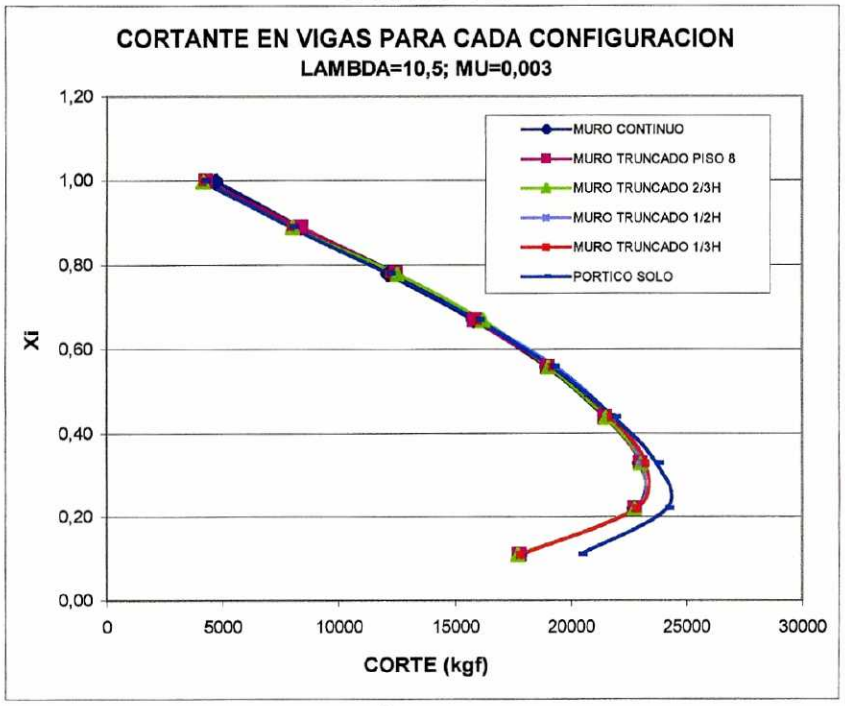

GRÁFICO 19-h

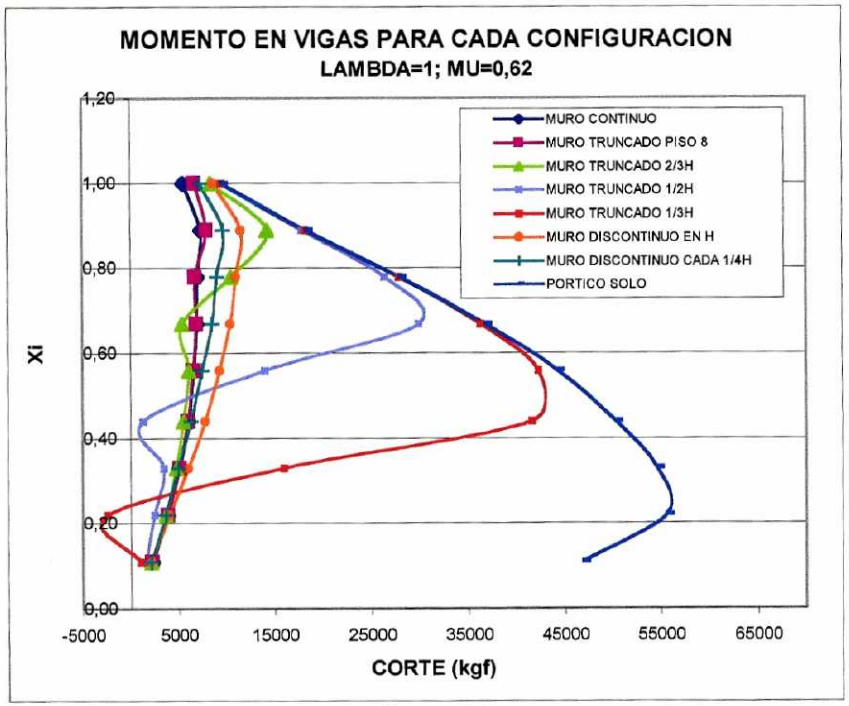

GRÁFICO 20-a

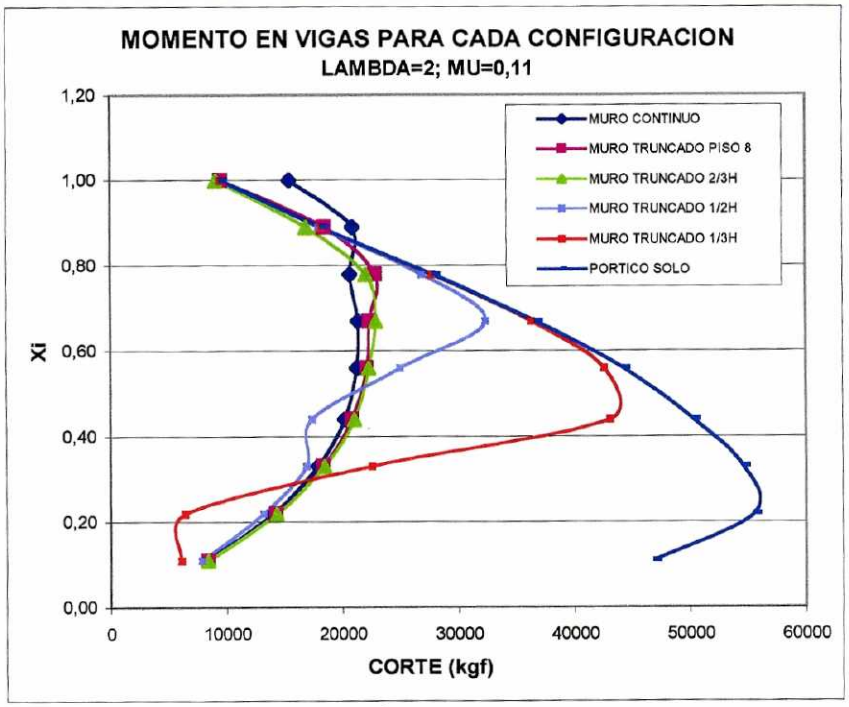

GRÁFICO 20-b

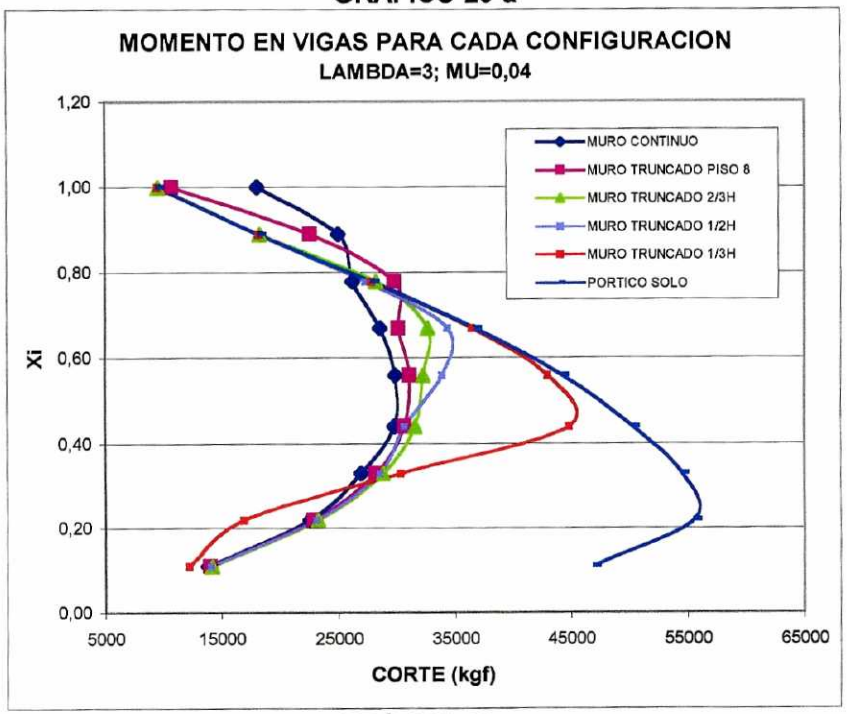

GRÁFICO 20-c

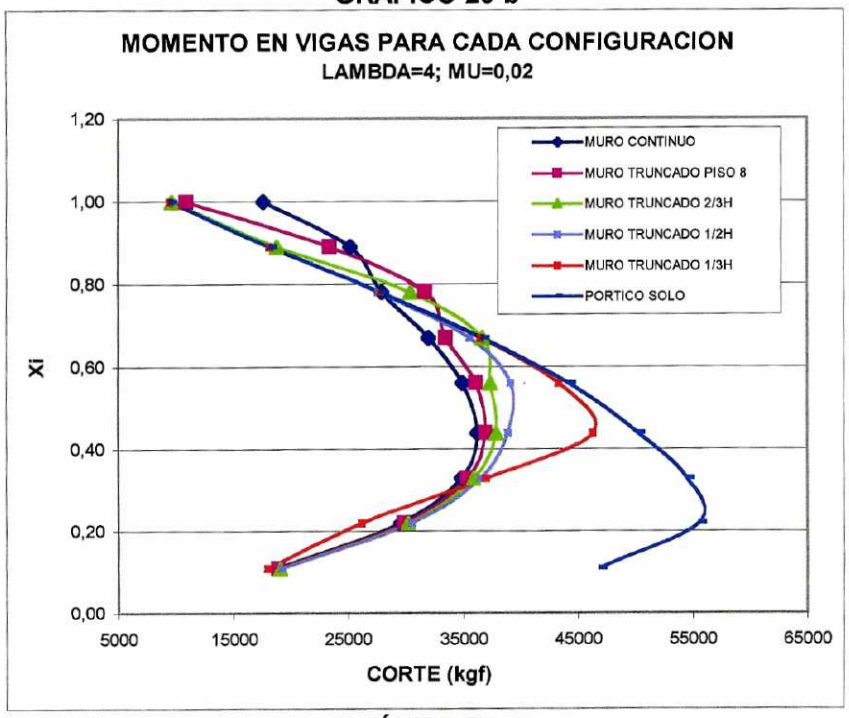

GRÁFICO 20-d

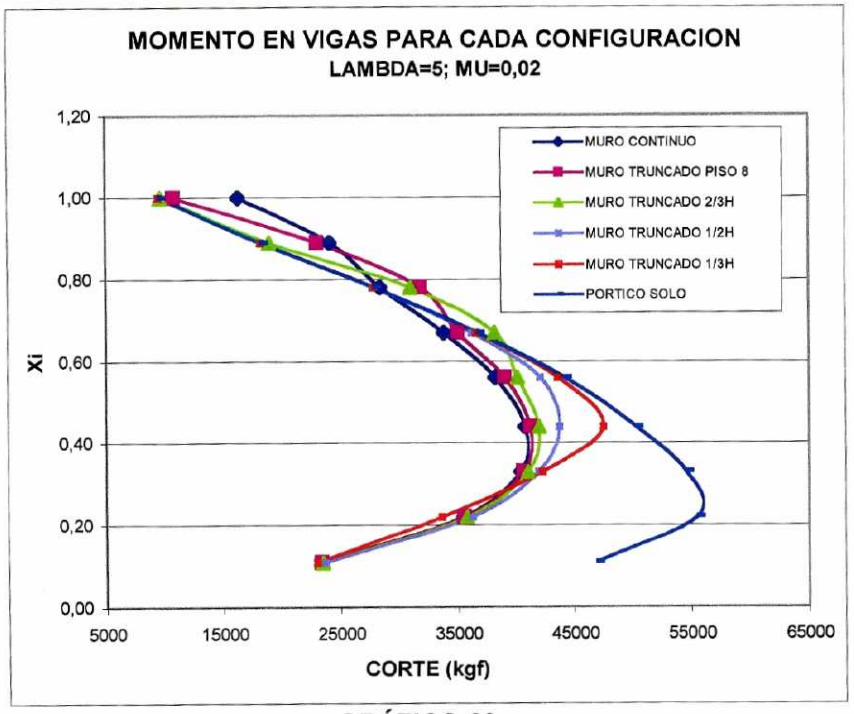

GRÁFICO 20-e

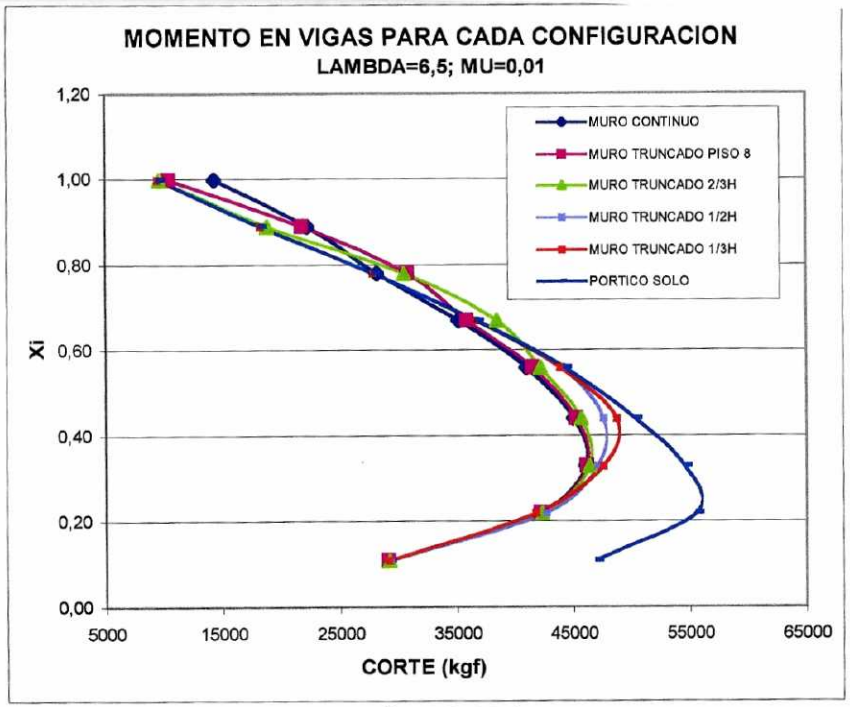

GRÁFICO 20-f

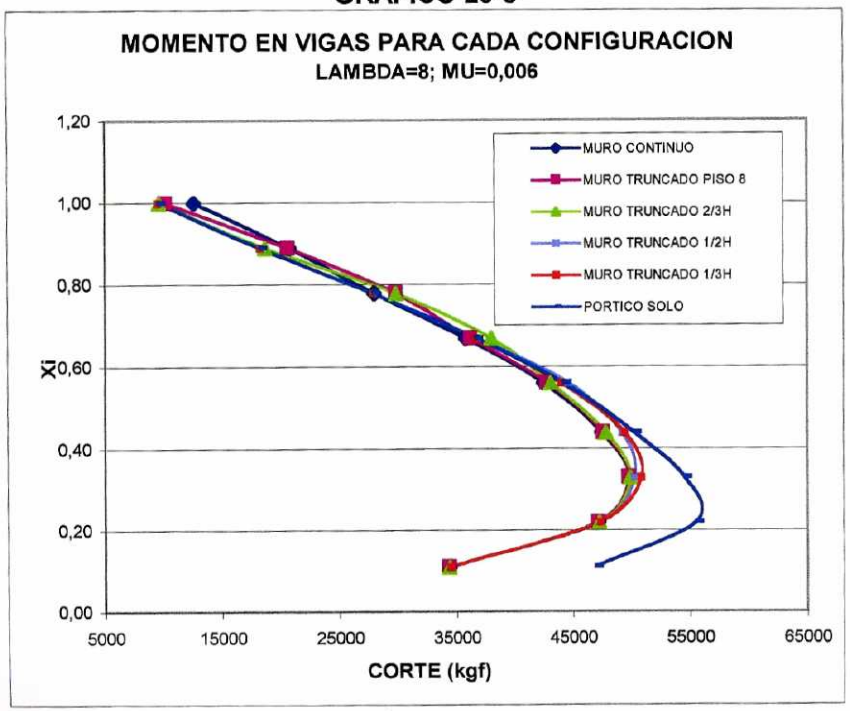

GRÁFICO 20-g

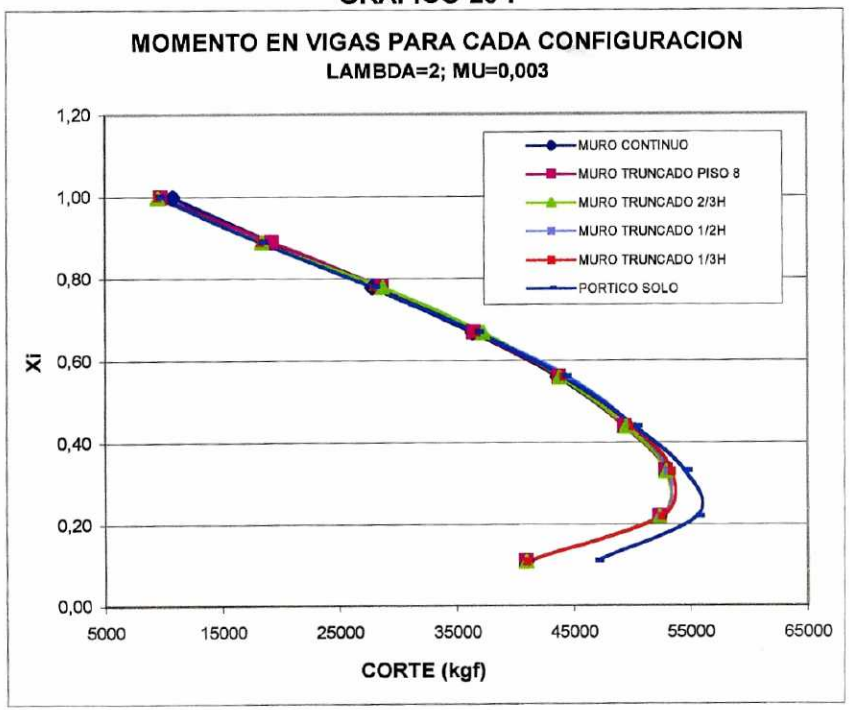

GRÁFICO 20-h

CONCLUSIONES

Con el presente estudio se ha logrado una mejor comprensión del comportamiento de los sistemas duales, y a partir de los análisis realizados se ha determinado el intervalo de soluciones que presentan un desempeño óptimo y eficiente dentro de las configuraciones de pantallas de refuerzo estudiadas.

