

01181



---

---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA

TESIS

DISEÑO SÍSMICO ÓPTIMO DE EDIFICIOS CON  
DISIPADORES DE ENERGÍA

PRESENTADA POR:  
DANTE MARCEL CAMPOS ARIAS

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN INGENIERÍA  
(ESTRUCTURAS)

DIRIGIDA POR:  
DR. LUIS ESTEVA MARABOTO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2005

---

---

m343655



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Resumen

En este trabajo se presenta un modelo de optimización del diseño sismorresistente de edificios de concreto reforzado dotados de elementos disipadores de energía hysteréticos. La optimización consiste en obtener los valores de un grupo de parámetros, llamados variables de control, empleados en el diseño y en el mantenimiento de dichas construcciones, que minimizan el costo total a largo plazo del edificio. Esta optimización se plantea en el marco de la Teoría de Decisiones, y está basada en la información sobre el peligro sísmico del lugar de la construcción, en la respuesta estructural ante temblores específicos y ante una historia de temblores, en la estimación de las propiedades de la estructura, y en consideraciones económicas. Los criterios y modelos propuestos se ilustran mediante su aplicación a varios edificios hipotéticos, construidos sobre terreno blando en el Valle de México.

Cada estructura está representada por un marco convencional de concreto reforzado, compuesto de vigas y columnas, con dispositivos disipadores de energía hysteréticos instalados como contravientos. Se contribuye con una metodología de análisis y diseño, que incluye un dimensionamiento preliminar de los elementos estructurales e involucra el empleo de un espectro de diseño y un criterio de ductilidad, así como un criterio para distribuir las cortantes sísmicas entre el marco convencional y los disipadores, que son regidos por las variables de control. Se consideran las incertidumbres de las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos estructurales, se introduce un modelo propio de comportamiento hysterético y de daño para describir la degradación de rigideces y resistencias de los elementos de concreto reforzado ante sismo y se adopta la regla de Miner para determinar la fatiga en los disipadores de energía.

El proceso de optimización se desarrolló en dos etapas. Primero las estructuras fueron sometidas a la acción de un temblor fuerte cuyas respuestas permitieron seleccionar los modelos con mejor desempeño esperado o mayor índice de confiabilidad. En la segunda etapa, se emplearon historias de temblores aleatorios que pueden ocurrir en el futuro y se obtuvieron los costos a largo plazo que incluyen los costos de reparación del marco convencional, los costos de reemplazo de disipadores, costos de colapso y sus consecuencias. Esto permitió definir los criterios óptimos de diseño y mostrar que, para un grupo de combinaciones de las variables de control, los edificios de concreto reforzado dotados de disipadores de energía son más económicos y seguros que los marcos convencionales de concreto reforzado para las mismas sollicitaciones sísmicas y son una alternativa muy recomendable.

# Abstract

This thesis presents an optimization model for earthquake resistant design of reinforced concrete buildings provided with hysteretic energy-dissipating devices. Optimization consists in obtaining values of a group of parameters, called control variables, employed in the design and maintenance of the buildings, and that minimize the total long-term cost of the building. This optimization is stated within the framework of Decisions Theory, and is based on information about seismic hazard at the construction site, on the structural response under the action of both specific earthquakes and a history of earthquakes, on the estimation of structural properties, and on economic considerations. Criteria and models proposed are illustrated through their application to several hypothetical buildings built at a soft soil site in the Valley of Mexico.

Each structure is represented by a conventional reinforced concrete frame composed of beams and columns, with hysteretic energy-dissipating devices installed as braces. An analysis and design methodology is proposed here that includes a preliminary design of structural elements involving the use of a design spectrum and a ductility criterion; it also includes a criterion for distribution of seismic shear forces between the conventional frame and the dissipating devices. Such criteria are ruled by the control variables. Uncertainties about mechanical and geometrical properties of the structural elements are considered. A proper model of hysteretic behavior and damage is introduced to describe stiffness and strength degradations of the reinforced concrete elements under the action of earthquakes, and Miner's rule is adopted to determine the fatigue in the energy-dissipating devices.

The optimization process was developed in two steps. First, the structures were subjected to the action of a strong earthquake, and their responses allowed selecting models with better expected performance or greater reliability index. In the second step several histories of random earthquakes that can occur in the future were used; thus, the long term costs were obtained, including the costs of repairing the conventional frame, the costs of replacing the dissipating devices, the costs of collapse and their respective consequences. This allowed to define the optimum design criteria and to show that, for a group of combinations of the control variables, the reinforced concrete buildings provided with energy-dissipating devices are safer and cost less than the conventional reinforced concrete frames for the same seismic demand, and that these devices are a very convenient alternative.

*A mi esposa Verónica y a mis hijas Estefanía y Alexandra*  
*A mis padres Adela y Juan, a mis hermanos Juan, Esther y Noemí*  
*A los doctores Luis Esteva Maraboto y Jack López Acuña*

# Agradecimientos

Esta tesis fue realizada gracias al soporte del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México dentro del Proyecto No. 7537: "Bases para criterios de diseño de edificios dotados de elementos disipadores de energía", y del Proyecto No. 8552: "Criterios para el diseño sismo-resistente de edificios de concreto reforzado dotados de disipadores de energía", patrocinados por el Gobierno del Distrito Federal y dirigidos por el Dr. Luis Esteva Maraboto. En el último tramo del desarrollo de la tesis se tuvo el apoyo del Instituto Mexicano del Petróleo dentro Programa de Investigación y Desarrollo de Ductos, mediante el Proyecto No. D49: "Confiabilidad y optimación en la toma de decisiones relacionadas con la seguridad en ductos terrestres", dirigida por el Dr. Oscar Flores Macías.

# Contenido

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVO DE LA TESIS	3
1.3 ALCANCES Y ORGANIZACIÓN	4
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA	8
2.2.1 Concepción estructural para el empleo de EDES	8
2.2.2 Disipadores de energía dependientes del desplazamiento	10
2.2.2.1 <i>Sistemas de fricción</i>	10
2.2.2.2 <i>Sistemas histeréticos</i>	11
2.2.3 Disipadores de energía dependientes de la velocidad	12
2.2.3.1 <i>Sistemas viscoelásticos</i>	12
2.2.3.2 <i>Sistemas viscosos</i>	12
2.3 ÍNDICES DE DAÑO	13
2.3.1 Índices de daño local	14
2.3.1.1 <i>Modelo de Park y Ang</i>	14
2.3.1.2 <i>Modelo de Wang y Shah</i>	15
2.3.1.3 <i>Modelo de Chung, Meyer y Shinozuka</i>	16
2.3.2 Índices de daño global	16
2.3.2.1 <i>Índice de Roufaiel y Meyer</i>	16
2.3.2.2 <i>Índice del Máximo Ablandamiento</i>	16
2.3.2.3 <i>Índice propuesto por Ye, S. X.</i>	17
2.4 TIPO DE ESTUDIO	17
2.5 REGLAMENTACIÓN VIGENTE SOBRE EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EDES	18
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
3.1 PLANTEAMIENTO GENERAL	19
3.2 VARIABLES DE CONTROL	20
3.3 ESPECTROS DE DISEÑO	21

3.4 ANÁLISIS	22
3.4.1 Variables iniciales por estudiar	23
3.4.2 Tipos de análisis	24
3.4.2.1 T1: para varios eventos sísmicos de la misma intensidad	24
3.4.2.2 T2: para varias simulaciones de una historia sísmica de 100 años	25
3.4.3 Series de estudio	25
3.4.3.1 Serie 1: Para comparar la influencia de la ductilidad	25
3.4.3.2 Serie 2: Para observar la influencia de la relación de desplazamientos de fluencia del marco y disipador $\lambda$	25
3.4.3.3 Serie 3: Para observar la influencia de la relación de rigideces	25
3.4.3.4 Serie 4: Para observar la influencia de la Variación de $r_K$ y de $\lambda$ en la altura	26
3.4.3.5 Serie 5: Para observar la respuesta de los marcos seleccionados con historias de temblores y sin mantenimiento	26
3.4.3.6 Serie 6: Para observar la respuesta de los marcos seleccionados con historias de temblores con mantenimiento	26
<b>4. MODELOS ANALÍTICOS EMPLEADOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 MODELO DE COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO Y DE DAÑO PARA VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	27
4.1.1 Antecedentes	27
4.1.2 Curva envolvente o esqueletal	28
4.1.3 Modelo de daño	29
4.1.4 Reglas del modelo de comportamiento histerético ( $M-\theta$ )	30
4.2 ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA	32
4.2.1 Colocación y tipo	32
4.2.2 Curva de fatiga	32
4.2.3 Índice de fatiga	33
4.2.4 Empleo ante ciclos irregulares	33
4.3 ÍNDICE DE COLAPSO GLOBAL Y CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL	33
4.3.1 Índice de colapso global	33
4.3.2 Definición de un índice de confiabilidad a partir de un conjunto de valores del Índice de Daño, $D_k$	34
4.4 MODELO DE SISMICIDAD PARA LA ZONA III DEL	36



DISTRITO FEDERAL	
4.4.1	Función de densidad de probabilidades de las intensidades 36
4.4.2	Tiempo entre sucesos 37
4.4.3	Acelerogramas artificiales 37
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA DE DISEÑO ..... 39</b>
5.1	ECUACIONES BÁSICAS 39
5.2	DISEÑO 40
5.2.1	Etapa preliminar 40
5.2.2	Diseño definitivo 41
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ANTE UN TEMBLOR DE INTENSIDAD DADA ..... 43</b>
6.1	INTRODUCCIÓN 43
6.2	INFLUENCIA DEL EMPLEO DE EDES 45
6.2.1	Comparación de los marcos <i>a</i> , <i>b</i> y <i>d</i> , diseñados con $\mu=4$ 45
6.2.2	Comparación entre el marco <i>a</i> ( $\mu=4$ ) con los marcos <i>e</i> y <i>f</i> (ambos diseñados con $\mu=5$ ) 45
6.2.3	Otras comparaciones 45
6.3	INFLUENCIA DE LA RELACIÓN DE RIGIDECES EN LOS SISTEMAS CON EDES 46
6.4	INFLUENCIA DE LAS DUCTILIDADES DE DISEÑO EN LOS SISTEMAS CON EDES 46
6.4.1	Comparación entre los marcos tipos <i>b</i> y <i>c</i> , ambos diseñados con $r_k = 0.25$ y $\lambda = 0.5$ 46
6.5	INFLUENCIA DE LA RELACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DE FLUENCIA ( $\lambda$ ) 47
6.6	SISTEMAS CON PISO BLANDO 47
6.7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS ANÁLISIS DE RESPUESTA ANTE TEMBLORES DE INTENSIDADES DADAS 48
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO A LARGO PLAZO SIN CONSIDERAR MANTENIMIENTO ..... 49</b>
7.1	INTRODUCCIÓN 49
7.2	HISTORIAS DE TEMBLORES 50
7.3	ANÁLISIS DE RESPUESTAS 51
7.3.1	Aplicación del índice de daño global $D_k$ 51
7.3.2	Distorsión en los entrepisos 56
7.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57
<b>8.</b>	<b>COSTOS A LARGO PLAZO ..... 59</b>

8.1 INTRODUCCIÓN	59
8.2 ESPERANZA DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO TOTAL A LARGO PLAZO	60
8.2.1 Esperanza del valor presente del costo total	60
8.2.2 Costo inicial	60
8.2.3 Método híbrido para estimar costos esperados de daños en estructuras sujetas a series aleatorias de temblores	61
8.2.4 Variante del método híbrido	63
8.2.5 Índice de daño por entrepiso en función de la distorsión	63
8.2.6 Colapso de la estructura en función de la distorsión	64
8.2.7 Costos de reparación	67
8.2.8 Costos de colapso	68
8.3 COSTO INICIAL DE LOS SISTEMAS	68
8.3.1 Costo directo de los sistemas	68
8.3.2 Costo inicial total de los sistemas	70
8.4 COSTOS FUTUROS DE LOS SISTEMAS	71
8.4.1 Análisis de los costos futuros de los sistemas	81
8.5 COSTO TOTAL ESPERADO DE LOS SISTEMAS	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
REFERENCIAS .....	97
Apéndice A: Diseño de los marcos	107
Apéndice B: Modelos probabilistas de las resistencias, dimensiones de los elementos estructurales y de las cargas	137
Apéndice C: Valores del índice de daño por entrepiso ( $D_k$ ) para cada realización de cada tipo de marco	141
Apéndice D: Costos a largo plazo	147
Apéndice E: Evolución de los índices de confiabilidad a largo plazo	179

# CAPÍTULO 1

## Introducción

### 1.1 GENERALIDADES

El objetivo del diseño sísmico es proporcionar a cada estructura las características que le permitan desarrollar el comportamiento óptimo, compatible con la economía de su diseño, ante los temblores que actúen sobre ella desde que se inicia su construcción hasta que se demuele o se abandona. Se espera que las construcciones se comporten satisfactoriamente durante eventos de baja intensidad, mediante un requisito de servicio que establece que los desplazamientos relativos de entrepiso sean controlados para minimizar los daños en los elementos no estructurales. Cuando se trate de una excitación extrema, el objetivo es evitar el colapso. Para edificios comunes, el objetivo de lograr un equilibrio entre economía y seguridad conduce a aceptar que en algunos miembros estructurales se excedan los límites de comportamiento lineal sin llegar a la falla, como una manera de aprovechar la capacidad de disipar energía del sistema para controlar su propia respuesta dinámica. La forma de lograr este comportamiento varía con el sistema estructural que se emplee. Para edificios de concreto reforzado (CR) de altura de hasta cerca de veinte niveles, la rigidez lateral y los requerimientos sobre capacidad para disipar energía pueden ser alcanzados mediante marcos espaciales dúctiles; mientras que para los edificios altos de dicho material suele convenir emplear un sistema combinado marco-muro para resistir

fuerzas laterales. El marco espacial dúctil se usa entonces como un sistema resistente secundario para proporcionar ductilidad. Según Paulay y Priestley (1992), para edificios de hasta veinte niveles, el empleo de uno de estos sistemas es frecuentemente materia de selección, mientras que para edificios de más de treinta niveles, el empleo de muros se convierte en imperativo desde el punto de vista de economía y del control de la deflexión lateral.

En congruencia con lo anterior, los criterios de diseño sísmico para marcos dúctiles de CR establecidos por el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal (1993, 1995, 1996) consideran que ante eventos de intensidad elevada los miembros estructurales sufrirán deformaciones inelásticas para absorber y disipar energía interna. Estas deformaciones inelásticas usualmente son desarrolladas en ciertas regiones críticas en el marco, frecuentemente localizadas en puntos de momentos internos máximos. En este estudio se considera que las regiones críticas se ubican en los extremos de las vigas, donde el comportamiento inelástico puede estar controlado por la flexión o flexión y cortante, y puede manifestarse físicamente mediante la aparición de fisuras o grietas en dichas secciones. Se trata de evitar que esto ocurra en las columnas, en donde el comportamiento puede ser controlado por la combinación de momentos flexionantes, fuerzas cortantes y cargas axiales, y se acepta la posibilidad de aparición de articulaciones en las columnas de la planta baja.

En los diferentes elementos de la misma estructura se presentarán distintos niveles de daño. Dichos elementos pueden requerir de mantenimiento, de reparación, o de ninguna de estas acciones, de manera que el funcionamiento y la seguridad de la estructura sea el adecuado para soportar satisfactoriamente los siguientes temblores.

Cuando el sistema es de CR, por observación es posible ubicar los lugares con daño e incluso estimar la gravedad de éstos. La mayor dificultad radica en las labores propias del mantenimiento o reparación de los elementos dañados.

El uso de elementos disipadores de energía (EDES) puede ser una solución eficiente para reducir los costos de reparación de estructuras dañadas por sismos, debido a que puede disminuir la ocurrencia de daños en los elementos de CR, concentrándolos en ellos mismos, lo que conduce a operaciones más simples de reparación y reemplazo. Lo anterior concuerda con el importante principio para el diseño sísmico de construcciones expuestas a temblores de intensidad elevada: el colapso debe evitarse y los daños que se presenten deben ser fáciles de reparar (Esteva, 1993). Pero, por sus características especiales y tareas adicionales

que implican en una obra, pueden encarecer el costo inicial de las construcciones diseñadas para ordenadas espectrales especificadas.

Entonces, el construir edificios con dispositivos disipadores de energía se presenta como una buena alternativa. La justificación del empleo de elementos disipadores de energía en las construcciones radica en su contribución a la economía a largo plazo dentro de un diseño óptimo de estas estructuras, es decir logrando un balance óptimo entre costos y beneficios, donde quedaría implícito un nivel de seguridad. De allí nuestro interés sobre el estudio de optimización de edificios de CR dotados de EDES.

## 1.2 OBJETIVO DE LA TESIS

Las bases para diseñar un edificio de concreto reforzado con elementos disipadores de energía están constituidas por los criterios para su estructuración y diseño, factores de seguridad y reductivos, y solicitudes de diseño. La presente tesis tiene como objetivo estudiar estos conceptos, aquellos factores de diseño y criterios de estructuración mencionados, dentro de un marco de optimización a largo plazo de un grupo de estos edificios, en donde cada estructura es representada por un marco convencional (MC) de concreto reforzado, compuesto de vigas y columnas, dotado de EDES. Se toman en cuenta las diferentes propiedades, tanto de los EDES como del MC y del trabajo de ambos en conjunto, ante una historia sísmica en el suelo compresible de la ciudad de México.

El estudio de optimización citado puede llevarse a cabo en dos niveles:

Nivel A: Considerando la acción de un solo temblor de intensidad dada, obtener las características en el MC y en los EDES, y características relativas, para lograr una confiabilidad óptima. Entiéndase por confiabilidad óptima la que conduce a la menor suma de valores esperados de costos de construcción y costos de daños y posibles fallas. Se deberá emplear un sismo calificado como fuerte para obtener resultados útiles.

Nivel B: Considerando la incertidumbre sobre los temblores que pueden ocurrir en el futuro, a fin de obtener una optimización a largo plazo, que incluya los costos de posibles fallas, del mantenimiento y reparación del MC y del mantenimiento y reemplazo de los EDES. La selección de los sismos ocurrirá como consecuencia de la historia sísmica del lugar a partir de la distribución de probabilidades de las intensidades, o de sus tiempos de retorno. Por eficiencia de los estudios se seleccionarán intensidades capaces de producir daños significativos.

De acuerdo con lo anterior, se propone un estudio de optimización, considerando propiedades inciertas para los elementos estructurales y de las cargas, de acuerdo con lo descrito para el nivel B. Para efectos de comparación de resultados de respuestas sísmicas, se incluye en el estudio un marco sin EDES para que sirva de referencia.

### **1.3 ALCANCES Y ORGANIZACIÓN**

La investigación se presenta en ocho capítulos y una sección de conclusiones y recomendaciones. Estos se pueden agrupar en planteamiento del problema y estado del arte, desarrollo de las herramientas necesarias para resolver el problema, y el proceso de optimización.

En el Capítulo 2 se muestran aspectos sobre el estado del arte relacionado con el tema de investigación. Se presentan principalmente una explicación sobre algunos de los EDES histeréticos, así como los principales modelos de comportamiento histerético de elementos de CR que incorporan un índice local de daño acumulado y modelos sobre índice de daño global de la estructura que estén asociados con los índices de daño locales y que permiten calcular la confiabilidad del sistema estructural. También, se muestra qué trabajos hay sobre el tipo de optimización desarrollado aquí y que tengan como finalidad determinar parámetros de diseño. Además, se hace una breve descripción sobre la reglamentación vigente sobre el diseño de estructuras con EDES.

El Capítulo 3 muestra el problema tratado en la investigación y se explica la solución sobre el diseño óptimo de edificios con EDES. Con base en la solución descrita, se identifica un grupo de parámetros de diseño llamados variables de control, que definen el diseño y el comportamiento estructural del edificio, y dado que permiten aplicar acciones de reparación, se puede obtener los valores óptimos de las variables de control mencionadas. Se muestra en detalle la estrategia seguida para el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo 4 se muestran las herramientas desarrolladas y que son necesarias para lograr los objetivos de la tesis. Entre estas herramientas está el modelo de comportamiento histerético y de daños para elementos de CR, útil para medir la degradación de la rigidez y resistencia de vigas y columnas. En los disipadores de energía se toma como daño al índice de fatiga, se propone un modelo obtenido a partir de los ensayos de laboratorio del disipador tipo U empleado en Aguirre y Sánchez (1992) y aplicando la regla de Miner. Los daños locales en los miembros estructurales se reflejan en el daño del sistema global, el cual es función, en una de sus alternativas, de la degradación de rigideces. Se presenta un algoritmo para calcular la probabilidad de falla de la

estructura. Otra alternativa para calcular la probabilidad de falla global, presentada posteriormente en el Capítulo 8, es empleando la distorsión de los entrepisos con la finalidad de establecer umbrales de reparación y de colapso. Finalmente, se presenta un modelo de sismicidad que refleja la actividad sísmica de la zona de suelo blando en donde está desplantada la estructura. Tanto el modelo de sismicidad como el espectro de diseño empleado son representativos de la zona de construcción.

Otra herramienta importante es el modelo de análisis y diseño de marcos de CR dotados de EDES, que también es empleado para el diseño del marco sin disipadores que sirve de referencia. Esta herramienta se muestra en el Capítulo 5. Esta incluye: a) un análisis que permite el dimensionamiento preliminar de los elementos estructurales, y b) un diseño definitivo en donde se incluye un análisis dinámico modal espectral y se obtienen los cortantes en el MC y en los EDES para el diseño sísmico, el cual está de acuerdo con las normas vigentes emitidas por el que fuera el Departamento del Distrito Federal (1993, 1995 y 1996) y con las recomendaciones del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA, 2001). Las respuestas sísmicas de los distintos marcos que se llevan a cabo posteriormente, en los Capítulos 6, 7 y 8, se realizan mediante análisis dinámicos, matriciales y no lineales, paso a paso en el tiempo.

Siguiendo con la estrategia planteada para lograr la optimización, en el Capítulo 6 se considera la acción de un solo sismo calificado como fuerte. Se trabajó con nueve tipos de marcos con características distintas, diseñados según las variables indicadas en la Tabla 3.1. Cada tipo de marco es reproducido en 10 realizaciones mediante Monte Carlo; lo mismo se hace con el sismo fuerte, de tal manera que a cada realización de un tipo de marco le corresponda un temblor simulado. El temblor registrado en la SCT el 19 de septiembre de 1985 sirvió como fuente de las simulaciones. Luego de analizar las respuestas sísmicas y la influencia de cada variable de control empleado en el diseño sobre dicho comportamiento, se seleccionaron los marcos con mejor comportamiento: menor índice de daño y mayor índice de confiabilidad.

En el Capítulo 7 se realiza un primer análisis a largo plazo, sin mantenimiento ni reparación, de los cuatro tipos de marco seleccionados. En este análisis las estructuras son sometidas a historias de sismos correspondientes a un lapso de 100 años, cuyas intensidades están de acuerdo con la sismicidad de la zona de construcción. Se observa la evolución y tendencias del comportamiento estructural de cada tipo de marco. Se calcula el índice de confiabilidad a partir de la degradación de rigideces de cada tipo de marco al finalizar la historia de temblores, se comparan ductilidades, los índices de daño, las distorsiones por entrepiso al final de cada historia de temblores y el promedio de dichas distorsiones.

El proceso consistió en generar, mediante simulación, cinco historias de temblores, primero simulando la intensidad representativa de cada temblor y el tiempo de ocurrencia mediante un proceso de Poisson, y posteriormente obteniendo el acelerograma correspondiente a cada intensidad simulada. De cada tipo de marco se genera cinco realizaciones y cada una de ellas es sometido a una historia de temblores.

En el Capítulo 8 se realiza el estudio de costos a largo plazo para decidir la opción más conveniente que consiste en proporcionar los valores de las variables de control que minimizan el costo total, el cual va asociado, intrínsecamente, a un adecuado desempeño estructural. Los marcos, tipos y realizaciones, y las historias de temblores son los que se utilizaron en el Capítulo 7. Aquí se emplea la distorsión como un indicador principal de la respuesta sísmica, se introduce un índice de daño por entrepiso útil para definir umbrales de reparación del MC y se emplea la fatiga para determinar el reemplazo de los EDES. También se determina un índice de daño global que depende de la distorsión máxima alcanzada durante un temblor, el que es utilizado para calcular el índice de confiabilidad y probabilidad de falla de la estructura. A partir de los resultados de éste capítulo se concluye que construir edificios con disipadores de energía es una buena alternativa.



## CAPÍTULO 2

# Antecedentes

### 2.1 INTRODUCCIÓN

La construcción de edificios con EDES se encuentra aún en sus etapas iniciales. En México, hasta el año 2003 se habían construido cuatro edificios (Miranda *et al.*, 1998; Martínez-Romero, 1998; Taylor, 2003) y en el mundo eran pocos a comienzos de los noventa (Villaverde, 1993), pero posteriormente, la construcción de este tipo de edificios ha aumentado (Taylor, 2003); por ejemplo en Taiwán, hasta julio de 2003 se construyeron 47 edificios con distintos tipos de disipadores de energía de control pasivo después del sismo de Chi-Chi ocurrido el año 1999 (Chang *et al.*, 2004); mientras que en Japón, hasta el año 2002 se construyeron 300 edificios con dispositivos de control pasivo, incrementándose la tasa de construcción después del sismo de Kobe de 1995 (Kasai y Kibayashi, 2004). En cuanto a la normatividad, tanto en México como en otros países de alto riesgo sísmico, no existen recomendaciones oficiales para el análisis y diseño de construcciones nuevas de edificios con disipadores de energía, ni para reforzar los existentes; sin embargo, sí permiten su proyecto, el cual debe ser sometido a revisión por un comité que decidirá su aprobación para ser construido (Ruiz y Álvarez, 1995; Montiel y Ruiz, 2002). Por otro lado, el concepto sobre el empleo de estructuras con disipadores de energía no es nuevo (Miyamoto y Singh, 2002), ya que en 1968 en Estados Unidos se patentó una estructura con amortiguadores de fluido viscoso (Cardan, 1968). En México

se ha venido estudiando estos sistemas desde finales de los 80 (Del Valle, 1988). En la última década se han realizado muchos estudios analíticos y experimentales sobre modelos de estos edificios, tanto de concreto reforzado como de acero con ciertos tipos de disipadores, con la finalidad de compararlos con las estructuras convencionales, de conocer su comportamiento y de proponer, en algunos casos, recomendaciones para su diseño.

A pesar de que se han construido edificios con EDES, no se han mostrado los procedimientos o metodologías empleados en los diseños, y más aún, no se indican parámetros que gobiernan el diseño y tampoco se han mostrado guías de operación de dichos edificios. Ante esto son notables los esfuerzos encaminados a plantear métodos de diseño y guías de operación de tales sistemas. Un método de diseño fue propuesto por Silva y Ruiz (1993), quienes presentan un planteamiento iterativo para el diseño de estructuras nuevas con disipadores de energía histeréticos, sugiriendo que el marco final con EDES tenga el mismo periodo fundamental que el marco convencional (sin EDES) con el cual se inicia el análisis y dando recomendaciones para la distribución de resistencias y rigideces entre el marco y los EDES, así como sobre aspectos mecánicos con respecto a la ductilidad, desplazamientos y distorsiones de entrepiso que deben cumplirse. Asimismo, en Torres y Ruiz (2004) se establece una metodología de diseño por desempeño para reforzamiento de estos edificios.

Se dispone de una cantidad considerable de estudios experimentales sobre los diferentes tipos de EDES, y según su tipo éstos presentan un comportamiento estable ante carga cíclica, unos más que otros, hasta cierto umbral. Dicho comportamiento se ve afectado, según el caso, por los cambios de temperatura, por el desgaste debido a la fricción, por el número, amplitud y frecuencia de los ciclos sucesivos reversibles, etc.

Dentro de este contexto, mostrado grosso modo, para llegar a proyectar y construir edificios con EDES en zonas sísmicas, se observa la necesidad de contar con herramientas de análisis y diseño confiables al alcance de los ingenieros estructuristas y de contar con la reglamentación correspondiente.

En las siguientes secciones apreciaremos algunos aspectos del estado del arte sobre temas relacionados con el desarrollo de esta investigación.

## **2.2 ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA**

### **2.2.1 Concepción estructural para el empleo de EDES**

En el diseño sísmico convencional se reducen las fuerzas elásticas de diseño para permitir un comportamiento no lineal de la estructura que proporcione alto nivel de disipación de energía mediante histéresis, de manera que se evite el colapso. Se espera que el comportamiento inelástico se concentre

principalmente en los extremos de las vigas, cuyo comportamiento histerético se degradará con los ciclos inelásticos sucesivos, aunque estén bien proyectadas. Para proteger al marco de CR se le puede agregar un sistema que disipe la energía interna, mediante la incorporación de amortiguamiento adicional, sea de tipo viscoso, histerético o por fricción.

La cantidad de energía impartida a una estructura depende de diversos factores, algunos de los cuales se relacionan con las características del movimiento del suelo, tales como sus amplitudes y contenido de frecuencias. Otros se relacionan con las propiedades de la estructura, tales como su periodo natural, su amortiguamiento y resistencia o propiedades de carga vs deformación de los materiales. El balance de la energía de entrada, la interna y la disipada en un edificio sometido a una acción dinámica, para cada instante, se representa mediante la siguiente ecuación

$$E_I = E_K + E_S + E_\xi + E_H = E_E + E_D \quad (2.1)$$

Aquí,

$E_I$  = Energía de entrada debido al sismo

$E_K$  = Energía cinética de la estructura

$E_S$  = Energía de deformación de la estructura

$E_\xi$  = Energía disipada por amortiguamiento viscoso

$E_H$  = Energía disipada por amortiguamiento histerético

$E_E = E_K + E_S$ , es la energía de vibración lineal

$E_D = E_\xi + E_H$ , es la energía disipada

Se observa que la respuesta ante excitaciones sísmicas puede ser reducida si se limita  $E_I$  o si para un  $E_I$  dado se incrementa  $E_D$ , ya sea aumentando  $E_\xi$  o  $E_H$ , o ambos, permitiendo así la reducción de  $E_E$ .

La energía de entrada del sismo,  $E_I$ , puede ser regulada mediante el uso de sistemas aisladores de base que incluyen absorbedores de energía. Dichos aisladores hacen que disminuya la amplitud del movimiento de la estructura, o su energía cinética,  $E_K$ , mediante el traslado del periodo fundamental de la estructura lejos del periodo predominante del movimiento del suelo. El uso de estos aisladores de base está limitado, hasta ahora, para edificios relativamente bajos y construidos sobre suelo firme o roca (Kelly, 1986; Sosa, 1992; Skinner *et al.* 1993). En este estudio se propone el incremento de  $E_H$ , pero incorporando EDES con comportamiento histerético estable y que protejan, hasta cierto nivel, al sistema convencional de CR.

En general los dispositivos reductores de respuesta sísmica son conocidos como dispositivos de control estructural, y de acuerdo con su forma de trabajo se agrupan en dispositivos de control pasivo y dispositivos de control activo. Los EDES tratados aquí pertenecen a los dispositivos histeréticos de control pasivo.

Diversos dispositivos han sido propuestos y estudiados para su posible empleo en el diseño sismorresistente. Una amplia visión sobre el estado del arte y de la práctica sobre los EDES es presentado por Hanson *et al.* (1993), Jara (1994), Housner *et al.* (1997) y Ruiz (1998). A continuación se describen brevemente algunos tipos de EDES.

### **2.2.2 Disipadores de energía dependientes del desplazamiento**

Debido a que su función es de actuar ante una excitación dinámica, temblores en nuestro caso, los EDES son colocados luego de finalizar la construcción del MC o previendo que trabajen exclusivamente ante carga lateral; y con frecuencia son colocados en contravientos dentro de entrepisos. Estos dispositivos son fabricados en talleres especiales, lo que permite un buen nivel del control de sus características; además, las operaciones tanto de colocación en obra como de reemplazo posterior son relativamente sencillas.

Se encuentra en ellos un comportamiento histerético estable ante amplitudes considerables y gran número de ciclos, de manera que tienen gran capacidad de disipación de energía (Aguirre y Sánchez, 1992; Whittaker *et al.*, 1989). En dichos estudios se muestra que la condición de falla queda determinada por la fatiga del material.

Aquí se representará como bilineal a la relación fuerza-desplazamiento para comportamiento histerético de los EDES, ya que con este modelo podemos agrupar a los dispositivos más importantes como son los de fricción y los metálicos, descritos más adelante.

#### **2.2.2.1 Sistemas de fricción**

Consiste de placas con áreas en contacto, de manera que la fricción se produce en dichas superficies al desplazarse una placa con respecto a la otra al superar cierto umbral de esfuerzo. La mayoría generan ciclos histeréticos rectangulares que son característicos de la fricción de Coulomb. Estos dispositivos presentan buen comportamiento: no se ven afectados significativamente por la amplitud, frecuencia y número de ciclos de aplicación de las cargas (Hanson *et al.*, 1993), y además son resistentes a la fatiga (Aiken *et al.*, 1988).

Se diferencian por su complejidad mecánica y por los materiales usados entre las superficies en contacto. Un tipo de dispositivo fabricado por la Pall Dynamics, Ltd., fue empleado en Canadá para refuerzo sísmico en tres edificios escolares de tres niveles, y en la construcción de dos nuevos edificios, uno compuesto de dos pabellones de 6 y 10 niveles conectados por una galería y empleados para oficinas y bibliotecas, y otro de tres niveles destinados para oficinas (Pall y Pall, 1993). Otro fabricado por la Sumitomo Metal Industries, Ltd., fue empleado en dos edificios de 22 y 31 niveles en Japón en 1991 (Aiken *et al.*, 1993).

### 2.2.2.2 Sistemas histeréticos

Se aprovecha el comportamiento histerético de los metales dúctiles cuando son deformados más allá de su límite de fluencia. La resistencia de estos elementos depende de las características esfuerzo-deformación y configuración geométrica de su material. La disipación de energía puede estar asociada a diversos tipos de deformación, tal como flexión, cortante, axial, rolado por flexión, etc., dentro del intervalo inelástico.

En algunos casos se emplean placas de acero de forma triangular (o de doble triángulo), de manera que al deformarse con curvatura simple o doble (perpendicular al plano de la placa), se alcance la fluencia simultáneamente en todo el material. Estudios realizados por Whittaker *et al.* (1989), muestran que estos dispositivos pueden soportar una cantidad elevada de ciclos con amplitudes considerables sin sufrir señales de degradación. Sus resultados confirman que los EDES de placas de acero no solamente pueden emplearse en el refuerzo, sino también en la construcción de nuevos edificios en regiones con elevada sismicidad.

Un tipo de estos elementos que emplea placas de acero en forma de X (doble triángulo) es el denominado ADAS (Added Damping and Stiffness), que trabaja desarrollando doble curvatura. Estos han sido instalados en un edificio de CR no dúctil en San Francisco, como parte de su reforzamiento (Perry *et al.*, 1993). También han sido empleados en la reparación de dos edificios en la Ciudad de México dañados por los temblores de septiembre de 1985 (Martínez-Romero, 1990). Recientemente, en Acapulco, se construyeron tres torres de 28 niveles, que forman el conjunto La Joya, en donde cada torre está compuesta por marcos de acero dotados de disipadores tipo ADAS colocados en contravientos en V invertida; también en Acapulco, se construyó un edificio de cinco niveles con tal tipo de disipadores para el almacenaje temporal de autos nuevos (Martínez-Romero, 1998).

Otro, que emplea placas triangulares, similar a la mitad de una placa de ADAS, y que trabaja a curvatura simple, es el T-ADAS. Ensayes de componentes y sobre marcos, muestran también buenos resultados (Tsai y Hong, 1992; Tsai *et al.*, 1993; Pong *et al.*, 1994).

En cuanto a los dispositivos que se deforman por rolado, se han desarrollado algunos que tienen como componentes básicos elemento hechos de solera de acero, doblados en forma de U, J o en óvalo. Su comportamiento histerético ha sido estudiado por Skinner *et al.* (1975), sobre dispositivos en forma de U contruidos con soleras de acero de 12.7 mm x 76.2 mm, y en el Instituto de Ingeniería de la UNAM por Aguirre y Sánchez (1992) sobre dispositivos en forma de U, similares a los empleados por Skinner *et al.* (1995), pero contruidos con soleras de 12.7 mm x 38.1 mm. También han mostrado ser muy estables; no se han aplicado a edificios en la práctica, aunque se han

realizado pruebas experimentales, con excitaciones senoidales, sobre mesas vibratoras de un marco de una cruzía y dos niveles (Chávez y González, 1989).

### 2.2.3 Disipadores de energía dependientes de la velocidad

#### 2.2.3.1 Sistemas viscoelásticos

Tienen semejanza con los disipadores de fricción, con la diferencia de que entre las superficies metálicas que se desplazan se coloca un material viscoelástico, adherido a ambas placas metálicas. El material viscoelástico consiste usualmente de polímeros o sustancias que tienen la propiedad de disipar energía en forma de calor cuando se le deforma. El amortiguamiento se origina en el polímero, a partir de la relajación que resulta al recuperar su forma original, después de ser deformado. Esto hace que un amortiguador viscoelástico sujeto a carga axial disipe energía a través del cortante directo sobre la capa de material viscoelástico (Kasai *et al.*, 1993).

Se ha reconocido que las propiedades mecánicas del material viscoelástico dependen fuertemente de la deformación del material, de la frecuencia de excitación, así como de su temperatura, debido a la relación directa que existe entre la temperatura y el movimiento molecular del material (Nashif *et al.*, 1985).

El número y espesor de las capas, así como el área de la sección transversal del amortiguador viscoelástico, determinan el nivel de amortiguamiento proporcionado. Según estudios de Chang *et al.* (1991), sin tomar en cuenta la ubicación y cantidad de amortiguadores, en general estos dispositivos son bastante efectivos en la reducción de vibraciones excesivas de estructuras ensayadas con excitación sísmica. Sin embargo, el material viscoelástico se ablanda y la efectividad del amortiguador decrece al incrementarse la temperatura.

En Japón la Shimizu Corporation ha desarrollado un amortiguador viscoelástico con un betún, componente del caucho, el cual ha sido instalado en un edificio de 24 niveles, que forma parte de una pareja de torres gemelas, para obtener su respuesta sísmica y compararla con la otra, que no tiene amortiguamiento (Yokota *et al.*, 1992).

En Santa Fe, al oeste de la ciudad de México, en 1998 se construyó un edificio de cinco niveles compuesto por marcos convencionales de acero y disipadores viscoelásticos 3M (Miranda *et al.*, 1998)

#### 2.2.3.2 Sistemas viscosos

Estos aprovechan el tránsito de un elemento dentro de un fluido viscoso. Su comportamiento, lineal e independiente a un amplio intervalo de temperatura

(40°C a 70°C), son dos características favorables para su aplicación ante excitaciones sísmicas.

Un dispositivo de este tipo es el amortiguador viscoso estudiado por Constantinou y Symans (1992). Este emplea el amortiguador viscoso que opera bajo el principio del tránsito de un flujo de fluido a través de un orificio. El dispositivo consiste de un pequeño cilindro lleno de aceite de silicón, y que encierra a un pistón de acero inoxidable cuya cabeza presenta orificios. Sus ensayos mostraron la inexistencia de rigidez para el movimiento del pistón con frecuencias menores de alrededor de 4 Hz. Este hecho es considerado como una virtud en un elemento disipador de energía, debido a que se puede proporcionar amortiguamiento viscoso adicional para el primer modo, así como rigidez y amortiguamiento viscoso para los modos superiores, lo que conduce a reducciones importantes de la respuesta estructural.

En la ciudad de México se construyó, en el 2002, la Torre Mayor, que consta de 55 niveles, con un total de 98 disipadores Taylor, 74 amortiguadores de 280 toneladas en elementos diagonales y 24 amortiguadores de 570 ton en los macro contraventeos exteriores (Taylor, 2003).

Además, durante los últimos cinco años, en otras partes del mundo se han construido más de 15 edificios con dispositivos viscosos Taylor (Taylor, 2003), entre los que se destacan: El edificio Intercentro, construido en Santo Domingo en el 2002, de 44 niveles con marcos de acero dotados de 48 dispositivos viscosos; el edificio Jimbo Oro, construido en Tokio entre los años de 2001 y 2002, dotado de 241 dispositivos; el Buddhist Headquarters, construido en Taipei el año 2002, de 17 niveles y 60 disipadores, y el Taishin Bank Taiwán, construido en Taipei el 2001, de 14 niveles y 144 disipadores.

## 2.3 ÍNDICES DE DAÑO

El conjunto de daños locales afectará el comportamiento del sistema estructural. Un incremento de los daños hará que la confiabilidad de la estructura disminuya. Si un indicador de daño local nos informa que una sección crítica de un elemento ha sufrido una reducción de su resistencia, no podemos afirmar que el sistema esté cerca a la falla o necesite reparación. Pero si un indicador de daño global nos informa de la cercanía al colapso o a un estado umbral previamente establecido para su reparación, el sistema debe ser reparado, cualquiera que sea el estado de los daños locales, que a su vez servirán para determinar los costos de mantenimiento o reparación. Entonces es preciso el empleo de estos indicadores de daño: índices de daño local e índice de daño global. Para estructuras de concreto reforzado se ha desarrollado un número considerable de índices de daño locales y globales. Algunos índices de daño global son generales y se pueden aplicar a cualquier tipo de edificios. Amplia información al respecto se puede encontrar en Chung *et al.* (1987), Díaz

(1991), y en Williams y Sexsmith (1995). La última referencia presenta un estado del arte sobre índices de daño sísmico para estructuras de concreto reforzado.

### 2.3.1 Índices de daño local

Se ha observado que ante carga cíclica, las secciones críticas de las vigas y columnas de concreto reforzado ensayados muestran un comportamiento histerético, que a su vez presenta degradación de rigidez y de resistencia, donde tal degradación depende de la amplitud de la deformación en cada ciclo de carga y del número de ellos. Esto hace pensar que si queremos proponer un modelo de índice de daño local, debido a la acción sísmica, éste debe estar integrado con un correspondiente modelo de comportamiento histerético. Así, tendremos entonces un **modelo de comportamiento histerético y de daño**.

Entre los modelos de daño asociados a modelos de comportamiento histerético están los siguientes:

#### 2.3.1.1 Modelo de Park y Ang

Llamado también modelo de los tres parámetros. Se caracteriza por presentar una variedad de propiedades histeréticas obtenidas por la combinación de una curva esquelética trilineal y tres parámetros, que determinan la degradación de rigidez, el deterioro de la resistencia y el comportamiento del angostamiento de los ciclos debido al cortante y adherencia. Con ciertos valores de estos parámetros se pueden representar algunos modelos de comportamiento histerético conocidos, como el de Clough Modificado y el de Takeda Modificado, lo que muestra su versatilidad para representar otros modelos (Park y Ang, 1985; Park *et al.*, 1987; Kunnath *et al.*, 1990).

El índice de daño en los extremos del elemento considerado es

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \quad (2.2)$$

donde  $\delta_M$  = deformación máxima durante la excitación;  $\delta_u$  = deformación última bajo carga monótonica creciente;  $Q_y$  = resistencia a la fluencia calculada;  $dE$  = incremento de energía absorbida;  $\beta$  = parámetro no negativo. Valores de  $D \geq 1.0$  corresponden al colapso o daño total (Park y Ang, 1985).

Se observa un trabajo muy importante por el empleo de gran cantidad de información experimental; por ejemplo para el cálculo del índice  $\beta$  se emplearon 261 especímenes, de vigas y columnas, encontrándose un coeficiente de variación del 60% (Park y Ang 1985).



### 2.3.1.2 Modelo de Wang y Shah

Este modelo se presenta con mayor detalle debido a que sirvió de inspiración para desarrollar un nuevo modelo. Wang y Shah (1987) presentan un modelo de comportamiento histerético con degradación de rigidez y resistencia (Fig. 2.1). Muestran un parámetro ( $\beta$ ) que acumula las amplitudes máximas alcanzadas en cada ciclo ( $x_i$ ), normalizada con respecto a la amplitud de falla ante carga monotónica ( $x_F$ ), siendo  $\beta = c \sum (x_i / x_F)$ . Proponen un índice de daño ( $D$ ) cuya razón de cambio con respecto a  $\beta$  es proporcional al daño presente ( $dD/d\beta = nD$ ), de donde obtienen que  $D = [\exp(n\beta) - 1] / [\exp(n) - 1]$ , siendo  $n$  y  $c$  constantes por ajustar. El índice de daño es función de  $\beta$  tal que  $D = f(\beta)$ ,  $f(0) = 0$ ,  $f(1) = 1$ . Existe un valor de  $D$  y  $\beta$  para cada dirección en la que se deforma el elemento, y el colapso de la sección ocurre cuando  $D = 1$ .

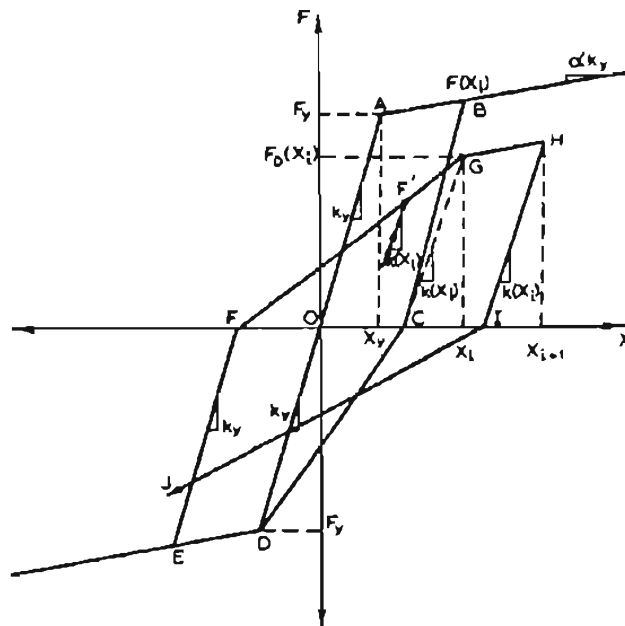


Figura 2.1 Modelo de Wang y Shah (1987)

El daño es expresado en términos de una disminución en la capacidad de carga de fluencia del elemento. La reducción en esta resistencia de fluencia (desde el punto B al punto G en la Fig. 1) puede ser escrita como  $F_D(x_i) = F(x_i)(1 - D)$ , donde  $x_i$  es el máximo desplazamiento de la estructura durante el  $i$ -ésimo ciclo y  $F(x_i)$  es la carga correspondiente sobre la curva esquelética. Así la resistencia a la fluencia es reducida en su capacidad desde  $F(x_i)$  (punto B) hasta  $F_D(x_i)$  (punto G) después que ha experimentado el daño  $D$ .

Lo favorable de este modelo es su simplicidad que hace atractivo su empleo en programas de computadora, pero como sus propios autores lo dicen, puede ser mejorado.

Se observan algunos aspectos importantes que pueden ser decisivos en si se emplea o no el modelo. Un aspecto es que el punto de fluencia en cualquier ciclo queda fijado por el máximo desplazamiento alcanzado en el ciclo anterior, lo cual parece que sobrestima el daño, ya que en diversos experimentos se ha observado que el punto mencionado siempre aparece para deformaciones mayores que la máxima alcanzada previamente (Ma *et al.*, 1976).

### 2.3.1.3 Modelo de Chung, Meyer y Shinozuka (1987)

Su índice de daño local combina la regla de Miner modificada por factores aceleradores del daño que reflejan el efecto de la historia de cargas y considera el hecho de que los miembros de concreto reforzado responden en forma diferente a momentos positivos y negativos.

Las curvas histeréticas presentan una curva esquelética bilineal modificada y su relación momento curvatura se caracteriza por presentar cinco clases de rama: carga y descarga elástica, carga inelástica, descarga inelástica, recarga inelástica durante el cierre de grietas, y recarga inelástica después del cierre de grietas.

## 2.3.2 Índices de daño global

De estos índices no se espera nos den información de la distribución de daños locales presentes en el edificio, pero sí deben informarnos de la confiabilidad de éste. A continuación se presentan algunos de ellos.

### 2.3.2.1 Índice de Roufaiel y Meyer

El índice de daño global,  $D_{global}$ , de Roufaiel y Meyer (1987) está dado por:

$$D_{global} = \frac{\delta_m - \delta_y}{\delta_f - \delta_y} \quad (2.3)$$

donde,  $\delta_m$  =desplazamiento máximo de la azotea;  $\delta_y$  = desplazamiento en la azotea para el cual el cualquier miembro en el marco alcanza la fluencia por primera vez, suponiendo que el marco se desplaza en su primer modo;  $\delta_f$  = desplazamiento en la azotea para el cual falla el marco. Los autores definen a la falla como un desplazamiento excesivo de la azotea, cuando  $\delta_m \geq \delta_f$ . Un problema importante es establecer criterios para determinar  $\delta_f$ .

### 2.3.2.2 Índice del Máximo Ablandamiento

DiPasquale y Cakmak (1988), desarrollaron un criterio basado en la evolución del periodo natural de un sistema lineal que varía en el tiempo, equivalente a un sistema real no-lineal dentro de una serie de ventanas en el tiempo que no se traslapan. De acuerdo con este criterio, el daño se mide por

$$\delta_M = 1 - \frac{T_0}{T_{\max}} \quad (2.4)$$

donde:  $\delta_M$ =ablandamiento máximo,  $T_0$ =periodo natural inicial,  $T_{\max}$ =máximo periodo natural del sistema lineal equivalente.

### 2.3.2.3 Índice propuesto por Ye, S. X.

Ye (1996) considera el cambio del periodo fundamental como un indicador del deterioro global de la estructura, el que se define como

$$D_T = \frac{T_f - T_0}{T_u - T_0} \quad (2.5)$$

donde:  $T_f$ = periodo fundamental final,  $T_0$ = periodo fundamental inicial,  $T_u$ = periodo último alcanzado en un estado límite definido.

## 2.4 TIPO DE ESTUDIO

En 1924, el profesor sueco Carl Forsell, ya había establecido que una estructura debe ser construida de manera que su costo total, que incluye el costo inicial, costos de mantenimiento, etc., y los valores esperados de los costos de falla, debe ser mínimo. Este importante postulado y el artículo completo de Forsell fueron reproducidos en inglés por Lind (1970) como el prólogo de las memorias del primer seminario de Mecánica de Sólidos que se llevó a cabo en la Universidad de Waterloo en 1969.

Rosenblueth (1986) menciona que la tarea del diseñador es la de optimizar; que diseñar para una confiabilidad fijada intuitivamente es casi tan arbitrario como diseñar para un factor de seguridad fijado intuitivamente; que los esfuerzos para mejorar el cálculo de confiabilidades de diseños propuestos son loables pero estériles a menos que se considere el paso adicional de optimizar la confiabilidad del diseño asociado con varios estados límites potenciales; que una meta más realista no es el establecimiento de diseños confiables sino diseños óptimos.

Al respecto y sobre el tema de modelos de decisión que traten estructuras con EDES como el que se ha desarrollado en el presente trabajo, es poco lo que se ha publicado. Las principales publicaciones son producto de trabajos que se están realizando en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Esteva, 1993; Esteva y Díaz, 1993(a) y (b); Esteva *et al.*, 2002).

## 2.5 REGLAMENTACIÓN VIGENTE SOBRE EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON EDES

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, emitidas por el

Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2004), establecen que cuando se adopten dispositivos especiales capaces de disipar energía por amortiguamiento o comportamiento inelástico, podrán emplearse criterios de diseño sísmico que difieran de los allí especificados, pero congruentes con ellos, si se demuestran a satisfacción de la Administración tanto la eficacia de los dispositivos o soluciones estructurales como la validez del amortiguamiento y del factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ) que se propongan; con respecto a este último factor, la anterior NTCDS emitida por el Departamento del Distrito Federal (DDF,1995) se refiere al factor reductor de las fuerzas sísmicas con fines de diseño ( $Q'$ ) que se propongan. Ambas versiones de las NTCDS no mencionan explícitamente que se debe demostrar que la estructura logre el mismo nivel de seguridad implícito en las normas.

## CAPÍTULO 3

# Planteamiento del Problema

### 3.1 PLANTEAMIENTO GENERAL

En este trabajo, el diseño de un edificio con dispositivos disipadores de energía en zonas de sismicidad elevada se establece en términos de un espectro lineal de diseño sísmico y de un conjunto de parámetros, que incluyen un factor de reducción del espectro de diseño y un criterio de distribución de las contribuciones del MC y del conjunto de EDES para resistir las fuerzas cortantes en distintas zonas del sistema combinado.

Las características de la estructura y su comportamiento ante una historia sísmica dada dependen del valor de los *parámetros empleados para su diseño*. Esto significa que la presencia de daños en la estructura, en el MC y en los EDES, y por lo tanto los costos de reparación, dependerán también de dichos parámetros. En consecuencia, el costo total a largo plazo (C), que incluye el costo inicial, los costos de mantenimiento, los costos de remplazo de EDES, y los costos de reparación y reconstrucción del sistema, será función de dichos parámetros de diseño.

Cada uno de los elementos componentes de un edificio con EDES puede sufrir deterioro en sus propiedades mecánicas después de la ocurrencia de un evento sísmico intenso. El daño se acumulará a los daños sufridos debido a

sismos anteriores. Para cuantificarlos se emplea aquí un modelo desarrollado por Campos y Esteva (1997a) para describir y evaluar los niveles de daño y el comportamiento histerético de los elementos de CR y un modelo de comportamiento histerético bilineal y de daño por fatiga para los EDES. También se presentan dos índices globales, uno emplea la degradación de rigidez lateral de entrepiso e indica la cercanía al colapso de la estructura y otro que representa el daño global del sistema y emplea como medida la distorsión de entrepiso. Si el nivel de daño en la estructura supera un cierto nivel, el cual depende de la política de mantenimiento que se adopte, dicha estructura debe repararse. La reparación debe eliminar el daño acumulado; es decir, debe restituir las propiedades iniciales de resistencia y rigidez de cada entrepiso, conservándose las relaciones iniciales entre los EDES y el MC.

En la búsqueda de los valores de los parámetros de diseño asociados al C óptimo, puede optarse por uno de dos planteamientos que no son equivalentes. En el planteamiento A, se considera la acción de un solo temblor de intensidad dada, calificado como severo, y se establece la condición de confiabilidad óptima minimizando la suma de valores esperados de costos de construcción y costos de daños y posibles fallas. En el planteamiento B, se considera la posible ocurrencia de diversos temblores en el futuro, con intensidades y tiempos de ocurrencia descritos en términos de su distribución conjunta de probabilidades, y la optimización se establece a largo plazo, incluyendo, además de los costos iniciales, los de posibles fallas, los de mantenimiento y reparación del MC, así como los de mantenimiento y reemplazo de los EDES.

Para fines del presente estudio, se designaran como **variables de control** a aquellos parámetros de diseño que definen las propiedades mecánicas de las estructuras o las políticas de reparación y mantenimiento, tanto del MC como de los EDES.

### 3.2 VARIABLES DE CONTROL

Las variables de diseño consideradas más importantes, llamadas aquí *variables de control*, que afectan el comportamiento de los edificios dotados con EDES, son:

a) La relación,  $r_K$ , entre la rigidez lateral del elemento disipador de energía,  $k_d$ , y la rigidez total,  $k$ , en cada entrepiso del edificio. Se considera que  $r_K$  puede variar en la altura del edificio.

$$r_K = \frac{k_d}{k} \quad (3.1)$$

b) La relación ( $\lambda$ ) entre el desplazamiento de fluencia del disipador,  $\delta_{yd}$ , y el desplazamiento de fluencia del MC,  $\delta_{yc}$ , de cada entrepiso. También es importante su variación en la altura del edificio.

$$\lambda = \frac{\delta_{yd}}{\delta_{yc}} \quad (3.2)$$

c) El factor de ductilidad,  $\mu$ , correspondiente al espectro de pseudoaceleraciones inelástico del temblor de diseño empleado. En la Fig. 3.1 se presentan los espectros de diseño promedio y normalizados con respecto a la intensidad espectral (Ec. 3.5), para una familia de acelerogramas con propiedades estadísticas similares a las del registro obtenido en el estacionamiento de la SCT, componente EW, del 19 de septiembre de 1985.

d) La política de mantenimiento y reparación del MC, y de mantenimiento y reemplazo de los EDES. En la práctica, un criterio de aplicación de la política de reemplazo de EDES es considerar cierto tiempo para ello, que a su vez dependerá de los tiempos de ocurrencia de los temblores actuantes sobre el edificio. Otra podría ser considerando la intensidad de los temblores sucesivos. Debe tenerse en cuenta que los disipadores de los niveles inferiores podrían dañarse más rápidamente que los superiores.

Se pueden emplear otras variables que se relacionan con las anteriores; por ejemplo, la relación,  $r_R$ , entre la resistencia lateral del disipador,  $R_d$ , y la resistencia lateral total,  $R$ , de cada entrepiso.

$$r_R = \frac{R_d}{R} = \frac{\lambda r_K}{1 + (\lambda - 1) r_K} \quad (3.3)$$

Si se toma un mismo desplazamiento lateral máximo de entrepiso, para el MC y el EDE, se encuentra que la relación entre sus ductilidades es

$$\varepsilon = \frac{\mu_d}{\mu_c} = \frac{1}{\lambda} \quad (3.4)$$

donde  $\mu_d$  y  $\mu_c$  son las ductilidades a desplazamiento lateral del EDE y del MC en el entrepiso considerado, respectivamente.

### 3.3 ESPECTROS DE DISEÑO

Los espectros de diseño propuestos corresponden al promedio de la familia de acelerogramas mencionada en el punto 3.2(c). Cada espectro presentado en la Fig. 3.1 es el promedio de cinco espectros de aceleraciones normalizados en términos de la intensidad espectral definida por la Ec 3.5, derivada a partir de la intensidad espectral de Housner (1970) empleando la aceleración seudoespectral.

$$I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} T Sa(T, \xi) dT \quad (3.5)$$

Aquí,  $Sa(T, \xi)$  es la ordenada espectral de aceleraciones correspondiente al periodo  $T$ , para un amortiguamiento  $\xi = 0.05$  y  $T_1 = 3.5$  s para temblores correspondientes a terreno blando.

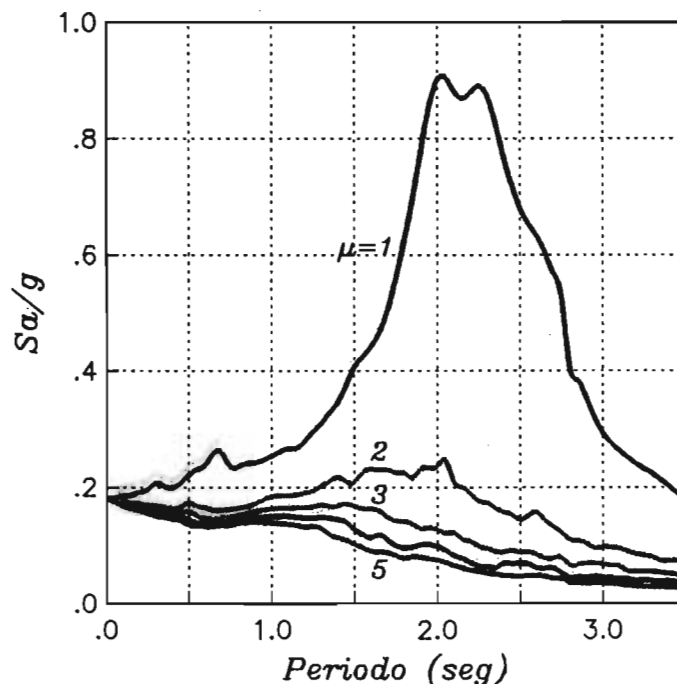


Figura 3.1 Espectros de diseño.

La normalización consiste en igualar las intensidades de los espectros elásticos de los sismos simulados con la intensidad del temblor registrado, lo que implica afectar ordenadas las ordenadas de dichos espectros por un factor de reducción. Los espectros inelásticos normalizados, con una ductilidad especificada, son obtenidos afectando sus ordenadas espectrales por tales factores de reducción, y el promedio de ellos es el correspondiente espectro inelástico normalizado de diseño (Fig. 3.1).

### 3.4 ANÁLISIS

Con las herramientas disponibles y desarrolladas, como son el modelo de comportamiento histerético y de daño, los modelos de índice de daño local y de colapso global, y el modelo de sismicidad que se muestran en el Cap. 4, el método de diseño de los marcos que se muestra en el Cap. 5, y el modelo de daño, basado en las distorsiones de los entrepisos, mostrado en el Cap. 8, podemos realizar una serie de análisis y diseño de sistemas con diferentes características. Estas características estarán dadas por los valores que tomen las variables de control. Por lo tanto, se van a

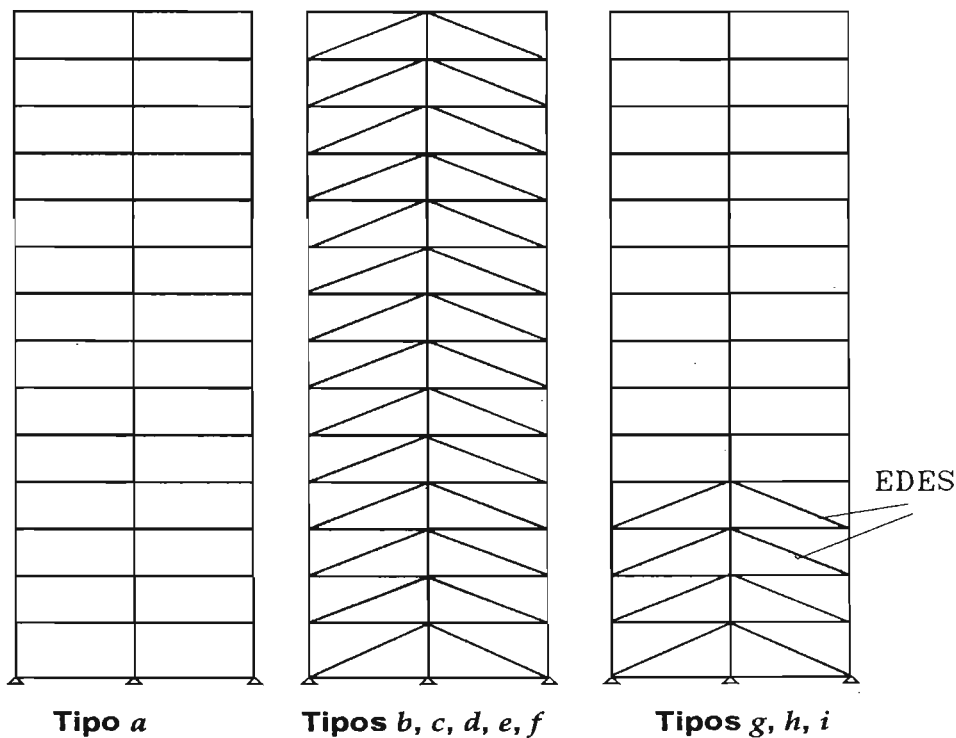


plantear grupos de estos de manera que nos muestren sus tendencias cuando queremos acercarnos al sistema más económico.

Se plantean dos tipos de análisis. Después del análisis tipo T1, en donde se somete a cada marco a eventos sísmicos fuertes de la misma intensidad, podremos decidir sobre qué grupo de marcos trabajamos con los análisis del tipo T2 (Sección 3.4.2)

### 3.4.1 Variables iniciales por estudiar

En la Fig. 3.2 se muestran los marcos estudiados. Son marcos planos de catorce niveles y dos crujiás, con altura de entrepiso de tres metros, a excepción de la planta baja que mide 3.5 metros, y ancho de crujiá de 7.0. Los EDES están colocados en serie con elementos de contraviento. Estas construcciones están ubicadas en la zona del lago de la ciudad de México.



**Figura 3.2 Configuración de los marcos estudiados.**

Sobre los sistemas mencionados se aplican un grupo de valores asignados a las variables de control, como se muestra:

- A) Factor de ductilidad del espectro inelástico de diseño sísmico, A1:  $\mu=4$ , A2:  $\mu=5$  (ver Fig. 3.1)
- B) La relación  $r_K=k_d/k$ , B0:  $r_K=0.0$ , B1:  $r_K=0.25$ , B2:  $r_K=0.5$  (Ec. 3.1)

- C) La relación  $\lambda = \delta_{yd}/\delta_{yc}$ , C1:  $\lambda = 0.5$ , C2:  $\lambda = 1.0$  (Ec. 3.2)  
 D) Variación de  $r_K$  y de  $\lambda$  en la altura, D1: uniforme, D2: blando abajo  
 E) Política de mantenimiento, E0: no hay, E1: sí hay.

Las combinaciones de las variables de control por emplear dieron como resultado el uso de nueve tipos de marco, los cuales se presentan en la tabla 3.1. Los marcos fueron diseñados con el método propuesto en el Cap. 5. En dicha tabla aparece el periodo fundamental, resultante del diseño, de cada marco. La última columna de la tabla 3.1 muestra un factor de seguridad (FS) que se le agregó al diseño por cortante para los pisos superiores que no tienen disipadores de los marcos  $g$ ,  $h$  e  $i$ .

**Tabla 3.1 Características de los marcos estudiados**

Tipo	Niveles con EDES	Periodo (s)	$r_K$	$\lambda$	$\mu$	FS
<i>a</i>	Ninguno	1.46	--	--	4	--
<i>b</i>	Todos	1.48	0.25	0.5	4	--
<i>c</i>	Todos	1.49	0.25	0.5	5	--
<i>d</i>	Todos	1.48	0.50	0.5	4	--
<i>e</i>	Todos	1.55	0.50	0.5	5	--
<i>f</i>	Todos	1.44	0.50	1.0	5	--
<i>g</i>	Cuatro	1.41	0.50	1.0	5	1.0
<i>h</i>	Cuatro	1.41	0.50	1.0	5	1.1
<i>i</i>	Cuatro	1.41	0.50	1.0	5	1.2

### 3.4.2 Tipos de análisis

#### 3.4.2.1 T1: para varios eventos sísmicos de la misma intensidad

Se emplean diez eventos sísmicos, uno registrado y los otros nueve simulados. En este caso se emplearon acelerogramas simulados con propiedades equivalentes a las del temblor registrado en el estacionamiento de la SCT, componente EW, del 19 de septiembre de 1985, con el método descrito por Alamilla (1996).

Al final de este análisis se seleccionan los marcos con mejor desempeño para emplearlos, posteriormente, en el estudio sobre la solución más económica a largo plazo.

### **3.4.2.2 T2: para varias simulaciones de una historia sísmica de 100 años**

Se usan cinco historias de temblores, los cuales contienen entre 4 y 7 eventos cada una (ver tabla 7.2). Más adelante, en la sección 4.4, se presenta el modelo de sismicidad que genera estas cinco historias.

### **3.4.3 Series de estudio**

Se realizan grupos de análisis denominadas series de estudio con la finalidad de observar la influencia que tienen las variables de control en las respuestas sísmicas. Se emplea la nomenclatura mostrada en la Secciones 3.4.1 y 3.4.2.

Las primeras tres series de análisis se realizan con diez simulaciones de temblores e igual número de marcos con propiedades mecánicas y geométricas aleatorias, y cargas inciertas.

#### **3.4.3.1 Serie 1: Para comparar la influencia de la ductilidad**

Se realizan análisis tipo T1, considerando C1 ( $\lambda = 0.5$ ) y D1 ( $r_K$  y  $\lambda$  uniformes en la altura) y se hace variar la ductilidad de diseño empleando A1 ( $\mu=4$ ) y A2 ( $\mu=5$ ), en los marcos B1 ( $r_K=0.25$ ) y B2 ( $r_K=0.5$ ). Se analizan los siguientes casos:

- (B0, A1)= Marco *a*
- (B1, A1)= Marco *b*
- (B1, A2)= Marco *c*
- (B2, A1)= Marco *d*
- (B2, A2)= Marco *e*

#### **3.4.3.2 Serie 2: Para observar la influencia de la relación de desplazamientos de fluencia del marco y disipador $\lambda$**

Se realizan análisis tipo T1, considerando A2 ( $\mu=5$ ), B2 ( $r_K=0.5$ ) y D1 ( $r_K$  y  $\lambda$  uniformes en la altura) y se hace variar  $\lambda$  empleando C1 ( $\lambda = 0.5$ ) y C2 ( $\lambda = 1.0$ ); es decir, se analizan los siguientes marcos:

- Marco *e*
- Marco *f*

#### **3.4.3.3 Serie 3: Para observar la influencia de la relación de rigideces**

Se realizan análisis tipo T1, considerando C1 ( $\lambda = 0.5$ ) y D1 ( $r_K$  y  $\lambda$  uniformes en la altura). En un caso con A1 ( $\mu=4$ ) y se hace variar la relación de rigideces empleando B1 ( $r_K=0.25$ ) y B2 ( $r_K=0.5$ ). En otro caso considerando A2 ( $\mu=5$ ) y con la misma variación de rigideces. Se analizan los siguientes casos:

(A1, B0)= Marco *a*

(A1, B1)= Marco *b*

(A1, B2)= Marco *d*

y

(A2, B1)= Marco *c*

(A2, B2)= Marco *e*

**3.4.3.4 Serie 4: Para observar la influencia de la Variación de  $r_K$  y de  $\lambda$  en la altura**

Se realizan análisis tipo T1, considerando A2 ( $\mu=5$ ), B2 ( $r_K=0.5$ ) y C2 ( $\lambda=1.0$ ), con D1 (con disipadores en todos los entrepisos) y D2 (blando abajo: con disipadores en los cuatro primeros pisos). Se analizan los siguientes marcos:

Marco *f*

Marco *g*

Marco *h*

Marco *i*

**3.4.3.5 Serie 5: Para observar la respuesta de los marcos seleccionados con historias de temblores y sin mantenimiento**

Se realizan análisis tipo T2 con E0 (sin mantenimiento).

**3.4.3.6 Serie 6: Para observar la respuesta de los marcos seleccionados con historias de temblores con mantenimiento**

Se realizan análisis tipo T2 con E1 (con mantenimiento). Se aplican cuatro criterios de mantenimiento.

## CAPÍTULO 4

# Modelos Analíticos Empleados

### 4.1 MODELO DE COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO Y DE DAÑO PARA VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

#### 4.1.1 Antecedentes

Debido a la necesidad de contar con herramientas confiables para el análisis de la respuesta no lineal de sistemas de CR compuestos de vigas y columnas ante excitación sísmica, se crea un nuevo modelo de comportamiento histerético asociado al daño sufrido por los elementos de CR e inspirado en el modelo de Wang y Shah (1987), modificado con base en información experimental sobre curvas histeréticas de sistemas de vigas en voladizo, ensayados en laboratorio. Este modelo pretende mejorar algunos modelos empleados para la evaluación del daño en elementos de concreto reforzado y fue construido a partir de datos experimentales (Ma *et al.*, 1976; Wang y Shah, 1987; Townsend y Hanson, 1977; Scribner y Wight, 1978; Uzumeri, 1977). Se logró un modelo simple (Campos y Esteva, 1997a) y para su aplicación fue incorporado al programa computadora DRAIN-2D (Kanaan y Powell, 1973; Powell, 1973 y 1975) como un nuevo elemento.

Se considera que en los extremos de los miembros estructurales de un marco de concreto reforzado pueden ocurrir deformaciones angulares

concentradas cuando se alcanzan localmente las capacidades en flexión de dichos miembros. Estas concentraciones de deformación angular se representan mediante articulaciones plásticas, caracterizadas por las leyes constitutivas que relacionan sus deformaciones angulares con los momentos que actúen sobre ellas. Cada ciclo de carga produce sobre la articulación una nueva deformación, un incremento de daño, y por ende un deterioro de sus propiedades de rigidez y resistencia. En consecuencia, el daño sufrido por un elemento dado se considera concentrado en su extremo y depende de la historia de deformaciones locales a la que haya estado sometido dicho extremo. Teniendo en cuenta la proporcionalidad que se presenta en las Ecs. 4.1 y 4.2 entre la deformación angular de la articulación plástica y la curvatura media a lo largo de ella, se puede obtener relaciones momento vs rotación a partir de datos experimentales que presentan la relación momento-curvatura del comportamiento histerético.

El estado del daño local se reflejará en el comportamiento del sistema estructural, afectando las rigideces y las resistencias de los entrepisos así como las propiedades del sistema en su conjunto, y por ende sobre su confiabilidad ante eventos posteriores. Para tomar decisiones oportunas sobre mantenimiento y reparación de la estructura será necesario contar con modelos que sirvan para realizar estimaciones confiables de la distribución de daños acumulados ante la acción de uno o más temblores.

#### 4.1.2 Curva envolvente o esquelética

El comportamiento histerético de los elementos presenta ciertos patrones característicos; uno de ellos es que las curvas de carga y descarga se mantienen por debajo de la curva momento-curvatura obtenida con carga monotónica creciente. Esta curva, que llamaremos "envolvente", se presenta tanto para el momento positivo como para el negativo. En la Fig. 4.1(a) se muestra un diagrama idealizado momento-curvatura ante carga monotónica. En él se distinguen los puntos de fluencia  $(\phi_Y, M_Y)$  y de falla  $(\phi_F, M_F)$ . Esta curva simplificada de momento-curvatura es transformada a una curva envolvente de momento-rotación plástica  $(\theta)$ , mediante las relaciones

$$\theta = lp(\phi - \phi_Y) \text{ para } \phi_Y \leq \phi \leq \phi_F \quad (4.1)$$

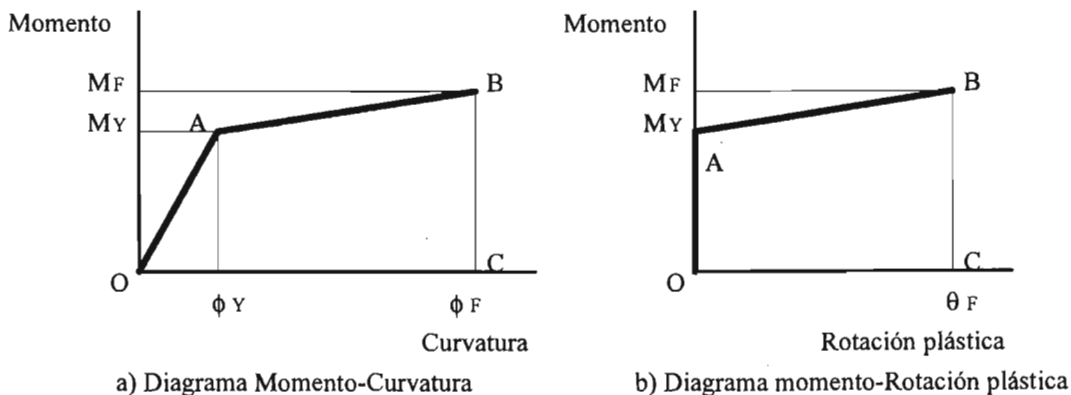
y

$$\theta_F = lp(\phi_F - \phi_Y) \quad (4.2)$$

Estas ecuaciones consideran que en el modelo se supone que no se presenta daño para el intervalo elástico de las deformaciones (Fig. 4.1(b)). En ellas,  $\phi_Y$  y  $\phi_F$  son las curvaturas de fluencia y de falla respectivamente,  $lp$  es la longitud de articulación plástica que se considera constante en cada extremo, y  $\theta_F$  es la rotación plástica de falla. En el cálculo del momento flector resistente se considera el efecto del confinamiento en el concreto, con

la relación esfuerzo deformación de Kent y Park Modificado (Park *et al.*, 1982), y el endurecimiento por deformación para el acero de refuerzo. Se considera que el endurecimiento por deformación del acero de refuerzo se inicia con una deformación de  $\varepsilon_{sh}=0.01$  y que el acero llega a la ruptura cuando su deformación alcanza  $\varepsilon_{su}=0.13$ .

En el cálculo de la curva momento-curvatura envolvente, obtenida con carga monótonica creciente, se considera la posible falla por pandeo del acero longitudinal mediante el criterio del doble módulo o módulo reducido, se toma en cuenta la separación de los estribos y el diámetro de la barra longitudinal. Asimismo, se considera la falla del refuerzo transversal lo que se traduce en pérdida de confinamiento, en donde se emplea el criterio de Scott *et al.* (1982) para evaluar la deformación en el concreto confinado con que se presenta la falla en el estribo. Estudios (Rodríguez y Hoyos, 2004; Rodríguez y Botero, 1997) sobre el modo de falla de pandeo del acero de refuerzo longitudinal en elementos de CR sometidos a carga cíclica o acción sísmica no fueron incorporados al modelo de comportamiento histerético y de daño empleado en este trabajo.



**Figura 4.1 Curvas envolventes**

### 4.1.3 Modelo de daño

El deterioro de los elementos debido a la acción de carga cíclica se manifiesta como una disminución de su rigidez y de su capacidad resistente, la que se asocia a una formación progresiva de articulaciones plásticas en sus extremos. La Fig. 4.3 representa la función momento vs rotación plástica para una de tales articulaciones. En la rama de carga inicial la función pasa por los tramos OA y Ab, correspondiendo el punto  $b=(\theta_b, M_b)$  a la máxima amplitud, para luego descargarse y cargarse en sentido contrario. En la primera recarga positiva, la curva va desde  $f$  hacia  $g$ , pasando por el punto  $f'=(\theta_f, M_f)$  donde se manifiesta el deterioro y se observan las siguientes relaciones

$$\theta_{f'} = \theta_b \tag{4.3}$$

$$M_{f'} = (1 - \varepsilon) M_b \tag{4.4}$$

donde  $\varepsilon$  representa el deterioro debido al daño acumulado en la sección, como consecuencia de la historia de carga anterior.

Las amplitudes máximas de cada ciclo y el número de ellos influyen en el deterioro de la resistencia y rigidez de las secciones críticas del elemento. Por esa razón se define un Índice de Daño ( $\varepsilon$ ), que está en función de un parámetro de Daño Acumulado ( $D$ ), que toma en cuenta las amplitudes acumuladas. Estas variables se definen así:

$$D = \sum \frac{\theta}{\theta_F} \tag{4.5}$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-\alpha D} \tag{4.6}$$

en donde  $\alpha$  es una constante de ajuste,  $0 \leq \varepsilon \leq 1$  y  $\varepsilon = 1$  si  $\theta = \theta_F$ . En la figura 4.2 se muestran valores medidos del índice de daño sobre diferentes diagramas histeréticos de vigas ensayadas por otros investigadores (Ma *et al.*, 1976; Wang y Shah, 1987; Townsend y Hanson, 1977; Scribner y Wight, 1978; Uzumeri, 1977) y la curva ajustada por mínimos cuadrados (Ec. 4.6), para la que corresponde un  $\alpha = 0.0671$ . En el modelo de daño local no se tomó en cuenta la dispersión que se observa en la Fig. 4.2.

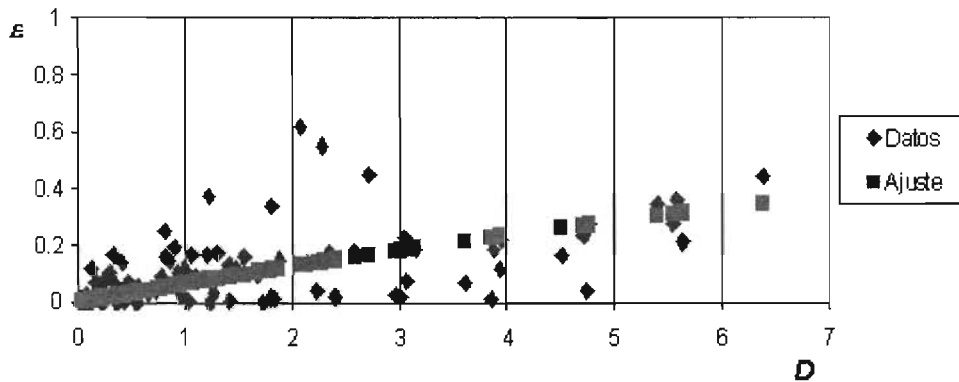


Figura 4.2 Ajuste del índice de daño  $\varepsilon$ .

#### 4.1.4 Reglas del modelo de comportamiento histerético ( $M-\theta$ )

El desarrollo del comportamiento histerético (Fig. 4.3) está controlado por las siguientes reglas, donde las rotaciones están referidas a rotaciones plásticas o de posfluencia:

TRAMO OA: Mientras  $M < M_Y$ ,  $\theta = 0$ .



TRAMO *Ab*: Cuando  $M > M_Y$  se continúa por la curva envolvente *AB*.

TRAMO *bc*: Cuando la sección se descarga,  $\theta = \theta_b$ , donde *b* es el punto máximo alcanzado en el ciclo, y  $D_b = \theta_b / \theta_F$ .

TRAMO *fg*: Se fija un punto *f'*, entre *f* y *g*, y sobre la recta de descarga *bc*.  $f' = (\theta_{f'}, M_{f'})$ ,  $\theta_{f'} = \theta_b$ ,  $M_{f'} = [1 - \varepsilon(D_b)]M_b$ ,  $\varepsilon = 1 - \exp(-\alpha \cdot D_b)$ . Si desde el punto *f* se supera al punto *f'* se puede alcanzar a la envolvente *AB* en *g* y continuar por ella (tramo *gh*) hasta *h*, donde se inicia la siguiente descarga.

TRAMO *hi*: La descarga es similar al tramo *bc*, y  $D_h = D_b + \theta_h / \theta_F$ .

TRAMO *lm*: Se debe pasar por  $l' = (\theta_{l'}, M_{l'})$  obtenida como *f'*.

$\theta_{l'} = \theta_h$ ,  $M_{l'} = [1 - \varepsilon(D_h)]M_h$ . Si *m* no alcanza la envolvente, no habrá cambio de pendiente.

TRAMO *mn*: Descarga similar a *bc*,  $D_m = D_h + \theta_m / \theta_F$ .

TRAMO *pq*: Se define  $p' = (\theta_{p'}, M_{p'})$ , de forma similar a los puntos *f'* y *l'*, sobre el tramo *mn* de descarga.  $\theta_{p'} = \theta_m$ ,  $M_{p'} = [1 - \varepsilon(D_m)]M_{m^o}$ , donde  $M_{m^o}$  corresponde a la envolvente. *q* no superó *p'*.

TRAMO *qs*: Descarga similar a *bc*.  $D_q = D_m + \theta_q / \theta_F$ .

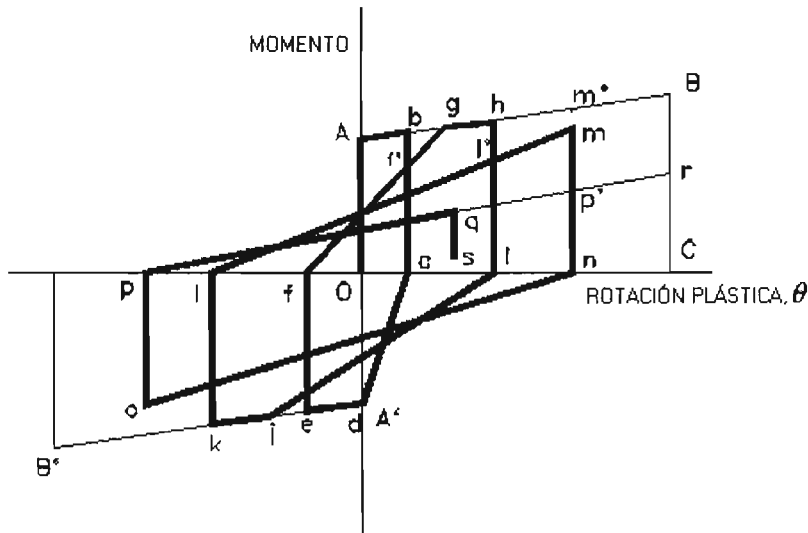


Figura 4.3 Modelo de comportamiento histerético.

TRAMO *pr*: En el ciclo anterior no se superó la rotación  $\theta_m$ , no se cruzó el tramo *mn*. La recarga *pq* podría superar *p'*, y alcanzaría a la envolvente en *r*, tramo *BC* donde  $\theta = \theta_F$ , perdiéndose totalmente la capacidad de resistir momento positivo ( $\varepsilon = 1$ ); la curva descenderá, entonces, desde *r* hasta *C*.

Se considera que una deformación incrementa el daño solo si en la correspondiente descarga el momento cambia de signo. Por ej. en la Fig. 4.3,

si en  $s$  hay una recarga positiva, la curva regresaría hacia  $q$  y continuaría después hacia  $p'$ , sin que  $D$  y  $\varepsilon$  sufran modificaciones debido a la descarga  $qs$ .

Como se observa, deben considerarse dos índices de daño para cada articulación, uno para el momento positivo y otro para el negativo.

## 4.2 ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA

### 4.2.1 Colocación y tipo

En general, los EDES se instalan como elementos externos al MC, y ligados a este mediante elementos rigidizantes que trabajan en tensión o compresión. Es frecuente colocarlos en contravientos dentro de entresijos, como en el presente estudio (Fig. 3.2). Estos dispositivos son fabricados en talleres especiales, lo que permite un buen control de sus características. Se espera de ellos comportamiento histerético estable ante un número elevado de ciclos de gran amplitud de deformación, lo que les permite tener gran capacidad de disipación de energía. La condición de falla puede ser determinada mediante ensayos en laboratorio. Diversos dispositivos han sido propuestos y estudiados para su posible empleo en el diseño sismorresistente.

Aquí se emplea el disipador tipo U, cuyas características de comportamiento han sido estudiadas por Aguirre y Sánchez (1992). Con base en tales estudios se adopta una relación fuerza vs desplazamiento bilineal para representar su comportamiento histerético, con una relación entre la segunda pendiente y la rigidez inicial del disipador igual a 0.03.

### 4.2.2 Curva de fatiga

Dadas las características que se buscan para este tipo de elemento, y con base en la evaluación de diferentes disipadores, se considera que presentan comportamiento histerético estable ante un número elevado de ciclos de carga, y que fallan exclusivamente por fatiga, según una ley de comportamiento fuerza-deformación bilineal. La curva de fatiga, deformación normalizada ( $\xi_i$ ) vs número de ciclos a la falla ( $N_i$ ) adoptada aquí, se obtuvo a partir de las pruebas experimentales hechas por Aguirre y Sánchez (1992) con disipadores tipo U. Se considera que el tipo de comportamiento que se supuso para el modelo representa las características generales que debe tener un disipador que se quiera utilizar para el diseño sísmico de edificios.

Con base en los datos experimentales, se propone para la curva de fatiga la expresión

$$N_i = \exp \left\{ 120.753 \left( \xi_i^{-0.01997} - 1 \right) \right\} \quad (4.7)$$

en donde  $\xi_i$  es la relación entre la  $i$ -ésima amplitud y la amplitud a la falla para un ciclo, cuyo valor de ajuste es 15.28 cm.

### 4.2.3 Índice de fatiga

El nivel de deterioro del EDE, hasta el  $n$ -ésimo ciclo de vibrar, esta dado por el índice de fatiga

$$\delta_D = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N_i} \quad (4.8)$$

que alcanza la unidad para la condición de falla del EDE. En adelante  $f_d$  será llamado índice de daño del EDE.

### 4.2.4 Empleo ante ciclos irregulares

Para tomar en cuenta la irregularidad de las oscilaciones cuando se trata de carga sísmica se corrigen las amplitudes alcanzadas y el correspondiente número de ciclos a la falla, mediante el método *contador de intervalos*, el cual, según Collins (1993) es muy adecuado para procesos de banda angosta como son los sismos de la zona del lago del Distrito Federal. Este consiste en dividir la historia de  $\xi$  en el tiempo en una serie de intervalos, donde cada intervalo es la diferencia entre picos sucesivos de las amplitudes. Para cada intervalo se considera un medio ciclo con amplitud igual a la mitad del intervalo medido.

## 4.3 ÍNDICE DE COLAPSO GLOBAL Y CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL

### 4.3.1 Índice de colapso global

Es conveniente presentar un indicador que esté relacionado con la cercanía al colapso de la estructura con la finalidad de seleccionar un grupo de estructuras que tengan mejor respuesta sísmica.

Se propone un nuevo índice de colapso global para la estructura,  $D_k = \text{Max}\{D_{ki}; i=1, \dots, n\}$ ; donde  $D_{ki}$  puede expresar, en general, el índice de colapso asociado con su  $i$ -ésimo modo de falla. Para los marcos en estudio, de  $n$  entrepisos,  $D_{ki}$  indica la degradación de la rigidez lateral del  $i$ -ésimo entrepiso. Sean  $k_i$  y  $k_{fi}$  las rigideces laterales tangente inicial y secante del entrepiso  $i$  para la máxima amplitud de la deformación de entrepiso durante el movimiento. Se define

$$D_{ki} = \frac{k_i - k_{fi}}{k_i}, \quad 0 \leq D_{ki} \leq 1 \quad (4.9)$$

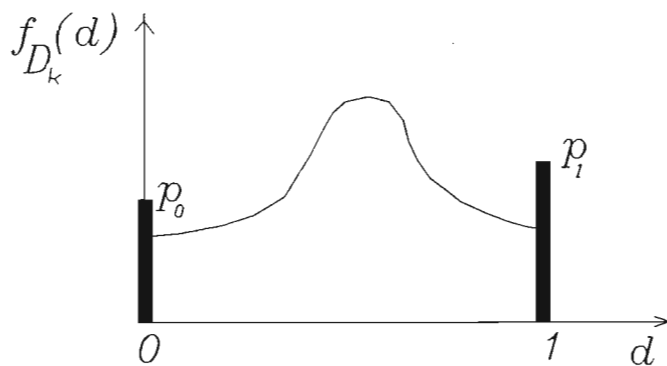
La probabilidad de falla de la estructura bajo la acción de un sismo dado será igual a la probabilidad de que el máximo valor de  $D_{ki}$ ,  $D_k$ , sea mayor o igual a 1.

Se observa la importancia de  $D_k$ , dado que para valores elevados expresa la cercanía del colapso de la estructura. El valor del índice  $D_{ki}$  es consecuencia de la degradación de la rigidez y resistencia de sus correspondientes elementos, vigas y columnas, en cuyos modelos de comportamiento histerético y de daño se empleó información experimental (ver Sección 4.1.3).

**4.3.2 Definición de un índice de confiabilidad a partir de un conjunto de valores del Índice de Daño,  $D_k$**

$D_k$  es un número que puede variar entre 0 y 1, y su función de densidad de probabilidades es de la forma mostrada en la Fig. 4.5. En ella se observan dos concentraciones de probabilidad:  $p_0$  es la probabilidad de que el daño sea nulo y  $p_1$  es la probabilidad de que ocurra el colapso. Se tiene que satisfacer la condición

$$p_0 + \int_0^1 f_D(d) dd + p_1 = 1 \tag{4.10}$$



**Figura 4.5 Distribución de  $D_k$ .**

Se supone que se tiene otra variable,  $Q$ , que puede variar entre  $-\infty$  e  $\infty$ , y que se relaciona con  $D_k$  de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} D_k &= 0 \text{ si } Q \leq 0; \\ D_k &= Q \text{ si } 0 < Q < 1; \\ D_k &= 1 \text{ si } Q \geq 1 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Esto implica lo siguiente, en donde  $F_Q(u) = P [Q \leq u]$

$$\begin{aligned}
p_0 &= F_Q(0) \\
p_1 &= 1 - F_Q(1) \\
f_{D_k}(d) &= f_Q(d) \quad \text{para } 0 < D = Q < 1
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Se supone que  $f_Q(\cdot)$  es una función de forma conocida y parámetros desconocidos, y se tiene una muestra de  $N$  valores de  $D_{k_i}$  de los cuales  $N_0$  son iguales a 0,  $N_1$  son iguales a 1, y  $N - N_0 - N_1$  están comprendidos entre 0 y 1. Sean  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$  los parámetros de  $f_Q(\cdot)$ , que interesa determinar. Esto puede lograrse con el criterio de maximizar la función de verosimilitud,  $L(d_1, d_2, \dots, d_N)$ , con respecto a los parámetros  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ .

$$L(d_1, \dots, d_N; \alpha_1, \dots, \alpha_M) = [F_Q(0; \alpha_1, \dots, \alpha_M)]^{N_0} [1 - F_Q(1; \alpha_1, \dots, \alpha_M)]^{N_1} \prod_{j=1}^{N - N_0 - N_1} f_Q(d_j; \alpha_1, \dots, \alpha_M) \tag{4.13}$$

Para obtener los parámetros  $\alpha$ , se establece un conjunto de ecuaciones simultáneas, derivando  $L$  con respecto a cada uno de dichos parámetros e igualando a cero:

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, M \tag{4.14}$$

La otra posibilidad es ir dando distintos valores a los  $\alpha_i$  y determinar la combinación de dichos valores para que  $L$  resulte máxima.

Por ejemplo, suponiendo que  $f_Q(d)$ , de la Ec. 4.13, es normal con parámetros  $\alpha_1 = m$  y  $\alpha_2 = \sigma$ , entonces

$$f_Q(d; m, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{d-m}{\sigma} \right)^2} \tag{4.15}$$

$F_Q(d)$  puede calcularse mediante una expresión aproximada:

$$F_Q(d; m, \sigma) = \Phi \left( \frac{d-m}{\sigma} \right) \tag{4.16}$$

en donde  $\Phi$  es la distribución normal estándar, con media y desviación estándar 0 y 1 respectivamente.

Si

$$\varphi(u) = \frac{d\Phi(u)}{du} \tag{4.17}$$

entonces, para calcular  $F_Q(d; m, \sigma)$  aprovechamos la expresión siguiente, válida para  $u > 0$

$$\Phi(-u) = \frac{\varphi(u)}{u} \left( 1 - \frac{1}{u^2} + \frac{1 \times 3}{u^4} - \frac{1 \times 3 \times 5}{u^6} + \dots \right) + \varepsilon \quad (4.18)$$

en donde  $|\varepsilon|$  es menor que el valor absoluto del primer término que se desprecia.

La falla se presenta si  $Q > 1$ . A fin de poder determinar el índice de seguridad  $\beta$ , es necesario obtener una expresión para el margen de seguridad  $Z$ , tal que la falla está dada por la condición  $Z < 0$ . Esto se logra haciendo  $Z = 1 - Q$ . Entonces, la condición de  $Q > 1$  corresponde a la condición  $Z < 0$ . Designando por  $m_Q$ ,  $m_Z$ ,  $\sigma_Q$  y  $\sigma_Z$  a las medias y desviaciones estándar de  $Q$  y  $Z$ , respectivamente, el índice de seguridad ( $\beta$ ) está dado como sigue:

$$\beta = \frac{m_Z}{\sigma_Z} \quad (4.19)$$

en donde

$$\begin{aligned} m_Z &= 1 - m_Q \\ \sigma_Z &= \sigma_Q \end{aligned} \quad (4.20)$$

## 4.4 MODELO DE SISMICIDAD PARA LA ZONA III DEL DISTRITO FEDERAL

### 4.4.1 Función de densidad de probabilidades de las intensidades

El valor esperado de la tasa de ocurrencia de sismos con intensidades mayores o iguales a un valor  $y$  dado, puede ser expresado por una función de la forma

$$\begin{aligned} v(y) &= K y^{-r} [1 - (y/y_M)^\varepsilon], \text{ para } y \leq y_M \\ v(y) &= 0 \quad \text{para } y \geq y_M \end{aligned} \quad (4.21)$$

A partir de las curvas de tasa de excedencia de intensidades presentadas en Esteva *et al.* (1988) se ajustaron los parámetros  $r$ ,  $K$  y  $\varepsilon$  de la ecuación presentada. Para la aceleración espectral máxima en el terreno blando del D.F.,  $r=1.3058$ ,  $K=228.3269$ ,  $\varepsilon=0.75$ ,  $y_M=1600$  gal.

Si a  $y_0$ , intensidad mínima que debe considerarse para el análisis de daños, le corresponde la tasa de excedencia media  $v_0$ , la f.d.p. de las intensidades es

$$f_y(y) = \frac{rK}{v_0} y^{-r-1} + \frac{(\varepsilon-r)K}{y_M^\varepsilon v_0} y^{\varepsilon-r-1}, \quad y \leq y_M \quad (4.22)$$

#### 4.4.2 Tiempo entre sucesos

Se considera que la ocurrencia de eventos significativos tiene lugar según un proceso de Poisson

$$p_N(n) = \frac{(v_0 t)^n e^{-v_0 t}}{n!} \quad (4.23)$$

Las funciones de densidad de probabilidades del tiempo  $T_1$ , desde que comienzan las observaciones hasta el primer evento, y del intervalo  $T$  entre la ocurrencia de dos eventos sucesivos, son iguales:

$$f_{T_1}(t) = f_T(t) = v_0 e^{-v_0 t} \quad (4.24)$$

#### 4.4.3 Acelerogramas artificiales

Para cada intensidad sísmica, aceleración espectral máxima, determinada a partir de la Ec. 4.22 se obtiene su correspondiente acelerograma artificial. Los acelerogramas fueron simulados con el método propuesto por Alamilla (1996), en donde las características del movimiento del terreno son representadas por medio de un proceso estocástico no estacionario modulado en amplitud y frecuencia. Además, en este modelo las propiedades evolutivas tales como duración, amplitud y contenido de frecuencias del temblor se consideran inciertas, dependientes de las características de fuente, como son la magnitud y distancia al foco sísmico.

## CAPÍTULO 5

# Metodología de Diseño

### 5.1 ECUACIONES BÁSICAS

A partir de las variables de control, definidas anteriormente (Sección 3.2), se deduce el siguiente grupo de ecuaciones básicas:

$$\alpha = \frac{r_K}{1-r_K} = \frac{k_d}{k_c} \quad (5.1)$$

$$\beta = \lambda\alpha = \frac{R_d}{R_c} \quad (5.2)$$

donde  $k_c$  y  $R_c$  son la rigidez y la resistencia laterales de entrepiso del MC. Se tendrá entonces

$$k = k_c + k_d = k_c(1 + \alpha) \quad (5.3)$$

y

$$R = R_c + R_d = R_c(1 + \beta) \quad (5.4)$$

y para la superposición de ambos sistemas se debe lograr



$$\mu = \frac{\delta_M}{\delta_Y} = \frac{\delta_M k}{R} \quad (5.5)$$

donde  $\delta_Y$  y  $\delta_M$  son los desplazamientos relativos de fluencia y máximo del entrepiso respectivamente, para el sistema combinado (MC+EDES).

Con respecto a la sollicitación de diseño, contamos con espectros normalizados de aceleraciones (ver Fig. 3.1), elástico e inelástico con ductilidad  $\mu$ , ambos para un amortiguamiento del 5%. Para un periodo especificado  $T$ , se encuentra que la ordenada correspondiente al espectro de aceleraciones elástico es  $S_e(T)$ , mientras que la ordenada correspondiente al espectro de aceleraciones inelástico es  $S(\mu, T)$ ; y como factor reductor  $Q(\mu, T)$  de la ordenada espectral elástica que conduce a una ductilidad  $\mu$ , para estructuras con periodo natural  $T$ , se obtiene

$$Q(\mu, T) = \frac{S_e(T)}{S(\mu, T)} \quad (5.6)$$

y una relación

$$\gamma = \frac{Q}{\mu} \quad (5.7)$$

## 5.2 DISEÑO

En las Secciones 5.2.1 y 5.2.2 se describe el procedimiento de diseño de los marcos con EDES. El diseño de marcos sin disipadores se realiza con el mismo procedimiento. En el Apéndice A se muestran los diseño de los marcos seleccionados en el Cap. 6.

### 5.2.1 Etapa preliminar

a) Dados como condiciones de diseño las variables de control  $r_K$ ,  $\lambda$  de las Ecs. 3.1 y 3.2, y la ductilidad  $\mu$  del espectro de diseño, obtenemos los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  mediante las Ecs. 5.1 y 5.2.

b) En concordancia con las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo (DDF, 1995; GDF, 2004b), se emplea un desplazamiento relativo máximo de entrepiso  $\delta_M$  que satisfaga la siguiente condición

$$\delta_M \leq 0.012 h \quad (5.8)$$

donde  $h$  es la altura de entrepiso.

c) Se estima el periodo fundamental del edificio de  $n$  niveles, por ejemplo con  $T=0.10 n$  y la correspondiente ordenada espectral  $S_e(T)$ ; según el método estático de diseño sísmico se obtienen las fuerzas sísmicas para cada nivel del

edificio y la correspondiente fuerza cortante de diseño,  $R_e$ , sin reducir por ductilidad.

Empleando la Ec. 5.7, se obtiene el correspondiente cortante reducido por ductilidad ( $R$ ) como sigue:

$$R = \frac{R_e}{Q} = \frac{R_e}{\gamma \mu} \quad (5.9)$$

donde se reemplaza  $\mu$  de la Ec. 5.5

$$R = \frac{R_e R}{\gamma \delta_M k}$$

de donde se obtiene

$$k = \frac{R_e}{\gamma \delta_M} \quad (5.10)$$

Se reemplaza  $k$  de la Ec. 5.3 en 5.10, y se despeja  $k_c$ , de donde

$$k_c = \frac{R_e}{\gamma \delta_M (1 + \alpha)} \quad (5.11)$$

Por otra parte, combinando las ecuaciones 5.4 y 5.9, se encuentra

$$R_c = \frac{R_e}{Q(1 + \beta)} \quad (5.12)$$

Las Ecs. 5.11 y 5.12 definen las rigideces y resistencias del MC requeridos en cada entrepiso, cuyos valores se mantienen hasta el diseño definitivo.

e) Mediante las fórmulas de Wilbur, que calculan las rigideces laterales de marcos planos, se obtienen las dimensiones preliminares de los elementos del MC, mediante una operación inversa; es decir, dada la rigidez lateral por entrepiso de un marco, se calculan las dimensiones de los elementos que lo componen.

### 5.2.2 Diseño definitivo

A pesar de conocer las variables de diseño, no se pueden definir directamente las propiedades de los miembros de cada uno de los sistemas, de manera que se satisfagan los valores de rigideces y resistencias determinados arriba. Esto se debe a que las deformaciones axiales de las columnas alteran significativamente los valores que resultan de los modelos simplificados que se usan en la práctica, que ignoran tales deformaciones.

Ante carga lateral, cada entrepiso del edificio presentará dos desplazamientos significativos. Primero, un desplazamiento horizontal

relativo de entrepiso ( $\delta_H$ ). Segundo, una rotación como cuerpo rígido ( $\theta$ ), debido al alargamiento y acortamiento de las columnas. Entonces, la deformación de entrepiso se define por:

$$\delta = \delta_H - \theta h \quad (5.13)$$

donde  $h$  = altura del entrepiso.

El siguiente es el procedimiento para obtener las dimensiones finales de los elementos.

- a) Se realiza el cálculo de la deformación del entrepiso como indica la Ec. 5.13
- b) Se obtiene una nueva rigidez lateral ( $k_a$ ) para cada entrepiso del MC, así

$$k_a = \frac{R_c}{\delta} \quad (5.14)$$

- c) Se comparan las rigideces de cada entrepiso mediante el coeficiente

$$c_k = \frac{k_c}{k_a} \quad (5.15)$$

Si  $c_k$  está dentro de lo permisible, definido por

$$|c_k - 1| \leq \varepsilon \quad (5.16)$$

las dimensiones de los elementos serían las adecuadas. En esta ecuación  $\varepsilon$  es la tolerancia especificada.

- d) Si no se satisface la Ec. 5.16, se procede a multiplicar la rigidez de cada elemento por el coeficiente  $c_k$ . Con las nuevas dimensiones de los elementos se repiten los pasos anteriores.
- e) Si se satisface la Ec. 5.16, se incluyen los EDES con sus respectivas dimensiones y procede al diseño, según el RCDF93.
- f) Los EDES son diseñados exclusivamente para carga lateral.

## CAPÍTULO 6

# Análisis de la Respuesta Ante un Temblor de Intensidad Dada

### 6.1 INTRODUCCIÓN

En esta primera etapa se estudia la influencia de las variables de control sobre el comportamiento sísmico de los sistemas o tipos de marcos mostrados en la Tabla 3.1 considerando un temblor de intensidad elevada. Al final, se seleccionan a aquellos sistemas y variables de control con mejor desempeño para emplearlos, en una segunda etapa, en el estudio sobre la solución más económica a largo plazo.

Con la finalidad de determinar la influencia de los diferentes parámetros empleados en el diseño sobre la respuesta sísmica, y de seleccionar los marcos con mejor desempeño se agruparon algunas estructuras en series de análisis. En cada serie se varía un parámetro mientras los otros permanecen constantes como se explica en la Sección 3.4.3.

Entonces, se cuenta con nueve sistemas con características distintas (ver Fig. 3.2), diseñados según las variables indicadas en la Tabla 3.1

sometidos a la acción de un temblor calificado como fuerte. El Apéndice A muestra con mayor detalle el diseño obtenido para cada sistema.

Dentro del análisis probabilista se consideran como variables aleatorias a las características constitutivas (mecánicas) del concreto y del acero de refuerzo, a la geometría de la sección transversal y recubrimientos de los elementos de CR, a la resistencia y capacidad de los EDES, a las cargas muertas y vivas, y también al temblor actuante. Los modelos empleados en cada caso se muestran en el Apéndice B.

Para esta primera etapa de estudio se planteó realizar las primera tres series de análisis (ver Sección 3.4.3). De cada tipo de marco se reproducen 10 realizaciones estocásticas mediante el método de Monte Carlo. Del temblor fuerte también se reproducen 10 realizaciones, con la finalidad de que a cada realización de un tipo de marco le corresponda una realización distinta del temblor fuerte. Esto significa que se manejan un total de 90 análisis, empleando 10 temblores simulados.

Como temblores de intensidad elevada se emplearon acelerogramas simulados con propiedades equivalentes a las del temblor registrado en el estacionamiento de la SCT, componente este-oeste, del 19 de septiembre de 1985.

En cuanto a los resultados, el Apéndice C reúne los valores de los índices de daño por entrepiso,  $D_k$  (Ec. 4.9), de cada una de las diez realizaciones de cada sistema. Los promedios de dichos índices de daño y para cada tipo de marco son reunidos en la Tabla 6.1.1 y la versión gráfica de estos promedios se presenta en la Fig. 6.1.

La Fig. 6.2 es un complemento de la Fig. 6.1, ya que allí se muestra la ductilidad alcanzada,  $\mu_{ki}$ , o demandada por el temblor fuerte en el  $i$ -ésimo entrepiso ( $i = 1, 2, 3, \dots, 14$ ). La ductilidad allí mostrada es aproximada a partir de suponer que cada entrepiso tiene una relación bilineal entre el desplazamiento lateral relativo y fuerza cortante. Empleando las rigideces inicial y secante mínima de la Ec. 4.9 se obtiene como demanda de ductilidad (Díaz *et al.*, 1994) siguiente:

$$\mu_{ki} = \frac{k_i}{k_{fi}} \quad (6.1)$$

Y la relación con el índice de daño  $D_k$  es:

$$\mu_{ki} = \frac{1}{1 - D_{ki}} \quad (6.2)$$

**Tabla 6.1 Promedio del índice de daño  $D_k$  para cada tipo de marco que agrupan a las series 1, 2 y 3 descritos en la Sección 3.4.3 (ver Fig. 6.1).**

Entrepiso	TIPOS DE MARCO								
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
14	0.121	0.122	0.112	0.033	0.094	0.008	0.390	0.214	0.107
13	0.179	0.063	0.055	0.080	0.089	0.029	0.466	0.297	0.185
12	0.261	0.119	0.156	0.079	0.082	0.047	0.524	0.391	0.269
11	0.340	0.183	0.257	0.160	0.097	0.064	0.579	0.478	0.345
10	0.386	0.236	0.361	0.195	0.134	0.062	0.602	0.519	0.397
9	0.438	0.307	0.454	0.224	0.255	0.080	0.598	0.547	0.435
8	0.468	0.377	0.492	0.298	0.347	0.199	0.590	0.565	0.461
7	0.483	0.413	0.515	0.327	0.413	0.291	0.552	0.559	0.484
6	0.497	0.441	0.535	0.388	0.446	0.315	0.500	0.543	0.492
5	0.520	0.456	0.541	0.412	0.463	0.433	0.440	0.507	0.493
4	0.521	0.455	0.519	0.432	0.503	0.437	0.237	0.376	0.387
3	0.493	0.442	0.471	0.449	0.426	0.394	0.182	0.300	0.387
2	0.427	0.358	0.373	0.370	0.317	0.255	0.023	0.109	0.225
1	0.322	0.287	0.301	0.294	0.317	0.369	0.066	0.176	0.313
<b>Total</b>	<b>5.456</b>	4.259	5.142	<b>3.742</b>	3.984	<b>2.984</b>	5.750	5.580	<b>4.981</b>

## 6.2 INFLUENCIA DEL EMPLEO DE EDES

### 6.2.1 Comparación de los marcos *a*, *b* y *d*, diseñados con $\mu=4$

La Fig. 6.1 presenta el índice de daño por entrepiso para el MC de cada sistema. Allí, como en la fila "Total" de la Tabla 6.1, se observa que los MC de los tipos *b* y *d*, sufren claramente menos daño que el *a*.

### 6.2.2 Comparación entre el marco *a* ( $\mu=4$ ) con los marcos *e* y *f* (ambos diseñados con $\mu=5$ )

Tanto el *e* como el *f*, presentan un notorio mejor comportamiento que el marco *a*.

### 6.2.3 Otras comparaciones

Se puede decir que el marco *c* tiene un comportamiento equivalente al del marco *a*, que no tiene disipadores (Fig. 6.1). En forma equivalente, se observa que el marco sin EDES y el marco tipo *c* sufren las mayores demandas de ductilidades (Fig. 6.2) que los sistemas con EDES en todos los entrepisos.

### 6.3 INFLUENCIA DE LA RELACIÓN DE RIGIDECES EN LOS SISTEMAS CON EDES

Diseñados con los mismos valores de  $\mu=4$  y  $\lambda=0.5$ , los sistemas *b* y *d*, con  $r_K$  igual 0.25 y 0.50 respectivamente, muestran que cuando es relativamente mayor la rigidez del disipador, mejor es la respuesta del MC (Figs. 6.1 y 6.2), aunque las dimensiones de los elementos de CR sean menores en el sistema *d*, con mayor  $r_K$  ( $=0.50$ ). Esto indica que en el sistema *d*, los EDES tienen mayor eficiencia. Entre los sistemas *c* ( $\mu=5$ ,  $\lambda=0.5$ ,  $r_K=0.25$ ) y *e* ( $\mu=5$ ,  $\lambda=0.5$ ,  $r_K=0.5$ ), se presenta la misma tendencia.

### 6.4 INFLUENCIA DE LAS DUCTILIDADES DE DISEÑO EN LOS SISTEMAS CON EDES

#### 6.4.1 Comparación entre los marcos tipos *b* y *c*, ambos diseñados con $r_K=0.25$ y $\lambda=0.5$

Se encuentra (Figs. 6.1 y 6.2) que el MC del sistema *b* ( $\mu=4$ ) tiene mejor respuesta que el *c* ( $\mu=5$ ). Lo mismo se muestra entre los sistemas *d* y *e* ( $r_K=0.50$ ). En ambos casos es bastante apreciable la diferencia.

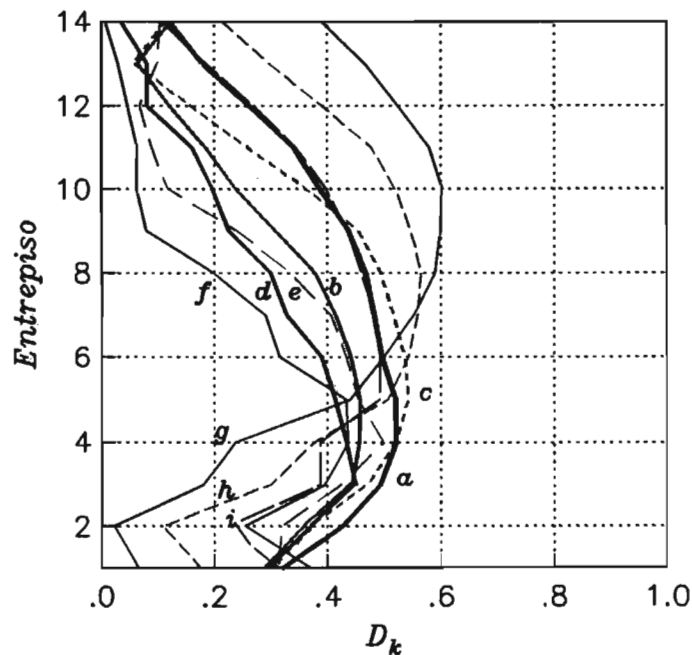


Figura 6.1 Promedio del índice de daño por entrepiso para cada tipo de marco.

## 6.5 INFLUENCIA DE LA RELACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DE FLUENCIA ( $\lambda$ )

Manteniendo constante los valores de  $r_K=0.50$  y  $\mu=5$ , correspondientes a los sistemas  $e$  y  $f$ , se aprecia que cuando mayor es  $\lambda$ , mejor es la respuesta. Además, el sistema  $f$  presenta mejor comportamiento que el sistema  $d$ , lo cual es algo muy importante porque muestra que la relación de desplazamientos de fluencia influye significativamente en la respuesta. Los ciclos histeréticos correspondientes al marco  $f$  proporcionan mayor disipación de energía.

## 6.6 SISTEMAS CON PISO BLANDO

Se estudiaron tres casos ( $g, h, i$ ) con disipadores hasta el cuarto entrepiso y diseñados de manera que la resistencia de los pisos superiores tengan un factor de seguridad ( $FS$ ) para carga lateral de  $1.0, 1.1$  y  $1.2$  veces mayor que los pisos inferiores que contienen disipadores (Tabla 3.1). El sistema diseñado con mayor factor de seguridad, sistema  $i$ , tiene mejor respuesta sísmica que los sistemas  $g$  y  $h$ , y su comportamiento es similar al del sistema  $f$  en los primeros entrepisos, mientras que los daños en los pisos superiores son similares a los del marco  $a$ .

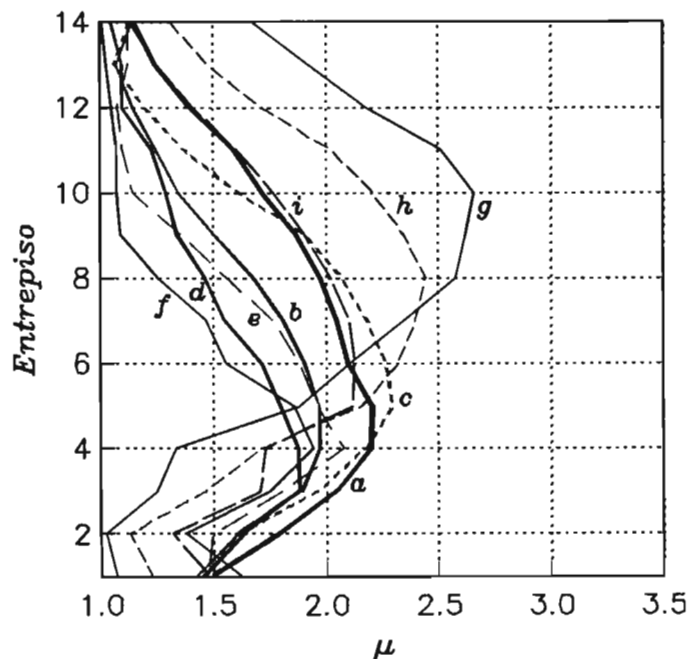


Figura 6.2 Promedio de la demanda de ductilidad por entrepiso para cada tipo de marco.



## 6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS ANÁLISIS DE RESPUESTA ANTE TEMBLORES DE INTENSIDADES DADAS

Los resultados mostrados inducen a las siguientes conclusiones:

- a) Para las variables de diseño utilizadas, los sistemas combinados (MC+EDES) tienen mejor respuesta que el sistema sin disipadores. Esto significa que si se diseñan dos sistemas con la misma fuerza cortante, uno con disipadores y otro sin ellos, el sistema con disipadores sufrirá menos daño que el sistema sin disipadores. En otras palabras, para lograr daños equivalentes, el sistema sin disipadores debe ser diseñado para una fuerza cortante mayor.
- b) Los MC correspondientes a  $\mu=4$ , y  $\lambda=0.5$ , muestran mejor respuesta que el sistema sin EDES. Es apreciable la diferencia, principalmente cuando se emplea  $r_K=0.5$ .
- c) Los sistemas con EDES diseñados con  $\mu=5$  presentan un comportamiento adecuado y mejoran notoriamente cuando se emplea  $\lambda=1.0$ .
- d) Dos buenas alternativas de diseño, para sistemas con EDES, corresponden al empleo de las variables  $\mu=4$ ,  $\lambda=0.5$ , y  $r_K=0.5$ , que caracterizan al sistema *d*, y de  $\mu=5$ ,  $\lambda=1.0$ , y  $r_K=0.5$ , correspondientes al sistema *f*. Entre estos dos, el sistema *f* presenta un mejor comportamiento. Además, si consideramos sistemas con piso blando, se debe tomar en cuenta la alternativa correspondiente al sistema *i*. Se recomienda principalmente el uso de los parámetros empleados para *d* y *f*.
- e) Se recomienda trabajar con los sistemas *d*, *f* y *i* en la segunda etapa, para evaluar los costos a largo plazo, para decidir sobre las variables de control que generen sistemas que mejor cumplan con los requisitos de seguridad y economía a largo plazo.
- f) La Tabla 6.1 refuerza la decisión tomada en el inciso (e) de la siguiente manera: Si los costos de reparación se consideran proporcionales a los daños y al costo inicial de la estructura, entonces los marcos resultan más económicos son los marcos tipo *d* y *f*; Además, siguiendo ese razonamiento, considerando los tres casos de marcos con planta baja blanda, el sistema *i* resulta más económico. La Tabla 6.1 muestra la fila de "Total" que es la suma de los índices de daño de todos los entrepisos de cada sistema, allí se aprecia, en letras más oscuras, los totales a los correspondientes a los sistemas seleccionados. El marco tipo *a* es seleccionado con fines de referencia.

# CAPÍTULO 7

## Estudio a Largo Plazo sin Considerar Mantenimiento

### 7.1 INTRODUCCIÓN

En las etapas de análisis a largo plazo se estudian los sistemas con disipadores  $d$ ,  $f$  e  $i$ , los cuales tuvieron mejor respuesta en la primera etapa. En el estudio se agrega el marco  $a$  para que sirva de referencia. La Tabla 7.1 muestra las características de diseño de los cuatro sistemas seleccionados.

Tabla 7.1. Tipos de marcos seleccionados para los estudios a largo plazo.

Tipo	Niveles con EDES	$r_K$	$\lambda$	$\mu$	FS
$a$	Ninguno	--	--	4	--
$d$	Todos	0.50	0.5	4	--
$f$	Todos	0.50	1.0	5	--
$i$	Cuatro	0.50	1.0	5	1.2

En esta segunda etapa se realizan dos casos de análisis. En el primer caso, que se desarrolla en el presente capítulo, se evalúan las repuestas sísmicas sin considerar ningún tipo de mantenimiento ni reparación en los

marcos; no se ha considerado el mantenimiento de las estructuras, a fin de observar las tendencias del comportamiento a largo plazo. En el segundo caso, que se verá en el Capítulo 8, sí se aplican los costos de mantenimiento y reparación de daños y sus consecuencias.

El lapso de tiempo considerado para evaluar el estudio a largo plazo es de 100 años, tiempo suficiente para establecer una buena toma de decisiones, ya que dicho lapso de tiempo se estima como vida útil del edificio y que, para tiempos mayores la función de valor presente se hará cada vez más despreciable.

## 7.2 HISTORIAS DE TEMBLORES

Se consideran cinco historias simuladas de temblores que cubren el lapso de tiempo de 100 años. Estas fueron generadas, en intensidad y tiempos de ocurrencia, aplicando el método de Monte Carlo a las Ecs. 4.22 y 4.24. Las historias, nombradas como historia a, b, c, d y e, resultaron con 7, 7, 4, 6 y 5 temblores, respectivamente, tal como se aprecia en la Tabla 7.2. Cada tipo de marco, mediante el empleo de cinco realizaciones, es sometido a las cinco historias de temblores, aplicando una historia de temblores a cada realización. Cada intensidad que se muestra en la Tabla 7.2 corresponde a la aceleración espectral máxima de un acelerograma artificial a la cual estará sujeta la estructura.

**Tabla 7.2 Historias de sismos en 100 años. Zona del lago. Intensidad correspondiente a la máxima aceleración espectral ( $\xi=0.05$ )**

Historia	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5	Evento 6	Evento 7	
<b>a</b>	745	1148	528	1250	1568	828	1237	cm/s <sup>2</sup>
	1.31	3.94	16.76	23.94	53.79	66.81	71.02	Años
<b>b</b>	406	607	703	541	468	427	518	cm/s <sup>2</sup>
	28.42	40.06	44.84	47.36	57.73	72.64	76.67	Años
<b>c</b>	571	732	934	429	--	--	--	cm/s <sup>2</sup>
	24.19	28.68	85.60	88.68	--	--	--	Años
<b>d</b>	1449	594	1284	514	1134	1383	--	cm/s <sup>2</sup>
	5.63	6.67	16.19	54.31	78.71	93.50	--	Años
<b>e</b>	983	979	408	438	817	--	--	cm/s <sup>2</sup>
	4.61	16.45	67.27	82.78	92.60	--	--	Años

## 7.3 ANÁLISIS DE RESPUESTAS

### 7.3.1 Aplicación del índice de daño global $D_k$

Las respuestas para este caso son mostradas, en forma de índice de daños y como demanda de ductilidades para el MC, en las Figs. 7.1 (marco *a*), 7.2 (marco *d*), 7.3 (marco *f*), y 7.4 (marco *i*), mediante los gráficos que representan valores de  $D_k$ , y de  $\mu_k$  (demanda de ductilidad de entrepiso) para los distintos entrepisos. Estos suman un total de 116 análisis con el DRAIN 2D. En dichas figuras se aprecia la superioridad de los MC que tienen EDES en todos los entrepisos (sistemas *d* y *f*). Esto reafirma lo observado en el capítulo 6, cuando se hizo el análisis de los marcos ante temblores fuertes de intensidad dada. Se aprecia, además, que los marcos *d* y *f* tienen comportamiento similar; lo mismo sucede con los marcos *a* e *i*.

Estos resultados son corroborados por los valores numéricos mostrados en la Tabla 7.3, en donde se reúnen los mayores índices de daño alcanzados por las realizaciones de los distintos marcos al final de cada historia de temblores. En la misma Tabla 7.3 se presentan los índices de confiabilidad de acuerdo con el procedimiento de la Sección 4.3. Estos índices son notoriamente superiores para los marcos *d* y *f* que para los marcos *a* e *i*. Los índices de confiabilidad que se muestran en la Tabla 7.3 se calcularon a partir de la muestra de valores de  $D_k$  al final del lapso de cien años.

**Tabla 7.3 Máximo índice de daño global  $D_k$  después de cada historia de temblores y confiabilidad después del lapso de cien años.**

Historia	Marco <i>a</i>	Marco <i>d</i>	Marco <i>f</i>	Marco <i>i</i>
<b>a</b>	0.992622	0.908013	0.891722	0.989424
<b>b</b>	0.855749	0.627770	0.631538	0.837569
<b>c</b>	0.747989	0.675409	0.699022	0.760137
<b>d</b>	0.969283	0.915137	0.900205	0.972928
<b>e</b>	0.706006	0.638998	0.681593	0.732295
$m_Q$	0.854330	0.753065	0.760816	0.858471
$Var(Q)$	0.016412	0.021254	0.015843	0.014069
$\sigma_Q$	0.128111	0.145788	0.125870	0.118613
$m_Z=1-m_Q$	0.145670	0.246935	0.239184	0.141529
$\sigma_Z=\sigma_Q$	0.128111	0.145788	0.125870	0.118613
$\beta=m_Z/\sigma_Z$	<b>1.13707</b>	<b>1.69379</b>	<b>1.90024</b>	<b>1.19321</b>
$P_r=\Phi(-\beta)$	<b>0.12776</b>	<b>0.04515</b>	<b>0.02870</b>	<b>0.11639</b>

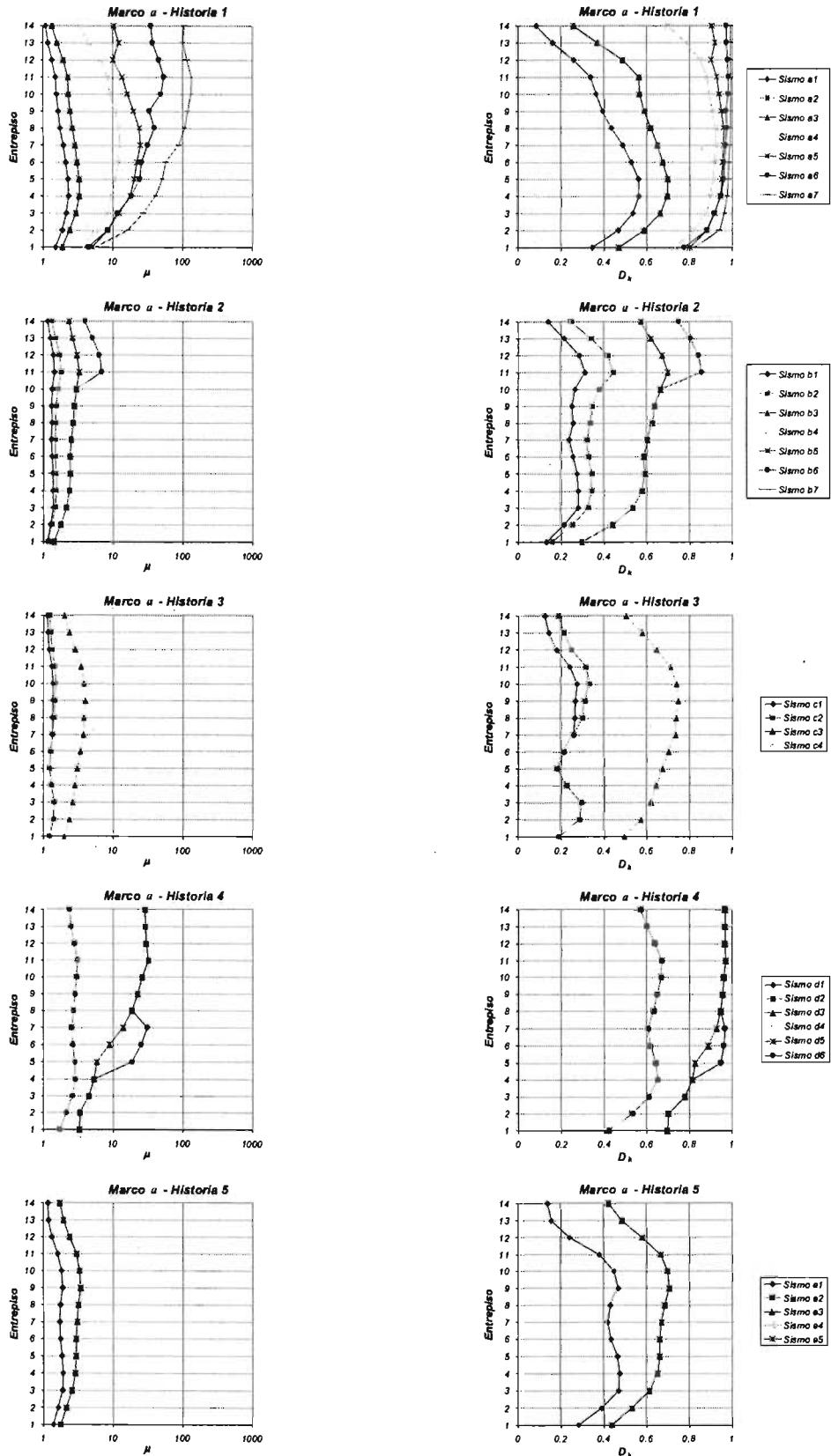


Figura 7.1 Respuestas para el marco a.

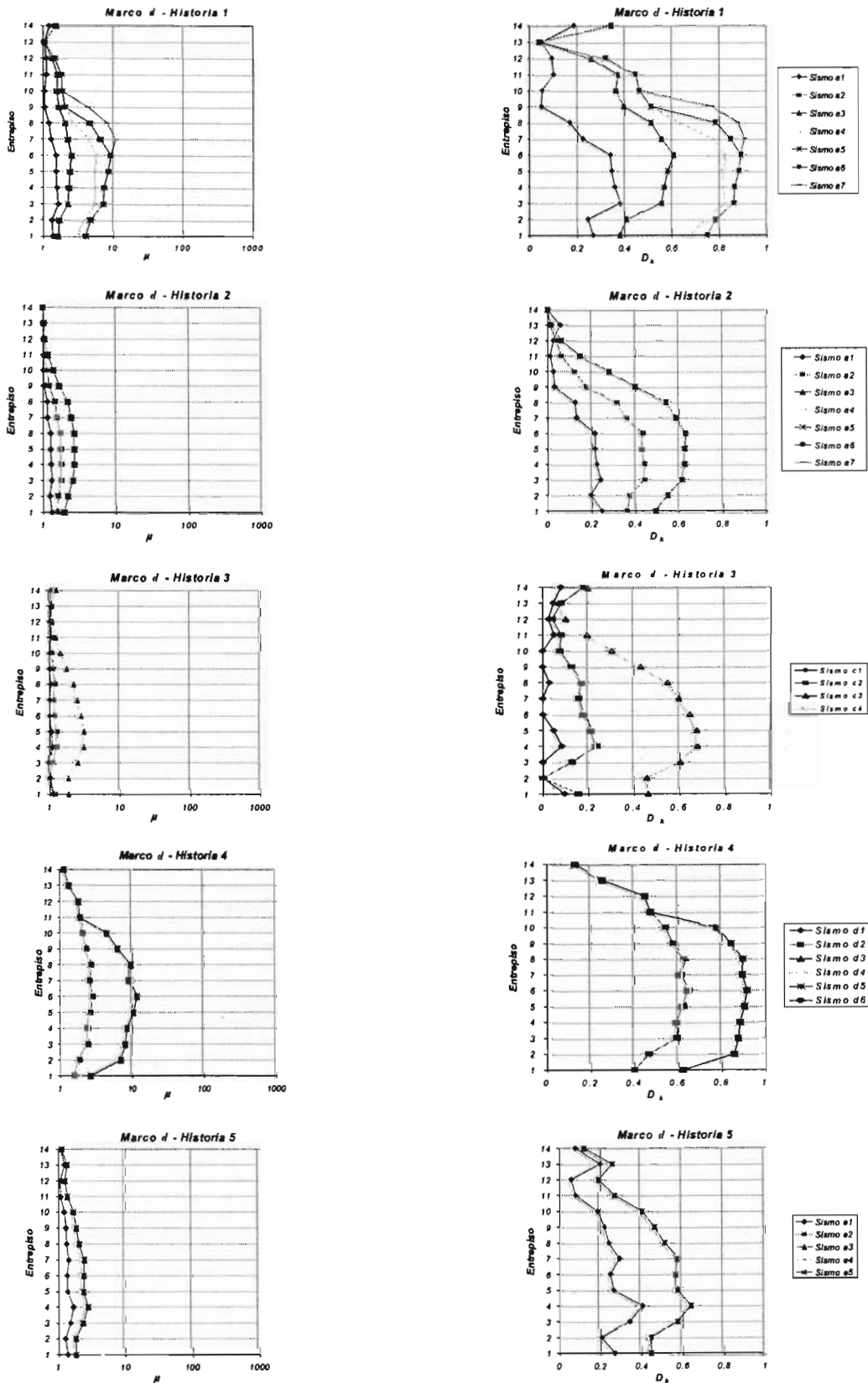


Figura 7.2 Respuestas para el marco d.

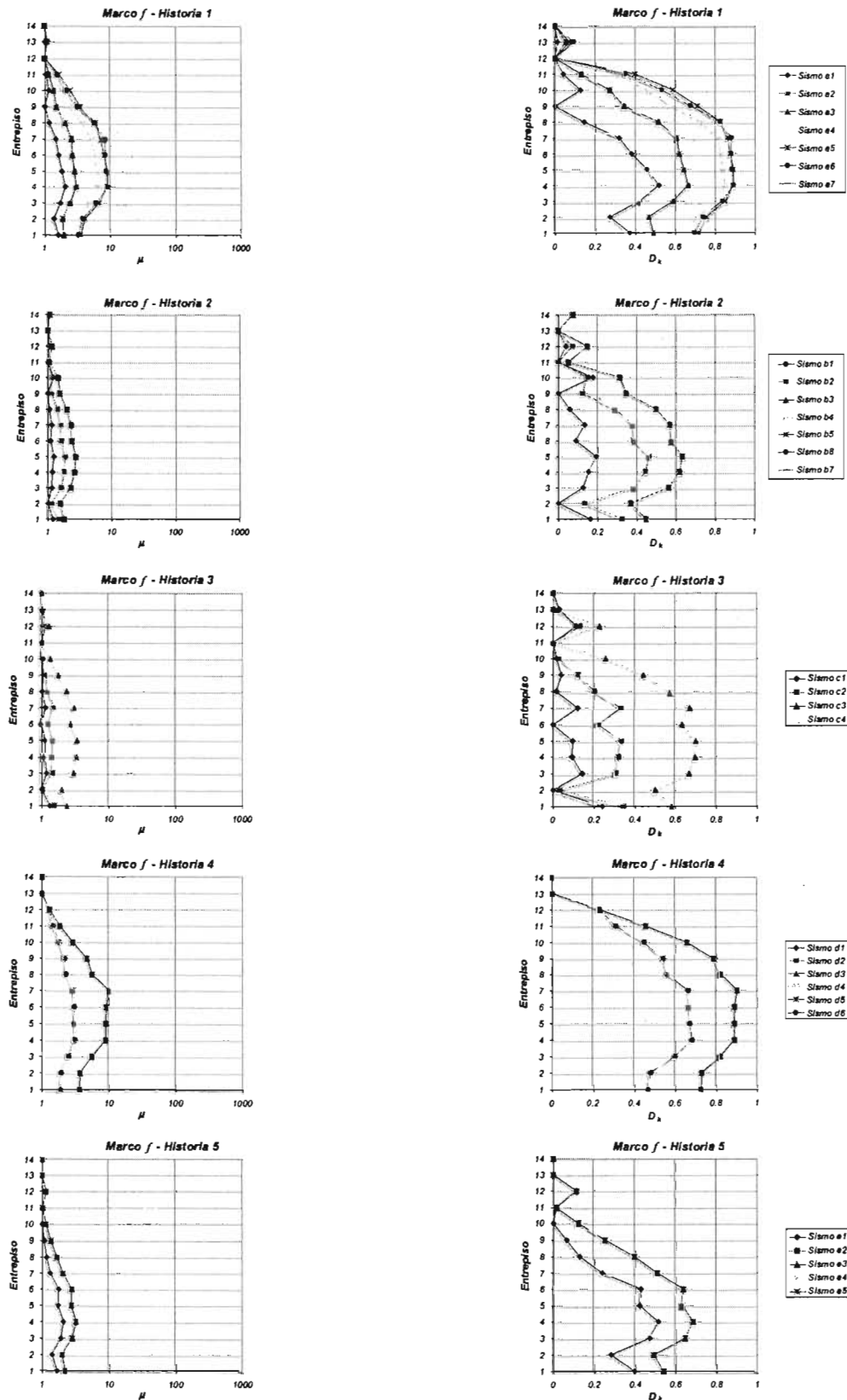


Figura 7.3 Respuestas para el marco f.

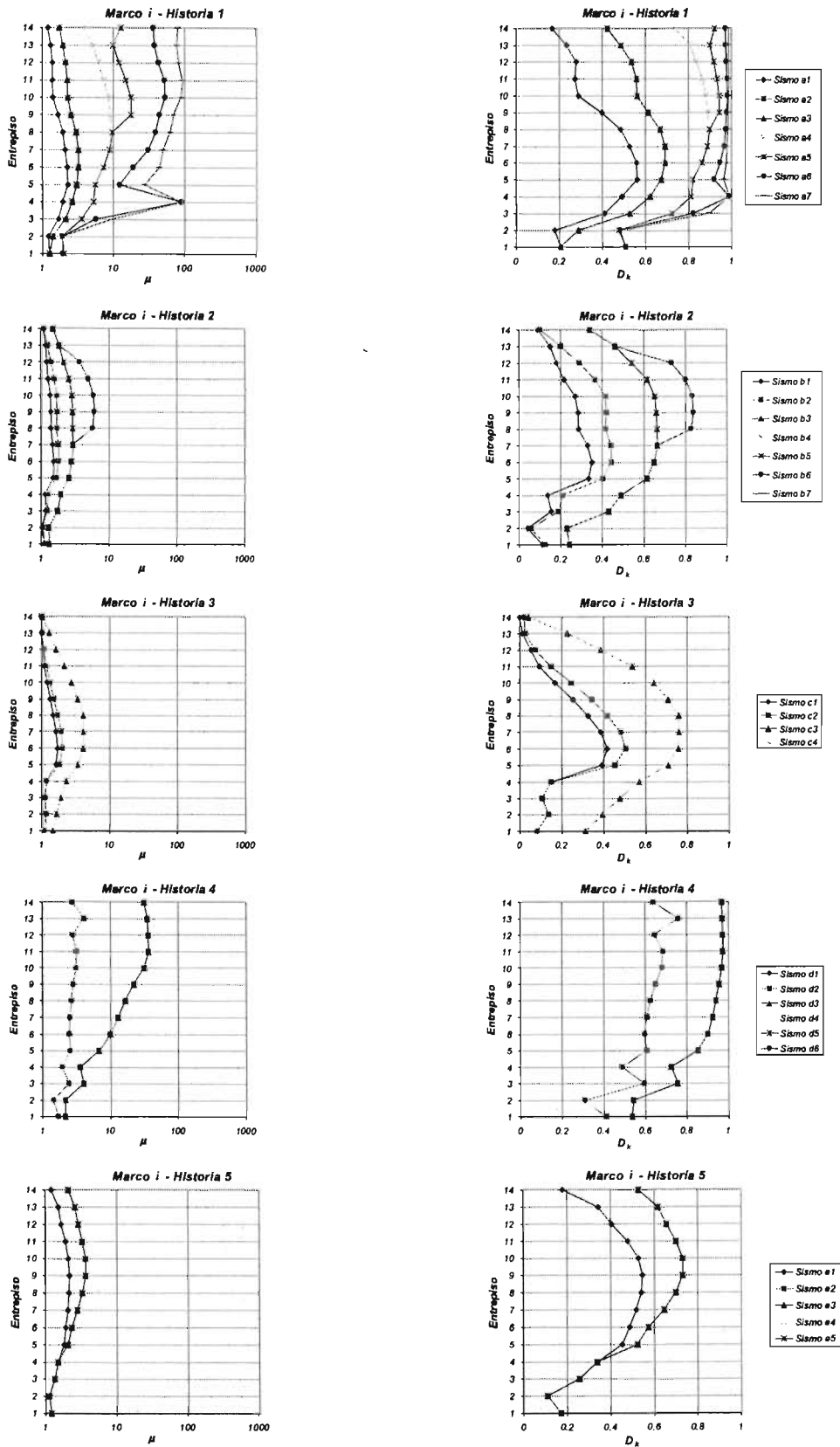


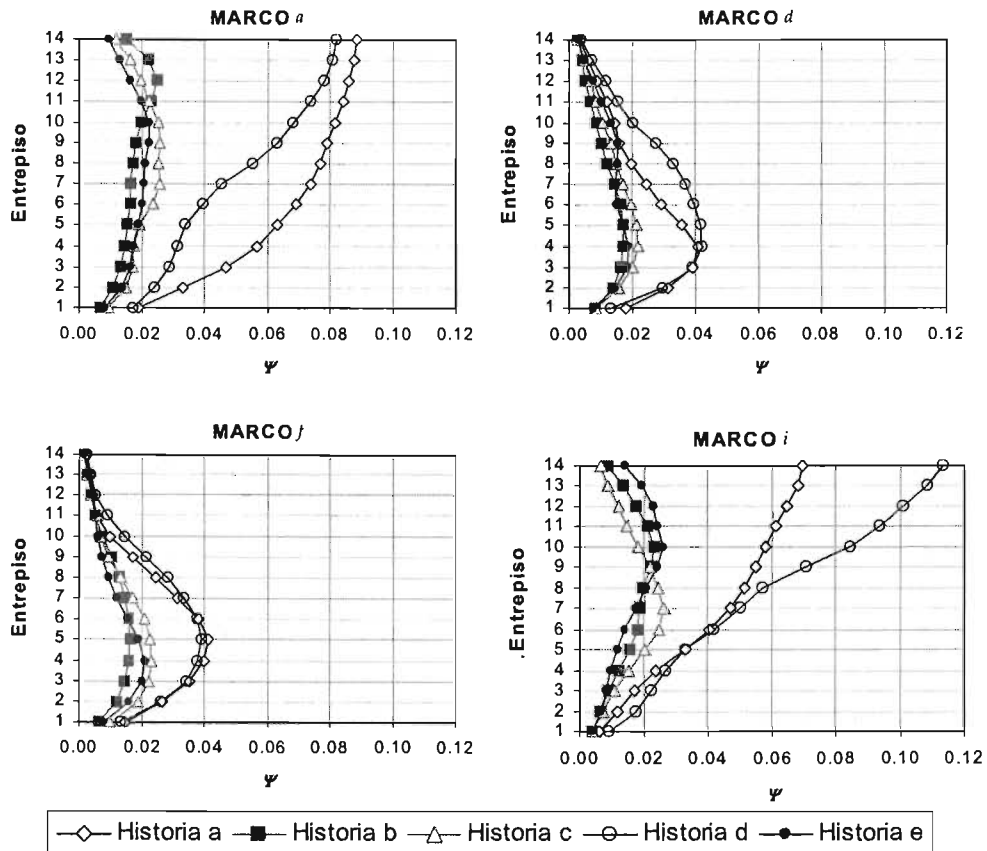
Figura 7.4 Respuestas para el marco i.



Los valores de  $D_k$  cercanos a la unidad y los elevados valores de la probabilidad de falla manifiestan que los marcos están cerca al colapso estructural y que los niveles de degradación han superado los estados límite de servicio y último. Esta apreciación se confirma, en la siguiente sección, con la observación de las distorsiones de entrepiso alcanzadas.

### 7.3.2 Distorsión en los entrepisos

Se consideran como valores límite de la distorsión para los marcos convencionales de CR a aquellos proporcionados por Reyes (1999), que considera que el daño se inicia con una distorsión de  $\psi_0=0.005$ , y que el daño total ocurre cuando la distorsión alcanza el valor  $\psi_f=0.040$ . Según Reyes (1999) estos valores corresponden a marcos de CR con excelente detallado sísmico diseñados con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (DDF, 1993). Si se supera la distorsión de daño total mencionado el colapso de la estructura es inminente.



**Figura 7.5 Distorsiones en los sistemas al finalizar cada historia de temblores.**

La Fig. 7.5 muestra las distorsiones máximas alcanzadas por entrepiso, para cada realización de cada tipo de marco después del último temblor de cada historia. Se observa que las distorsiones de los sistemas *a* e *i* superan en

más del doble la distorsión de daño total, mientras que dicha distorsión es alcanzada por los marcos *d* y *f*.

En la Fig. 7.6 se muestra el promedio de los valores de las distorsiones mostradas en la Fig. 7.5. En la Fig. 7.6 se aprecia que las distorsiones alcanzadas son importantes ya que alcanzan la distorsión de daño total, lo cual hace necesario que en el transcurso de la vida útil de las edificaciones se realicen trabajos de mantenimiento y reparación. También se observa que en los cuatro marcos la degradación estructural es similar hasta el quinto entreciso, mientras que en los pisos superiores la distorsión en los sistemas *a* e *i* son notablemente mayores que en los sistemas *d* y *f*.

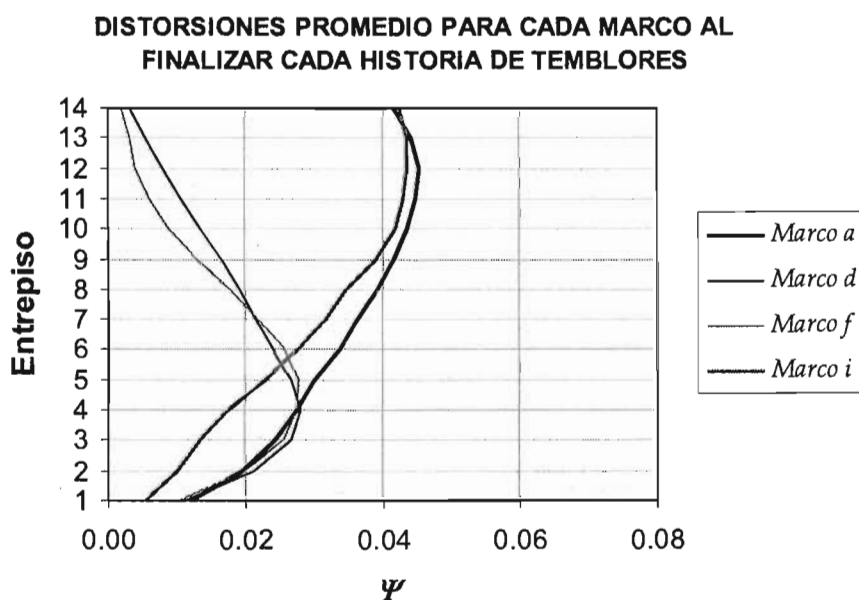


Figura 7.6

## 7.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas *d* y *f* tienen un comportamiento similar. Los sistemas *a* e *i*, también tienen un comportamiento parecido, principalmente en los pisos superiores. Los sistemas *d* y *f* son superiores a los sistemas *a* e *i*.

Según la Fig. 7.6, el sistema *a*, sistema sin EDES, presenta las mayores distorsiones, lo cual implica mayores reparaciones.

Con respecto a los marcos *d* y *f*, que tienen disipadores en todos los entrecisos, el marco *i*, que solamente tiene disipadores en los cuatro primeros niveles, tiene menores distorsiones en los pisos inferiores, mientras que en los superiores son notablemente mayores.

Estos resultados permiten adelantar la idea de que los marcos con disipadores en todos los niveles son más recomendables.

Finalmente, estos resultados dejan de manifiesto la necesidad y la importancia de realizar estudios de optimización que tengan en cuenta costos iniciales y de mantenimiento, reparación, reemplazo de disipadores y consecuencias de fallas de los sistemas involucrados, como base para formular recomendaciones prácticas.

## CAPÍTULO 8

# Costos a Largo Plazo

### 8.1 INTRODUCCIÓN

En esta etapa se realiza el estudio de las respuestas sísmicas a largo plazo en donde se incluyen el mantenimiento y reparación de los elementos del MC, el reemplazo de los EDES, se toman en cuenta los costos para la ejecución de dichas acciones y los costos probables del colapso en función de la intensidad de cada evento. Esta etapa es la última parte del estudio de optimación, indicada como la serie 5 en la Sección 3.4.3, que permitirá encontrar la estructura óptima con la finalidad de decidir sobre los valores más recomendables de las variables de control. Se emplean los cuatro marcos seleccionados como resultado de la primera etapa (Tabla 7.1) con las historias de temblores definidas anteriormente (Tabla 7.2).

Si el daño acumulado en la estructura llega a cierto nivel, de manera que la probabilidad de fallar ante un nuevo evento sísmico resulta muy alta, entonces la estructura debe ser reparada. Una política de mantenimiento dada definirá también cuándo reparar. Esto significa que el sistema en estudio será reparado después de la acción de cierto sismo, si el nivel de daño acumulado lo hace necesario.

Los costos son aplicados a un marco plano (Fig. 3.2) y a su área tributaria correspondiente de siete metros de ancho (Fig. A.1). Estos costos no toman en cuenta a la cimentación.

## 8.2 ESPERANZA DEL VALOR PRESENTE DEL COSTO TOTAL A LARGO PLAZO

### 8.2.1 Esperanza del valor presente del costo total

Si los costos de consecuencias de daños o fallas, mantenimiento y reparación del MC, mantenimiento y reemplazo de los EDES,  $L_i$ , están asociados a los tiempos de ocurrencia,  $T_i$ ,  $i=1, \dots, \infty$  de los sismos que afectan a la estructura, entonces la esperanza del valor presente del costo total ( $C$ ) de la estructura es igual a

$$E[C] = C_0 + E \left[ \sum_{i=1}^{\infty} L_i e^{-\gamma T_i} \right] \quad (8.1)$$

donde  $C_0$  es el costo inicial de la construcción y  $\gamma$  es una tasa de descuento adecuada para actualizar los costos a un mismo instante de referencia.  $\gamma$  varía de acuerdo al periodo de años empleado para su cálculo; por ejemplo, Ortega (2005) encontró un valor de 0.0636, en Ang y De Leon (1996) emplearon 0.08, mientras que en Campos *et al.* (2004) se empleó 0.0877 como resultado de emplear información de Banxico (2003) correspondiente a los años de 1995 al 2002. En este trabajo se emplea una tasa de descuento  $\gamma = 0.05$  similar al empleado por Montes-Iturrizaga (2000).

Aquí se presenta un problema importante en la estimación de los costos esperados para estructuras expuestas a sismos debido a las limitaciones del método de Monte Carlo para tratar de obtener estimaciones de probabilidades de falla. Puesto que estas suelen ser pequeñas para estructuras diseñadas para niveles razonables de seguridad, no es raro obtener muestras simuladas que no contengan ningún evento de falla y que, por lo tanto, conduzcan a la conclusión de que la probabilidad de falla es nula, o cuando menos despreciable en comparación con las probabilidades de que ocurran daños ligeros o moderados. Esto podría ser aceptable si únicamente interesara comparar probabilidades de falla y no valores esperados de los daños, que es lo que realmente importa al tomar decisiones relacionadas con riesgo. Si se quiere evitar la simulación de muestras excesivamente grandes por el método de Monte Carlo, es necesario encontrar la manera de estimar en forma analítica las probabilidades de falla. Como una buena alternativa, en la Sección 8.2.3 se propone un método híbrido para estimar los costos esperados de daños en estructuras sujetas a series aleatorias de temblores. En esta investigación se aplica una aproximación al método híbrido estimando la probabilidad de colapso de la estructura.

### 8.2.2 Costo inicial

El costo inicial de las construcciones está conformado por el costo directo de obra ( $C_D$ ), los costos indirectos de obra ( $C_I$ ) y las utilidades del constructor  $U$ , como se muestra en la Ec. 8.2.

$$C_0 = C_D + C_I + U \quad (8.2)$$

Los costos indirectos de la obra están formados por aquellos costos que cubren las actividades de administración, control y de soporte logístico, no considerados por los costos directos, que son necesarios para el desarrollo de la construcción. Su monto es equivalente a una fracción ( $\alpha_I$ ) del costo directo:

$$C_I = \alpha_I C_D \quad (8.3)$$

mientras que la utilidad está dada por una fracción ( $\alpha_U$ ) de la suma de los costos directo e indirecto, tal como:

$$U = \alpha_U (C_D + C_I) \quad (8.4)$$

o

$$U = \alpha_U (1 + \alpha_I) C_D \quad (8.5)$$

Entonces la Ec. 8.2 puede ser escrita como:

$$C_0 = (1 + \alpha_U)(1 + \alpha_I) C_D \quad (8.6)$$

Por su lado, el costo directo  $C_D$  está compuesto por los costos de concreto reforzado ( $C_{CR}$ ), disipadores de energía ( $C_{EDES}$ ), acabados ( $C_{ACAB}$ ) e instalaciones en general ( $C_{INST}$ ), tal como se aprecia en la Ec. 8.7.

$$C_D = C_{CR} + C_{EDES} + C_{ACAB} + C_{INST} \quad (8.7)$$

### 8.2.3 Método híbrido para estimar costos esperados de daños en estructuras sujetas a series aleatorias de temblores

Según se menciona en la Sección 8.2.1, la estimación de valores de utilidades o costos esperados por el método de Monte Carlo presenta limitaciones derivadas de las excesivas dimensiones de las muestras que se requieren simular para tomar en cuenta los eventos de falla catastrófica (colapso), de probabilidad baja pero costo elevado. Para subsanar estas limitaciones se propone un método híbrido según el cual para cada evento sísmico se calcula analíticamente la probabilidad de colapso, tomando en cuenta el estado de daño del sistema antes de iniciarse el evento, y se simula por Monte Carlo el estado final de daño en dicho sistema, también teniendo en cuenta las condiciones iniciales.

Se supone que al finalizar el temblor  $j-1$  el estado de daño es  $D''_{j-1}=1$  (o sea, colapso) con probabilidad  $p_{1(j-1)}$ , o  $D''_{j-1}=d''_{j-1}<1$ , si no ocurre la falla en este evento, lo cual corresponde a una probabilidad  $p_{2(j-1)} = 1-p_{1(j-1)}$ . Al iniciar

el siguiente evento, el estado de daño será  $D'_j=0$  (debido a reconstrucción), con probabilidad igual a  $p_{1(j-1)}$ , o  $D'_j=d'_j$  con probabilidad  $p_{2(j-1)}$ . Aquí  $d'_j$  puede ser igual a  $d''_{j-1}$  o distinto, según la estructura se haya reparado o no después del evento  $j-1$ .

Al finalizar el temblor  $j$ , el estado de daño será  $D''_j=1$ , con probabilidad  $p_{1j}=p_{1(j-1)} p_F(y_j,0)+p_{2(j-1)} p_F(y_j,d'_j)$ , o  $D''_j=d''_j < 1$ , con probabilidad  $p_{2j}=1-p_{1j}$ . En estas ecuaciones,  $p_F(y_j,0)$  es igual a la probabilidad de colapso para la intensidad  $y_j$  y el daño inicial  $D'_j=0$ ;  $p_F(y_j,d'_j)$  es lo mismo, pero para el daño inicial  $D'_j=d'_j$ .

Teniendo en cuenta esta distribución de probabilidades de estados de daño, el costo de daños asociados con el evento  $j$  será igual a  $C_j=p_{1j} C_F + p_{2j} C_{Rj}(d''_j)$ , en donde  $C_F$  es el costo del colapso y  $C_{Rj}(d''_j)$  es el costo asociado con la reparación cuando el daño al final del temblor vale  $d''_j$ .

Los conceptos anteriores sirven de base para el procedimiento híbrido, mencionado en el primer párrafo de esta sección, con una componente analítica y una de Monte Carlo, como sigue:

- 1) Se simula una muestra de historias sísmicas. Cada muestra está constituida por un conjunto de parejas de tiempos de ocurrencia e intensidades de temblores.
- 2) Para cada historia sísmica se calculan los costos esperados de daños para cada evento. Para ello se procede como sigue:
  - (a) Se impone  $D''_0=0$ , con  $p_{10}=1$
  - (b)
    - Se calculan  $p_{11} = p_{10} p_F(y_1,0)$  y  $p_{21} = 1 - p_{11}$
    - Se simula un acelerograma de intensidad  $y_1$ , para obtener un valor simulado del daño,  $D''_1=d''_1$
    - Se determina  $C_{R1}(d''_1)$  y  $C_1 = p_{11} C_F + p_{21} C_{R1}(d''_1)$
    - De lo anterior resulta el daño  $d'_2$  (inicial para el evento 2, después de reparar)
  - (c)
    - Se calculan  $p_{12} = p_{11} p_F(y_2,0) + p_{21} p_F(y_2,d'_2)$  y  $p_{22} = 1 - p_{12}$
    - Se simula un acelerograma de intensidad  $y_2$ , y se obtiene un valor simulado  $D''_2=d''_2$ .
    - Igual que para el evento 1, se obtienen  $C_{R2}(d''_2)$ ,  $C_2$  y  $d'_3$ .
  - (d) Se procede de igual manera para obtener  $C_j$ ,  $j=3,\dots,N$ , en donde  $N$  identifica al último temblor simulado dentro de la historia sísmica en estudio.

Para aplicar el algoritmo descrito arriba sin tener que obtener  $p_F(y_j,d'_j)$  cada vez por simulación, lo cual sería muy engorroso, se puede calcular  $p_F(\dots)$

aprovechando las simulaciones que se han obtenido de  $D''_j$  para diversos valores de  $y_j$  y  $d'_j$ . Debe suponerse una forma adecuada para determinar tanto el valor esperado de  $D''_j$  como el coeficiente de variación de  $D''_j$ , ambos como funciones de  $d'_j$  y  $y_j$ , y obtener los parámetros mediante ajuste por mínimos cuadrados.

### 8.2.4 Variante del método híbrido

Se propone que el valor  $L_i$  de la Ec. 8.1 tenga la siguiente composición

$$L_i = C_{Ri}(1 - p_{Ci}) + C_C p_{Ci} \quad (8.8)$$

en donde

$C_{Ri}$  = es el costo de reparación y mantenimiento de la construcción (sobrevivencia), siempre y cuando se lleve a cabo, después del sismo con intensidad  $y_i$ .

$p_{Ci}$  = probabilidad de colapso de la estructura dado la intensidad  $y_i$  del evento.

$C_C = \alpha_C \cdot C_0$ ,  $C_C$  es el costo de colapso,  $C_0$  es el costo inicial de la construcción y  $\alpha_C$  es un coeficiente, en general bastante mayor que 1.0, dependiente de las consecuencias de falla o colapso de la construcción.

### 8.2.5 Índice de daño por entepiso en función de la distorsión

Con la finalidad de tener un mejor control del daño físico y poder relacionarlos con los costos de reparación se introduce un nuevo índice de daño que es función de la distorsión máxima en un entepiso ocurrida durante un evento sísmico, ya que el daño acumulado en los elementos estructurales, de CR y en los EDES, durante sismos sucesivos se verá reflejado en la distorsión de los entepisos.

Con base en diversos estudios experimentales aplicados a elementos estructurales y no estructurales se ha identificado niveles de distorsión de entepiso o de modelos equivalentes que señalan para una distorsión pequeña el inicio del agrietamiento y para una distorsión considerable la falla (Reyes, 1999). Se emplea la propuesta de Esteva *et al.* (2002) para relacionar dicha distorsión con un índice de daño físico para el  $j$ -ésimo entepiso de la edificación,  $\delta_j(\psi_j)$  como se muestra en la Ec. 8.9.

$$\delta_j(\psi_j) = 1 - \exp(-a\psi_j^m) \quad (8.9)$$

donde  $\psi_j$  es la distorsión observada en el entepiso  $j$ ,  $a$  y  $m$  son constantes que se ajustan a partir de adoptar valores adecuados de  $\delta_j(\psi_j)$  para relacionarlas con las distorsiones de inicio de agrietamiento ( $\psi_0$ ) y de falla ( $\psi_F$ ) respectivamente.



De manera que después de la ocurrencia de un sismo que produjo una distorsión  $\psi_j$  en el  $j$ -ésimo entrepiso, se obtendrán los índices de daño  $\delta_{Mj}(\psi_j)$  en el entrepiso  $j$  del marco convencional de CR,  $\delta_{Nj}(\psi_j)$  en los elementos no estructurales, y  $\delta_{Ij}(\psi_j)$  en las instalaciones, mientras que en los disipadores se obtendrán los índices de fatiga  $\delta_{Dj}$  definidos en la Ec. 4.8. Se considera que el índice de daño del entrepiso  $j$  de la Ec. 8.9 estará dado por el índice de daño correspondiente al marco convencional, es decir  $\delta_j(\psi_j) = \delta_{Mj}(\psi_j)$ . Y el índice de daño global estará dado por  $\delta_\psi = \text{Max}\{\delta_j, j=1, \dots, n\}$ , donde  $n$  es el número de niveles.

Debido a que analíticamente no se pueden calcular los daños en los elementos no estructurales y en las instalaciones, se considera que la distorsión correspondiente a los elementos no estructurales es la misma que para la estructura en el entrepiso y el daño en las instalaciones es considerado como la tercera parte del daño en los elementos no estructurales ( $\delta_{Ij} = \delta_{Nj}/3$ ).

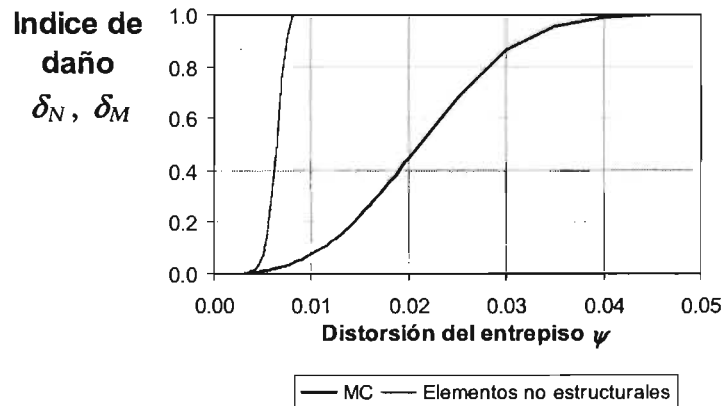


Figura 8.1 Índices de daño en función de la distorsión.

Los valores de las distorsiones límite para el marco de CR y para los elementos no estructurales fueron tomadas de Reyes (1999). Para determinar los parámetros  $a$  y  $m$  de la Ec. 8.9 para el MC se asoció el índice de daño  $\delta_{M0} = 0.01$  con la distorsión que inicia la grieta  $\psi_0 = 0.005$ , mientras que cuando el marco se daña completamente, en  $\psi_F = 0.040$ , se hace corresponder un  $\delta_{MF} = 0.99$ , obteniéndose  $a = 60,596$  y  $m = 2.95$ . Para los elementos no estructurales se emplearon  $\psi_0 = 0.004$  y  $\psi_F = 0.008$ , asociados a  $\delta_{N0} = 0.01$  y  $\delta_{NF} = 0.99$  respectivamente, obteniéndose  $a = 1.58 \times 10^{19}$  y  $m = 8.84$ . Como elementos no estructurales se emplean muros de tablaroca con marco de lámina delgada. En la Fig. 8.1 se aprecia la variación del índice de daño del MC y de los elementos no estructurales en función de la distorsión.

### 8.2.6 Colapso de la estructura en función de la distorsión

La falla de un entrepiso ocurre cuando su distorsión alcanza un umbral de colapso  $\psi_c$  y el índice de daño  $\delta_j$  alcanza un umbral correspondiente de colapso  $\delta_c$ . Se acepta que cuando un entrepiso alcanza dicha distorsión ocurre el colapso del edificio.

La distorsión y el índice de daño de la estructura después de un temblor con intensidad  $y$ , van a depender del estado de daño inicial con que enfrente a dicho temblor y de la intensidad del temblor actuante. El cálculo de la probabilidad de falla de la estructura debe tomar en cuenta que el daño previo de la estructura y el temblor con intensidad  $y$ , refiriéndose a sus características, son aleatorios; en consecuencia, el daño final también es aleatorio. El cálculo de la probabilidad de falla de la estructura debe incorporar dichos aspectos.

Una alternativa para determinar las funciones de densidad de probabilidades de los daños y tener en cuenta las intensidades de los temblores y llegar a tener una solución analítica es aplicando temblores de distintas intensidades a una estructura. Cada temblor con intensidad dada debe estar representado por un grupo de temblores simulados mientras que la estructura debe ser reproducida con diversas realizaciones. Entonces una realización de la estructura será sometida a la acción de un grupo de temblores simulados con la misma intensidad empezando con la estructura intacta. El conjunto de aplicaciones permitirá obtener la distribución de los daños en función de la intensidad del temblor aplicado y del daño previo al temblor.

En este trabajo se emplea una simplificación de este procedimiento, primero se calcula el índice de confiabilidad de la estructura intacta para los diferentes temblores y posteriormente se afecta a dicho índice de confiabilidad con un factor reductivo que toma en cuenta el índice de daño antes de la ocurrencia del evento correspondiente. El procedimiento se describe a continuación:

Sea  $\psi(y) = \text{Max}\{\psi_j(y), j=1, \dots, n\}$ , donde  $n$  es el número de niveles, el colapso de la estructura ocurre cuando

$$\psi(y) \geq \psi_c \quad (8.10)$$

de manera que se puede establecer el siguiente margen de seguridad

$$Z(y) = Ln \left( \frac{\psi_c}{\psi(y)} \right) \quad (8.11)$$

y tener un índice de confiabilidad,  $\beta_0$ , considerando que el daño inicial antes del sismo es nulo

$$\beta_0(y) = \frac{m_Z(y)}{\sigma_Z(y)} \quad (8.12)$$

en donde

$$m_Z(y) = Ln\psi_C - E[Ln\psi(y)] \quad (8.13)$$

y

$$\sigma_Z^2(y) = E \{ Ln\psi(y) - E[Ln\psi(y)] \}^2 \quad (8.14)$$

Cuando el daño antes del temblor no es nulo, se tendrá un índice de confiabilidad  $\beta$  en donde el índice  $\beta_0$  (Ec. 8.12) se ve afectado por un factor reductivo dependiente del índice de daño  $\delta_\psi$  con que la estructura enfrenta el evento. Es decir, si necesitamos encontrar el índice de confiabilidad de la estructura ante la ocurrencia del sismo con intensidad  $y$ , se tendrá la siguiente relación:

$$\beta = \beta_0 [1 - \Delta(\delta_\psi)] \quad (8.15)$$

en donde  $\delta_\psi$  es el índice de daño con que la estructura termina en el evento anterior, o es cero si la estructura fue reparada, y  $\Delta(\cdot)$  es una función de  $\delta_\psi$ . Si dicho sismo es el  $i$ -ésimo evento considerado, la Ec. 8.15 puede ser escrita como:

$$\beta_i = \beta_{0i} [1 - \Delta(\delta_{\psi(i-1)})]$$

Por lo tanto la probabilidad de colapso para el evento  $i$  con intensidad  $y_i$  es

$$p_{Ci} = \Phi(-\beta_i) \quad (8.16)$$

que es aplicado en la Ec. 8.8.

Se estima la aproximación para la función  $\Delta$  considerando las siguientes dos relaciones

$$\Delta_1 = \frac{1}{2} [1 - \cos(\delta_\psi \pi)] \quad (8.17)$$

y

$$\Delta_2 = \text{sen}\left(\delta_\psi \frac{\pi}{2}\right) \quad (8.18)$$

cuyos gráficos se observan en la Fig. 8.2. Ambas funciones son un estimado considerando que la reducción será mayor cuando el índice de daño sea alto y serán nulos cuando el daño inicial también lo sea. La forma de las curvas de estas funciones permite observar un intervalo de factores reductivos para el mismo índice de daño inicial.

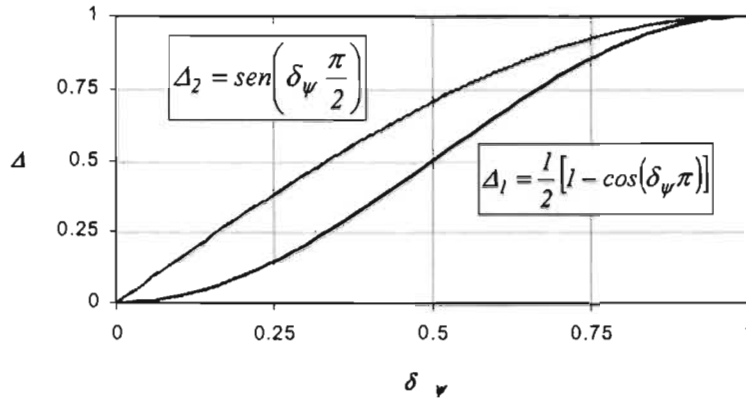


Figura 8.2 Curvas de ambas alternativas correspondientes a la función reductiva del índice de confiabilidad.

### 8.2.7 Costos de reparación

Los costos de reparación son aplicados a cada entrepiso por separado ya que cada uno de ellos tiene diferente costo inicial y después de un temblor en cada entrepiso se presenta diferente nivel de daño. La suma de los costos de reparación de cada entrepiso es el costo de reparación de la estructura luego del evento  $i$ . En la Ec. 8.19 se muestra la composición del costo de reparación de la estructura,  $C_{Ri}$ , después del evento  $i$  de una historia de temblores.

$$C_{Ri} = \sum_{j=1}^n \left\{ \left( 1 + \frac{r_l}{c_j} \right) \left\{ c_j [\delta_{Mj} C_{M0j} + \delta_{Nj} C_{N0j} + \delta_{Ij} C_{I0j}] \right\} + f(\delta_{Dj}) C_{D0j} \right\} \quad (8.19)$$

en donde

$\delta_{Mj}$ = índice de daño en el  $j$ -ésimo entrepiso del MC

$\delta_{Nj}$ = índice de daño en los elementos no estructurales del  $j$ -ésimo entrepiso

$\delta_{Ij}$ = índice de daño en las instalaciones del  $j$ -ésimo entrepiso

$\delta_{Dj}$ = índice de daño en los elementos disipadores del  $j$ -ésimo entrepiso

$f(.)$ =1 si se requieren reemplazar los disipadores, de lo contrario es cero

$C_{M0j}$ = costo inicial de construcción del  $j$ -ésimo entrepiso del MC

$C_{N0j}$ = costo inicial de construcción de los elementos no estructurales del  $j$ -ésimo entrepiso

$C_{I0j}$ = costo inicial de las instalaciones del  $j$ -ésimo entrepiso

$C_{D0j}$ = costo inicial de los disipadores del  $j$ -ésimo entrepiso

$c_j = -\frac{\alpha - 1}{2} \zeta_j + \alpha$ , coeficiente que introduce el grado de dificultad y los costos

fijos para reparar la estructura. Depende linealmente del grado de daño en el MC y en los elementos no estructurales,  $\zeta_j = \delta_{Mj} + \delta_{Nj}$ . Cuando los daños son

menores, este coeficiente es mayor.  $\alpha = 2$  es el factor que toma en cuenta las dificultades de reparación. Se encuentra que para  $\zeta_j = 0$ ,  $c_j = 2$ ; mientras que para  $\zeta_j = 2$ ,  $c_j = 1$ .

$r_I$  = factor de consecuencias de daños, es el cociente entre costos indirectos y directos de reparación. Dicho cociente puede tomar distinto valor, según el uso de la construcción, toma en cuenta las consecuencias debido al daño y su reparación.

Los costos de reparación son proporcionales a los daños y están compuesto por el costo inicial de construcción, afectados por un factor que toma en cuenta las dificultades de reparación ( $c_j$ ), y por otro factor que toma en cuenta las pérdidas económicas por dejar de funcionar durante el tiempo de reparación ( $r_I$ ).

Los daños en el MC, acabados e instalaciones son reparados cuando el MC lo requiera. En este estudio se consideran dos umbrales de reparación ( $\delta_R$ ) por separado:  $\delta_R=0.2$  y  $\delta_R=0.5$ , lo cual significa que cuando en cualquier entepiso  $j$  del MC se alcance un daño  $\delta_{Mj} = \delta_R$ , se reparará el total del MC, elementos no estructurales e instalaciones.

### 8.2.8 Costos de colapso

Dentro del costo total también se considera el costo de colapso que toma en cuenta las consecuencias de falla, la intensidad del evento y el estado de daño estructural antes de dicho evento.

El costo de colapso se aplica al edificio cuya estructura es evaluada después de cada temblor. En este estudio se han propuesto distorsiones de entepiso del 4% y 6% como umbrales de colapso.

## 8.3 COSTO INICIAL DE LOS SISTEMAS

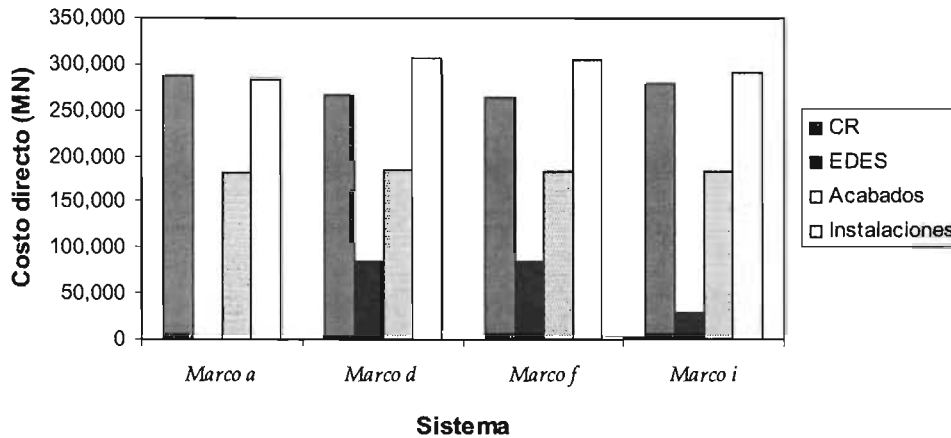
### 8.3.1 Costo directo de los sistemas

La Tabla 8.1 muestra los costos directos de los cuatro sistemas seleccionados y los costos de los distintos componentes que aparecen en la Ec. 8.7.

El costo de los acabados ( $C_{ACAB}$ ) y de las instalaciones ( $C_{INST}$ ) fueron determinados a partir de porcentajes del costo directo. Los porcentajes aplicados fueron obtenidos de Mejía (1995). En el caso del marco de CR, marco  $a$ , para los acabados se aplica un 24% del costo directo, mientras que para el costo de las instalaciones se aplica el 38%. Para los sistemas dotados de EDES se aplica para los acabados un 22 % del costo directo y para las instalaciones un 36% del costo directo.

**Tabla 8.1 Costos directos (Pesos de 1995) y de sus componentes de los cuatro sistemas seleccionados.**

Sistema	Costo CR	Costo EDES	Costo Acabados	Costo Instalaciones	Costo Directo	Costo directo Normalizado
<i>a</i>	286,719	0	181,599	283,081	751,399	1.000
<i>d</i>	265,925	83,944	184,979	306,372	841,220	1.120
<i>f</i>	263,000	84,668	183,816	304,445	835,930	1.112
<i>i</i>	277,421	29,088	182,376	290,078	778,962	1.037

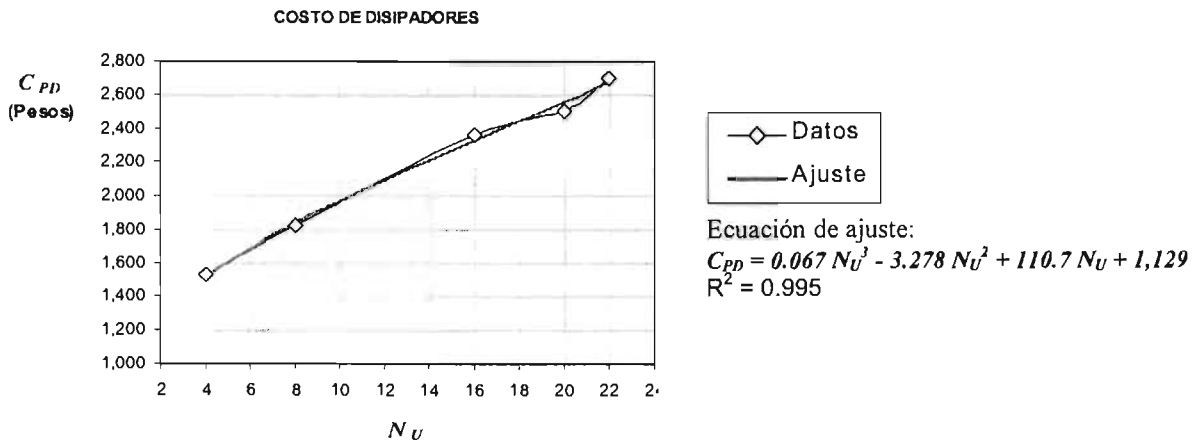


**Figura 8.3 Costos directos y de sus componentes de los cuatro sistemas seleccionados correspondientes al año 1995.**

En la Tabla 8.1 también se muestra el costo directo de cada sistema normalizado con respecto al costo directo del marco *a*. Se observa que los sistemas con disipadores en todos los entresijos tienen un costo del 11% al 12% mayor al del marco *a*, mientras que el sistema con EDES en los cuatro entresijos inferiores, marco *i*, tiene un costo directo mayor en 4% al costo directo del sistema *a*. La Fig. 8.3 muestra en forma gráfica el contenido de la Tabla 8.1. A manera de comparación de costos directos se menciona que en Mejía (1995), en donde se compara el costo directo de dos edificios de 10 niveles, uno de CR y otro con el marco convencional de CR dotado de EDES tipo U en todos los entresijos, se encontró que el costo directo del edificio con EDES es mayor en 3.44% que el costo directo del edificio de CR. Mientras que en Ruiz *et al.* (1996), se compara el costo directo de dos edificios de 20 niveles, uno de CR sin disipadores y otro con marcos convencionales de CR con EDES tipo TADAS en todos los entresijos, se encontró que el costo directo del edificio con disipadores de energía es mayor en 9.40% que el costo directo del edificio de CR sin disipadores.

Si comparamos, con respecto al marco *a*, exclusivamente la parte estructural que está compuesto por las traves, columnas, la losa del sistema de piso y en su caso los disipadores, el costo del marco *d* es mayor en 22%, el del marco *f* es superior en 21% y el costo del marco *i* lo supera en 7%.

Los costos de los disipadores toman en cuenta el elemento contraventeo, el paquete disipador y los anclajes necesarios sobre las traves y columnas. La Fig. 8.4, construida con la información contenida en Mejía (1995), muestra los costos del paquete disipador y los anclajes ( $C_{PD}$ ) correspondientes en función del número de elementos  $U$  ( $N_U$ ).



**Figura 8.4 Costo del paquete disipador que incluyen los anclajes del contraventeo y la curva de ajuste obtenidos de Mejía (1995).**

### 8.3.2 Costo inicial total de los sistemas

Se incorporan los costos indirectos y las utilidades del constructor empleando la Ec. 8.6 con  $\alpha_l = 0.20$  y  $\alpha_U = 0.15$ . La Tabla 8.2 reúne los costos iniciales de los sistemas y los costos iniciales normalizados con respecto al marco *a*.

**Tabla 8.2 Costo inicial (Pesos de 1995) de cada sistema y su costo normalizado con respecto al costo inicial del marco *a*.**

Sistema	Costo Inicial	Costo inicial normalizado
Marco <i>a</i>	1,036,930	1.000
Marco <i>d</i>	1,160,884	1.120
Marco <i>f</i>	1,153,583	1.112
Marco <i>i</i>	1,074,968	1.037

## 8.4 COSTOS FUTUROS DE LOS SISTEMAS

Los niveles de mantenimiento y reparación del MC, y de reemplazo de los EDES son fijados a priori considerando un intervalo amplio de posibilidades. Cuando se realiza el mantenimiento o reparación en los elementos de CR y el reemplazo de los EDES, acciones que en general no son simultáneas, se asume que las propiedades mecánicas de dichos elementos son restablecidas sin daños, como en su estado original.

El cálculo de  $L$  de la Ec. 8.8 depende de la política de mantenimiento y reparación por emplear. Se establecieron dos criterios como políticas de mantenimiento. Se planteó, inicialmente, realizar el mantenimiento y las reparaciones en los elementos estructurales, en los no estructurales y de las instalaciones de los entresijos cuyos índices de daño superen el índice de daño umbral  $\delta_r$ , cuyos costos se pueden calcular según la Ec. 8.19 y se pueden emplear en las ecuaciones subsecuentes. Como se puede apreciar con este planteamiento, unos tendrán daño cero y otros daño diferente de cero antes del siguiente evento.

Como no fue posible realizar el planteamiento anterior con las herramientas de cálculo disponibles, se hizo el mantenimiento y las reparaciones pertinentes en los elementos estructurales, no estructurales y de las instalaciones de todo el marco o de todos los entresijos cuando al menos uno de los entresijos alcanza el daño umbral de reparación. En este estudio se aplicaron las reparaciones cuando el índice de daño para el marco de CR,  $\delta_M$ , alcanzó el valor de 0.2 para el primer criterio y 0.5 para el segundo (Ec. 8.9). Además, en cada criterio se consideró el reemplazo de los paquetes disipadores que alcanzaron el índice de fatiga  $\delta_D = 0.5$  y  $\delta_D = 0.75$ . Cuando en un entresijo, el índice de fatiga de uno de los disipadores alcanza el valor umbral de reemplazo, entonces se cambian los disipadores de dicho entresijo.

Como se puede apreciar, se aplicaron diferentes criterios de mantenimiento y reparación, tal que la cantidad de resultados de costos futuros suman un total de 160 para cada sistema con disipadores y 80 resultados de costos a largo plazo para el marco de concreto reforzado sin disipadores.

Al introducir el valor de  $L_i$  de la Ec. 8.8 en la Ec. 8.1 se encuentra

$$E[C] = C_o + E \left[ \sum_{i=1}^{\infty} C_{Ri} (1 - p_{Ci}) e^{-\gamma T_i} \right] + E \left[ \sum_{i=1}^{\infty} C_C p_{Ci} e^{-\gamma T_i} \right] \quad (8.20)$$

ecuación que permite ver, con mayor detalle, la formación del costo futuro ( $C_F$ ) de los sistemas.



Si en la Ec. 8.20, en los términos correspondientes al costo futuro se reemplazan el costo de reparación de la Ec. 8.19 y el costo de colapso  $C_c = \alpha_c \cdot C_0$ , se obtiene

$$C_F = E \left[ \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^n [(c_j + r_i)(\delta_{Mj} C_{M0j} + \delta_{Nj} C_{N0j} + \delta_{Ij} C_{I0j}) + f(\delta_{Dj}) C_{D0j}] \right\} (1 - p_{Ci}) e^{-\gamma T_i} \right] + E \left[ \sum_{i=1}^{\infty} (\alpha_c C_0) p_{Ci} e^{-\gamma T_i} \right] \quad (8.21)$$

El Apéndice D muestra, en un resumen, cada uno de los términos de la Ec. 8.20: el costo inicial, costos futuros para cada historia de temblores y el valor esperado del costo total de los sistemas estudiados para todos los valores de los umbrales de reparación, de reemplazo de los EDES, de distorsión de colapso, de valor para reducir el índice de confiabilidad de los marcos, de las historias de sismos y de las realizaciones de los marcos.

Las Tablas 8.8-8.10 y Figs. 8.5-8.12 siguientes muestran la esperanza de los costos futuros de los sistemas estudiados con dos políticas de reemplazo de EDES y normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ , cuyo monto es de  $C_0 = 1'036,930$  Pesos (ver Tabla 8.2). Dichas tablas permiten realizar comparaciones entre los marcos seleccionados y ver la influencia de los umbrales empleados.

Tabla 8.3 Costo futuro normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	2.435	2.473	2.775	3.153	6.177	10.056	10.093	10.396	10.774	13.798
$d - \delta_D=0.5$	1.549	1.575	1.785	2.048	4.149	5.638	5.664	5.874	6.137	8.238
$d - \delta_D=0.75$	1.536	1.563	1.773	2.036	4.137	5.625	5.651	5.862	6.124	8.226
$f - \delta_D=0.5$	1.886	1.911	2.112	2.364	4.375	7.916	7.941	8.143	8.394	10.406
$f - \delta_D=0.75$	1.874	1.899	2.100	2.352	4.363	7.904	7.930	8.131	8.382	10.394
$i - \delta_D=0.5$	3.137	3.181	3.536	3.980	7.530	13.150	13.195	13.550	13.994	17.544
$i - \delta_D=0.75$	3.137	3.181	3.536	3.980	7.530	13.150	13.195	13.550	13.994	17.544

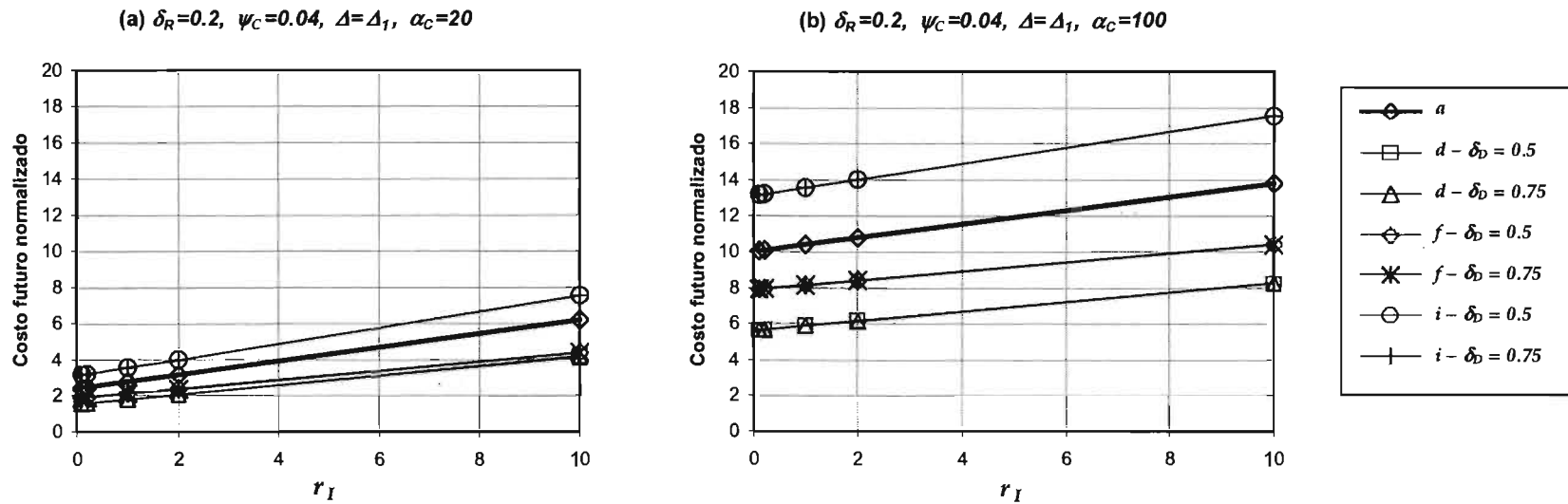


Figura 8.5 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.4 Costo futuro normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	0.928	0.971	1.311	1.736	5.135	2.274	2.316	2.656	3.081	6.480
$d - \delta_D=0.5$	0.569	0.598	0.827	1.113	3.404	1.102	1.130	1.359	1.646	3.936
$d - \delta_D=0.75$	0.557	0.585	0.815	1.101	3.392	1.089	1.118	1.347	1.633	3.924
$f - \delta_D=0.5$	0.596	0.624	0.847	1.125	3.353	1.316	1.343	1.566	1.845	4.073
$f - \delta_D=0.75$	0.584	0.612	0.835	1.113	3.341	1.304	1.332	1.554	1.833	4.061
$i - \delta_D=0.5$	1.167	1.217	1.618	2.118	6.125	2.999	3.049	3.450	3.950	7.957
$i - \delta_D=0.75$	1.167	1.217	1.618	2.118	6.125	2.999	3.049	3.450	3.950	7.957

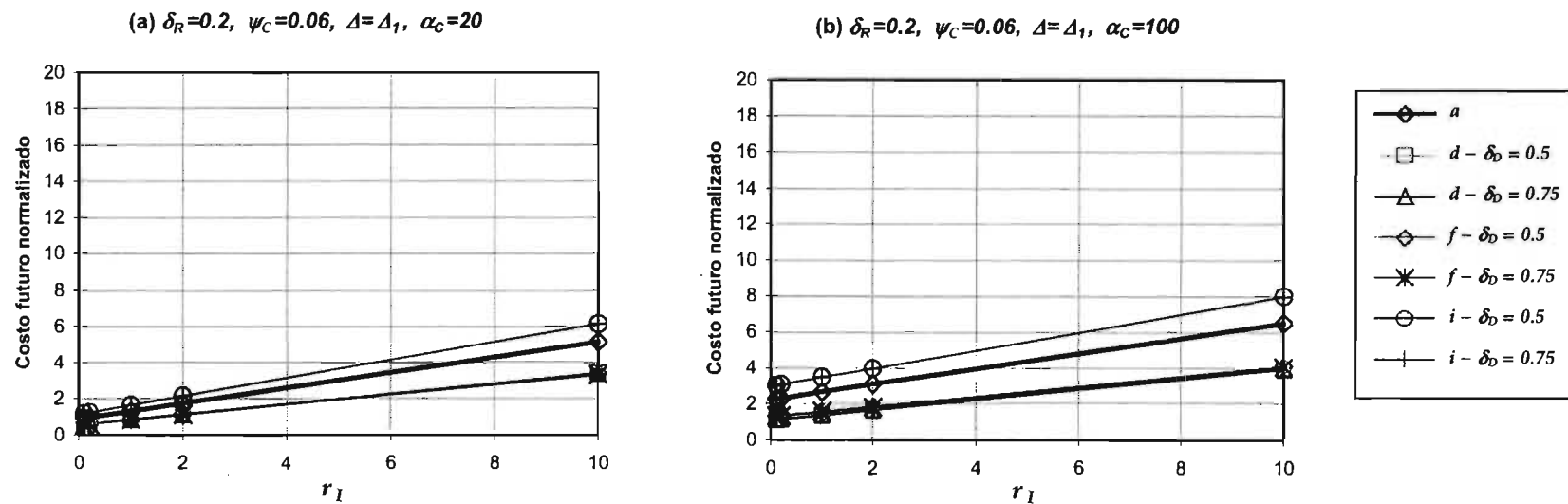


Figura 8.6 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.5 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	2.387	2.416	2.649	2.941	5.272	10.355	10.384	10.617	10.909	13.240
$d - \delta_D=0.5$	1.594	1.602	1.670	1.754	2.430	6.003	6.012	6.079	6.164	6.840
$d - \delta_D=0.75$	1.583	1.592	1.659	1.744	2.420	5.993	6.001	6.069	6.153	6.829
$f - \delta_D=0.5$	2.174	2.188	2.298	2.436	3.540	10.038	10.051	10.162	10.300	11.404
$f - \delta_D=0.75$	2.162	2.176	2.286	2.424	3.528	10.026	10.040	10.150	10.288	11.392
$i - \delta_D=0.5$	3.030	3.049	3.200	3.390	4.907	14.161	14.180	14.331	14.521	16.038
$i - \delta_D=0.75$	3.030	3.049	3.200	3.390	4.907	14.161	14.180	14.331	14.521	16.038

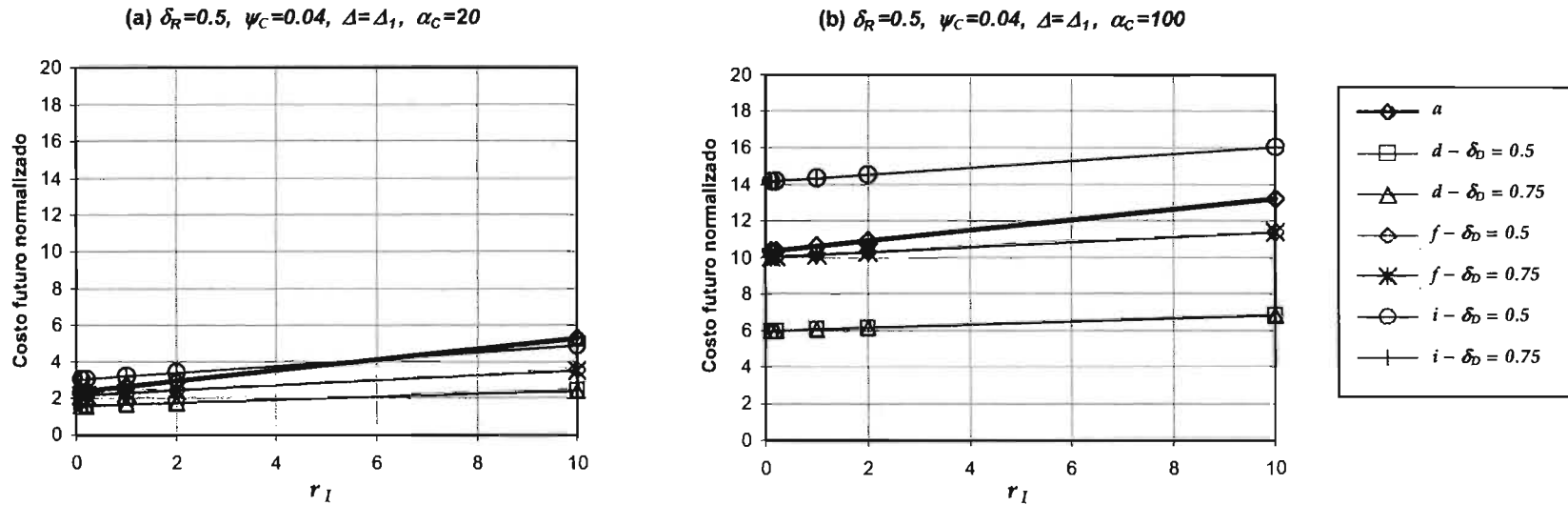


Figura 8.7 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.6 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta \pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	0.816	0.850	1.122	1.462	4.182	2.240	2.274	2.546	2.886	5.606
$d - \delta_D=0.5$	0.405	0.414	0.493	0.590	1.373	1.021	1.031	1.109	1.207	1.990
$d - \delta_D=0.75$	0.394	0.404	0.482	0.580	1.362	1.011	1.021	1.099	1.197	1.979
$f - \delta_D=0.5$	0.632	0.647	0.770	0.924	2.156	2.247	2.263	2.386	2.540	3.772
$f - \delta_D=0.75$	0.620	0.635	0.759	0.913	2.145	2.236	2.251	2.374	2.528	3.760
$i - \delta_D=0.5$	0.934	0.958	1.151	1.393	3.325	3.411	3.435	3.628	3.870	5.802
$i - \delta_D=0.75$	0.934	0.958	1.151	1.393	3.325	3.411	3.435	3.628	3.870	5.802

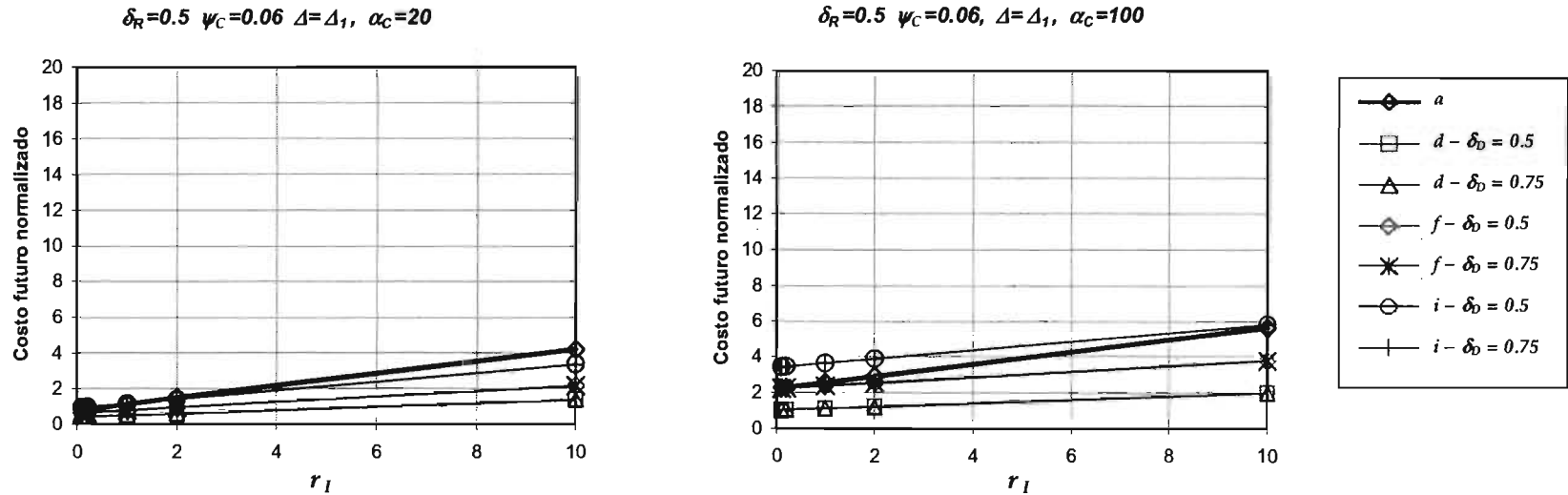


Figura 8.8 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.7 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	2.546	2.583	2.882	3.257	6.250	10.630	10.667	10.966	11.340	14.334
$d - \delta_D=0.5$	1.681	1.707	1.914	2.174	4.250	6.235	6.260	6.468	6.728	8.804
$d - \delta_D=0.75$	1.668	1.694	1.902	2.161	4.238	6.222	6.248	6.456	6.715	8.792
$f - \delta_D=0.5$	2.081	2.105	2.304	2.551	4.531	8.912	8.936	9.134	9.382	11.362
$f - \delta_D=0.75$	2.069	2.094	2.292	2.539	4.520	8.900	8.924	9.123	9.370	11.350
$i - \delta_D=0.5$	3.190	3.234	3.588	4.030	7.565	13.426	13.470	13.824	14.266	17.801
$i - \delta_D=0.75$	3.190	3.234	3.588	4.030	7.565	13.426	13.470	13.824	14.266	17.801

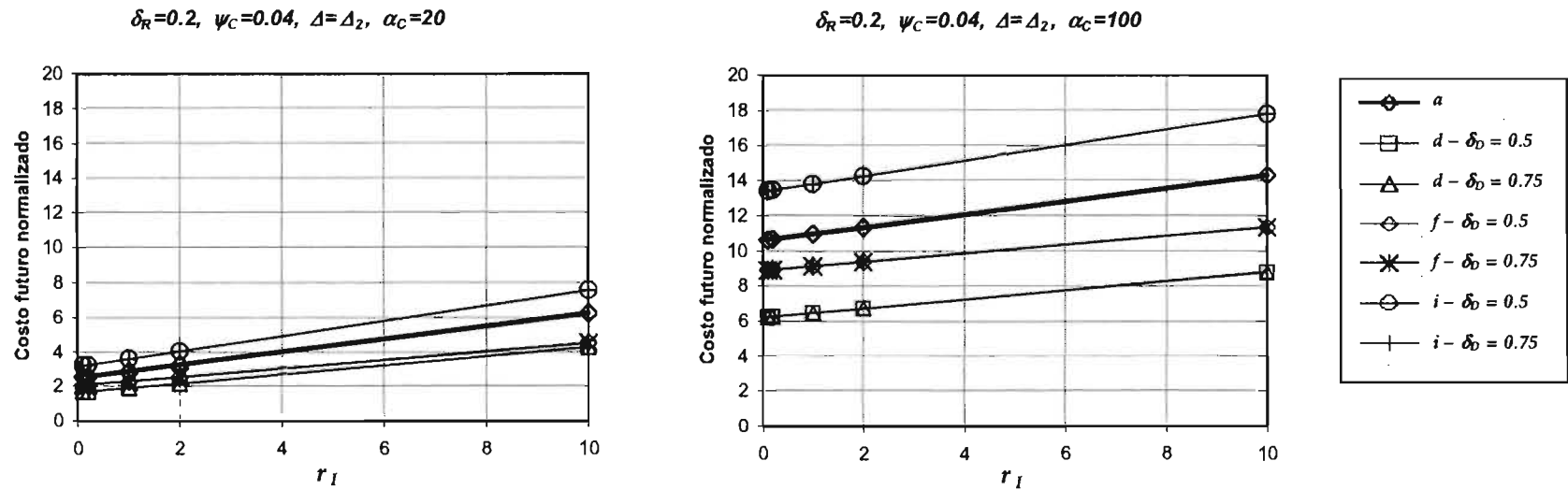


Figura 8.9 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.8 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	0.969	1.011	1.350	1.773	5.160	2.482	2.524	2.863	3.287	6.674
$d - \delta_D=0.5$	0.588	0.616	0.845	1.131	3.418	1.184	1.212	1.441	1.727	4.014
$d - \delta_D=0.75$	0.575	0.604	0.833	1.119	3.406	1.171	1.200	1.428	1.714	4.001
$f - \delta_D=0.5$	0.629	0.657	0.879	1.157	3.379	1.487	1.514	1.737	2.014	4.237
$f - \delta_D=0.75$	0.618	0.645	0.867	1.145	3.367	1.475	1.502	1.725	2.002	4.225
$i - \delta_D=0.5$	1.197	1.247	1.647	2.147	6.144	3.156	3.206	3.606	4.105	8.103
$i - \delta_D=0.75$	1.197	1.247	1.647	2.147	6.144	3.156	3.206	3.606	4.105	8.103

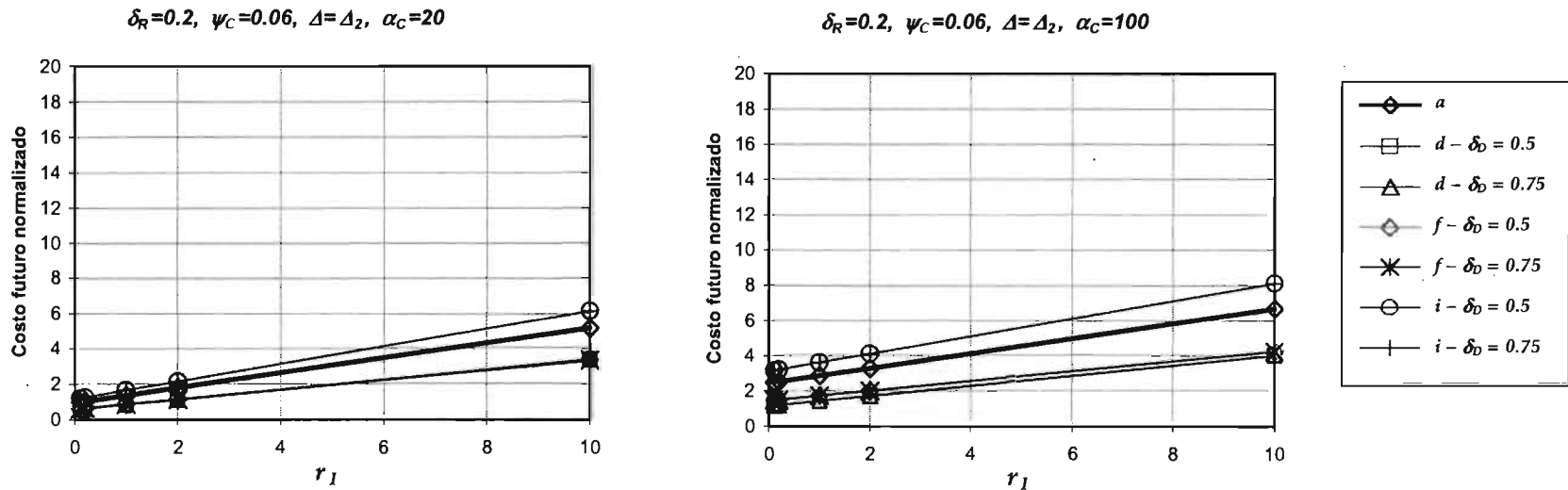


Figura 8.10 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.9 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_c=20$					$r_i$ y $\alpha_c=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	2.711	2.739	2.964	3.246	5.500	12.025	12.053	12.279	12.561	14.815
$d - \delta_D=0.5$	2.022	2.029	2.089	2.164	2.764	7.360	7.367	7.427	7.502	8.102
$d - \delta_D=0.75$	2.011	2.019	2.079	2.154	2.753	7.349	7.357	7.417	7.491	8.091
$f - \delta_D=0.5$	2.729	2.742	2.845	2.973	4.003	12.858	12.871	12.974	13.103	14.133
$f - \delta_D=0.75$	2.717	2.730	2.833	2.962	3.992	12.847	12.859	12.962	13.091	14.121
$i - \delta_D=0.5$	3.558	3.576	3.723	3.905	5.366	16.838	16.856	17.002	17.185	18.646
$i - \delta_D=0.75$	3.558	3.576	3.723	3.905	5.366	16.838	16.856	17.002	17.185	18.646

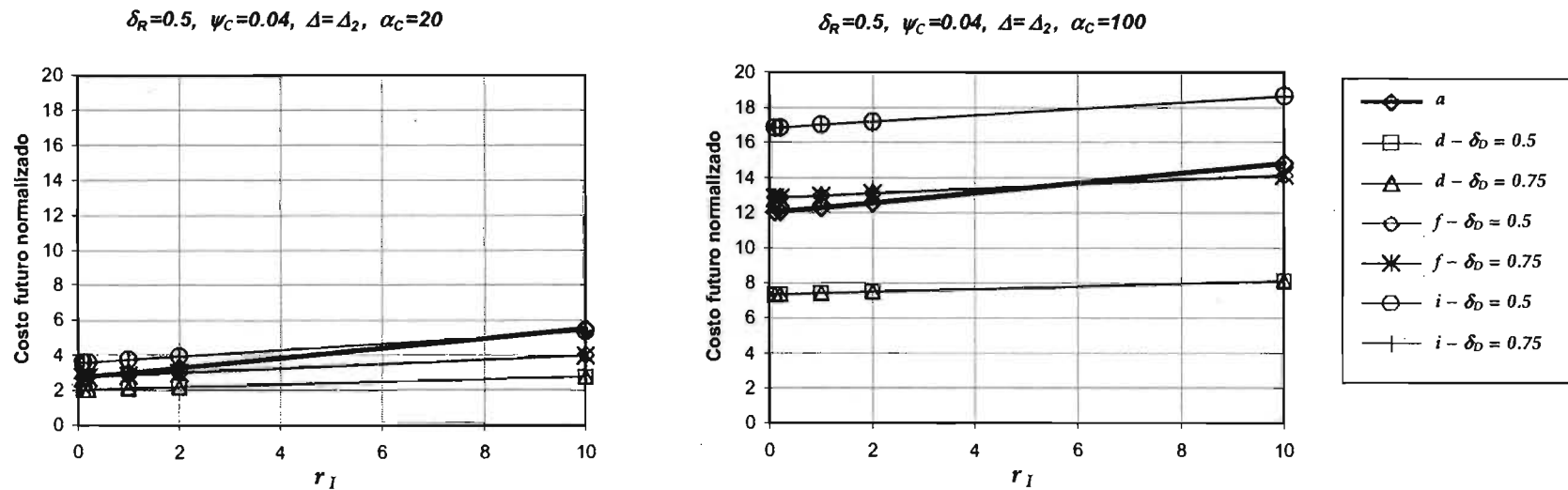


Figura 8.11 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .



Tabla 8.10 Costos futuros normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	0.936	0.970	1.239	1.575	4.265	2.861	2.895	3.164	3.500	6.190
$d - \delta_D=0.5$	0.708	0.717	0.788	0.878	1.593	1.727	1.736	1.807	1.897	2.612
$d - \delta_D=0.75$	0.697	0.706	0.778	0.867	1.582	1.716	1.725	1.797	1.886	2.601
$f - \delta_D=0.5$	1.058	1.073	1.187	1.331	2.479	4.432	4.446	4.561	4.705	5.853
$f - \delta_D=0.75$	1.046	1.061	1.176	1.319	2.467	4.420	4.435	4.549	4.693	5.841
$i - \delta_D=0.5$	1.241	1.265	1.453	1.688	3.568	4.977	5.001	5.189	5.424	7.304
$i - \delta_D=0.75$	1.241	1.265	1.453	1.688	3.568	4.977	5.001	5.189	5.424	7.304

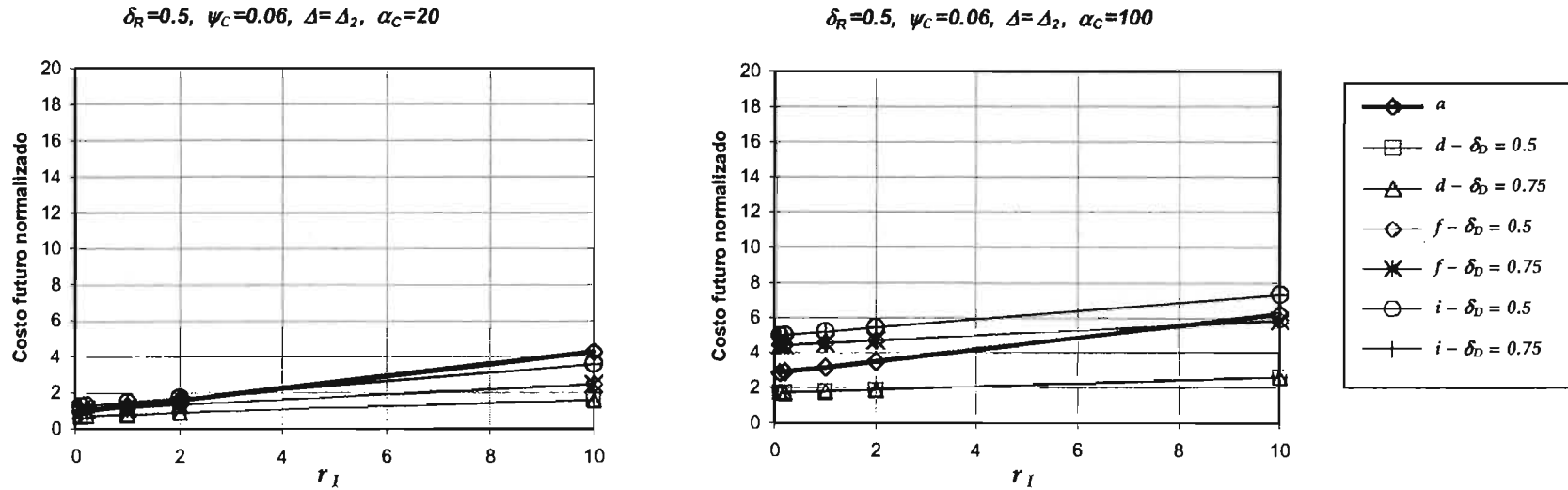


Figura 8.12 Costo futuro de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

### 8.4.1 Análisis de los costos futuros de los sistemas

Estos análisis están basados en la revisión del conjunto de Tablas 8.3 a 8.10 y en las Figs. de la 8.5 a la 8.12 que muestran la esperanza del costo futuro de los sistemas, de 5 realizaciones de cada marco sometidos, cada realización, a 5 historias de temblores. Los costos se presentan normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$  y están determinados con distintos umbrales de reparación ( $\delta_R=0.2$  y  $0.5$ ), distinto valor del umbral de colapso ( $\psi_C=0.04$  y  $0.06$ ), distinto valor de consecuencias de colapso ( $\alpha_C=20$  y  $100$ ), distinto umbral de reemplazo de EDES ( $\delta_D=0.50$  y  $0.75$ ), distintos factores de consecuencias de daños ( $r_I=0.1, 0.2, 1, 2$  y  $10$ ) y distinto valor de la componente del factor de reducción del índice confiabilidad de la estructura ( $\Delta=\Delta_1$  y  $\Delta_2$  de las Ecs. 8.17 y 8.18).

Como aspectos generales, estas figuras y tablas muestran lo siguiente:

- a) El costo futuro normalizado de los sistemas y el nivel del factor de consecuencias de daños  $r_I$  se relacionan linealmente mediante una recta con pendiente positiva. A medida que  $r_I$  aumenta el costo futuro también lo hace.
- b) En los marcos con EDES no se aprecia la influencia, sobre los costos futuros, de la variación del umbral que determina el reemplazo de dichos dispositivos.
- c) El crecimiento del costo futuro es más rápido para los sistemas  $a$  e  $i$ , con marcos sin disipadores y con tales dispositivos solamente en los cuatro primeros niveles respectivamente, que para los sistemas  $d$  y  $f$ , ambos con disipadores en todos los entresijos.
- d) Para valores constantes de parámetros en la política de mantenimiento hay un mayor costo futuro cuando las consecuencias de colapso son mayores.
- e) Este costo futuro es notoriamente mayor cuando el umbral para la distorsión de colapso es menor.
- f) En todos los casos, los costos futuros del sistema  $d$  siempre son los más bajos, seguido del sistema  $f$ . Los costos futuros mayores corresponden a los sistemas  $a$  e  $i$ , siendo los del sistema  $i$  los costos más altos.
- g) Los costos futuros son mayores cuando se emplea la segunda opción ( $\Delta_2$ ) en el factor reductivo de la confiabilidad.
- h) El costo futuro es mayor cuando el umbral de reparación es mayor.

## 8.5 COSTO TOTAL ESPERADO DE LOS SISTEMAS

Se suman los dos grupos de costos para determinar el costo total como en la Ec. 8.1:  $E[C]=C_o + C_F$ . Las Tablas 8.11 a 8.18 y las Figs. 8.13 a 8.20 muestran,

para cada sistema, la esperanza del costo total normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ , los cuales están calculados con diferentes parámetros como se comenta en la Sección 8.4.1.

Las figuras permiten apreciar claramente el comportamiento general de los costos totales, los cuales son similares a los encontrados para los costos futuros, es decir

- a) El costo total de los sistemas y el factor de consecuencias de daño  $r_I$  se relacionan linealmente mediante una recta con pendiente positiva. A medida que  $r_I$  aumenta el costo futuro también lo hace.
- b) En los marcos con EDES no se aprecia la influencia, sobre el costo total, de la variación del umbral que determina el reemplazo de dichos dispositivos.
- c) El crecimiento del costo total es más rápido para los sistemas  $a$  e  $i$ , con marcos sin disipadores y con tales dispositivos solamente en los cuatro primeros niveles respectivamente, que para los sistemas  $d$  y  $f$ , ambos con disipadores en todos los entresijos.
- d) Para valores constantes de parámetros en la política de mantenimiento hay un mayor costo total cuando las consecuencias de colapso son mayores.
- e) Este costo total es notoriamente mayor cuando el umbral para la distorsión de colapso es menor.
- f) En todos los casos, el costo total del sistema  $d$  siempre es el más bajo, seguido del sistema  $f$ . Los costos totales mayores corresponden a los sistemas  $a$  e  $i$ , siendo los del sistema  $i$  los costos más altos.
- g) Los costos totales son mayores cuando se emplea la segunda opción ( $\Delta_2$ ) en el factor reductivo de la confiabilidad.
- h) El costo total es mayor cuando el umbral de reparación de la parte convencional del marco es mayor.

En general, el sistema  $a$  es más costoso que los sistemas  $d$  y  $f$ , pero es más barato que el sistema  $i$ . Por ejemplo, para el caso en que  $\delta_R=0.2$ ,  $\psi_C=0.04$ ,  $\Delta_2$ , y para  $r_I=10$  (Tabla 8.15), el costo normalizado del sistema  $a$  es 7.25 para  $\alpha_C=20$ , que es menor a los 8.594 del marco  $i$ , pero es mayor a 5.34 del sistema  $d$  y a los 5.62 del sistema  $f$ .

De la observación de las figuras y tablas se encuentra que el sistema  $d$  es la estructura óptima, más económica y más segura (Apéndice E), y por lo tanto se debe proyectar este tipo de estructura con las características de dicho sistema. Además, para niveles de parámetros de evaluación constantes, es recomendable utilizar el umbral de reparación  $\delta_R=0.5$ . La comparación del costo de los sistemas a largo plazo pone de manifiesto la muy buena

alternativa del empleo en la construcción de edificios de los sistemas que emplean EDES con características similares al del sistema *d*.

El Apéndice E se muestra la evolución de los índices de confiabilidad de estos cuatro sistemas. También, se muestran la evolución de los índices de daño en el tiempo teniéndose en cuenta las reparaciones realizadas.

Es muy importante apreciar que la toma de decisiones estará regida por el costo total a largo plazo, ya que dichos montos son muy superiores a los costos iniciales de construcción de los sistemas.

Tabla 8.11 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_c = 20$					$r_i$ y $\alpha_c = 100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	3.435	3.473	3.775	4.153	7.177	11.056	11.093	11.396	11.774	14.798
$d - \delta_D = 0.5$	2.641	2.667	2.877	3.140	5.241	6.729	6.756	6.966	7.228	9.330
$d - \delta_D = 0.75$	2.628	2.654	2.865	3.127	5.228	6.717	6.743	6.953	7.216	9.317
$f - \delta_D = 0.5$	2.974	2.999	3.201	3.452	5.464	9.005	9.030	9.231	9.482	11.494
$f - \delta_D = 0.75$	2.962	2.988	3.189	3.440	5.452	8.993	9.018	9.219	9.471	11.482
$i - \delta_D = 0.5$	4.165	4.210	4.565	5.008	8.559	14.179	14.224	14.579	15.022	18.573
$i - \delta_D = 0.75$	4.165	4.210	4.565	5.008	8.559	14.179	14.224	14.579	15.022	18.573

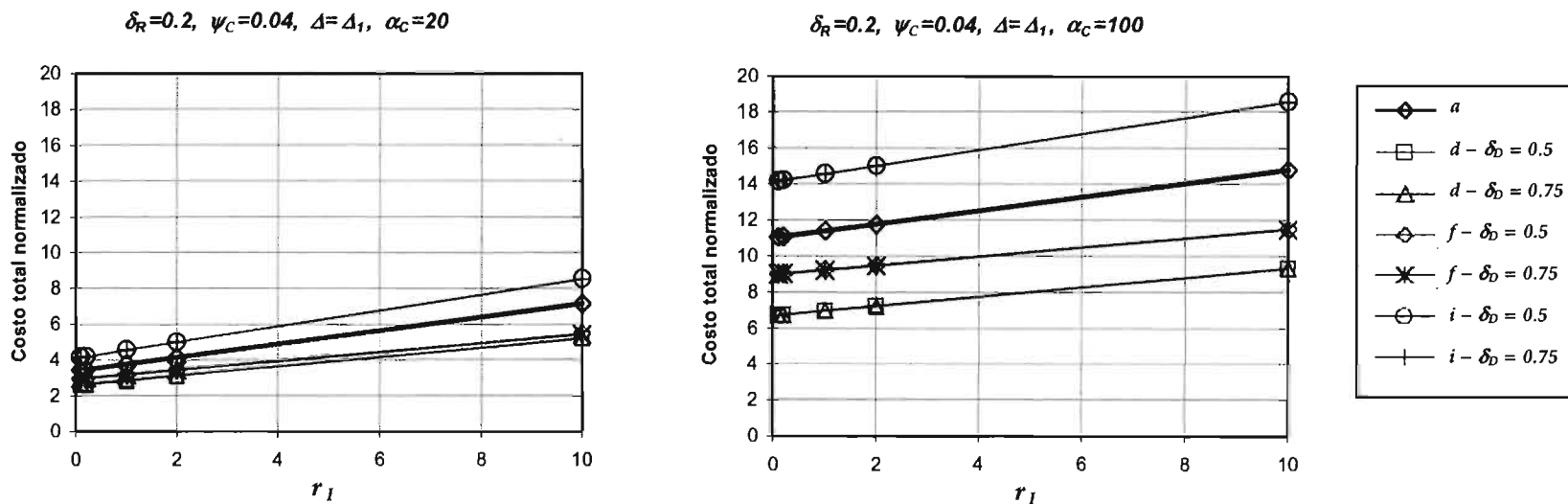


Figura 8.13 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.12 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	1.928	1.971	2.311	2.736	6.135	3.274	3.316	3.656	4.081	7.480
$d - \delta_D=0.5$	1.661	1.690	1.919	2.205	4.496	2.193	2.222	2.451	2.737	5.028
$d - \delta_D=0.75$	1.648	1.677	1.906	2.193	4.483	2.181	2.209	2.438	2.725	5.015
$f - \delta_D=0.5$	1.684	1.712	1.935	2.214	4.441	2.404	2.432	2.655	2.933	5.161
$f - \delta_D=0.75$	1.672	1.700	1.923	2.202	4.430	2.392	2.420	2.643	2.921	5.149
$i - \delta_D=0.5$	2.196	2.246	2.646	3.147	7.153	4.028	4.078	4.478	4.979	8.985
$i - \delta_D=0.75