Los Muros Continuos presentan un mejor desempeño, ofreciendo una transición suave en rigidez, resistencia, capacidad de deformación y de disipación de energía, presentándose como soluciones óptimas para el refuerzo los valores extremos del intervalo de λ evaluados, es decir, los mejores desempeños se aprecian en los sistemas muy rígidos (λ bajos) y en los sistemas muy flexibles (λ altos), ya que para los valores intermedios de λ se observa un aumento en las solicitaciones de los pisos superiores del pórtico.

Los Muros Discontinuos son una solución que puede brindar beneficios económicos y atractivo desde el punto de vista arquitectónico, con un comportamiento bastante aproximado al de los muros con geometría constante hasta el tope.

Los Muros Truncados, al ser un claro ejemplo de una distribución irregular de rigideces, representan soluciones poco factibles ya que muestran comportamientos poco satisfactorios en los niveles de truncamiento, sin embargo, para sistemas poco rígidos, es posible tomar en consideración un muro truncado en el 80-90% de la altura total de la edificación, pues los comportamientos que estos presentan son relativamente aceptables. A medida que la altura de la pantalla de refuerzo es menor, más flexible debe ser el mismo, para poder tener una adecuada compatibilidad con el sistema.

RECOMENDACIONES

Como se mencionó anteriormente esta investigación está enfocada en el desempeño de pantallas como solución de refuerzo para edificios bajos, por lo que sería un gran aporte al área el estudiar la tendencia del comportamiento del sistema dual con la variación del parámetro N del Método del Continuo.

Así como esta investigación llega a conclusiones basadas en un Análisis Estático de las configuraciones propuestas, un estudio dinámico de dichas configuraciones quizás pueda reflejar de mejor manera el comportamiento de estas estructuras, especialmente para el Muro Truncado piso 8 el cual tuvo una buena actuación en el refuerzo del pórtico, con pequeñas perturbaciones en el comportamiento comparado con el Muro Continuo.

Otro refuerzo muy utilizado en estructuras aporticadas son las diagonales de acero, el Método del Continuo para este caso contempla una variación en el parámetro de Rigidez a Cortante "C" (ver Apéndice), el cual incluye geometría y configuración de las diagonales, por lo que puede resultar de gran interés un estudio más detallado de este tipo de refuerzo.

REFERENCIAS

-Cantelmi, B. ; Alonso, G. & Goncalves, D. 1986. Estudio de Configuraciones para Edificios Mixtos y Complejos. Trabajo de Grado. Departamento de Ingeniería, UCV, Caracas-Venezuela.

-Comisión de Normas de Estructuras para Edificaciones del Ministerio de Desarrollo Urbano. 1999. Edificaciones Sismo-Resistentes Covenin-Mindur 1756-98. Fondonorma, Caracas.

-Goncalves, C. & Vilches, S. 2000. Configuraciones Típicas para Refuerzos de Estructuras Existentes y la Eficiencia de las Estructuras Mixtas como Solución. Trabajo de Grado. Departamento de Ingeniería, UNIMET, Caracas-Venezuela, 151 pp.

-Paparoni, M. 1991. Dimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado. Ediciones SIDETUR. Caracas-Venezuela. 204 pp.

BIBLIOGRAFIA

-Aktan, A. & Bertero, V. 1982. Prediction of the Seismic response of R/C Frame Coupled Wall Structures. Earthquake Engineering Research Center., 82/12: 1-8; III-IV; 103-109.

-Aktan, A. & Bertero, V. 1984. Conceptual Seismic Design of Frame-Wall Structures. ASCE., 11 (110): 2778-2798.

-Nilson, A & Winter, G. 1994. Diseño de estructuras de Concreto. McGraw – Hill. 770pp.

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA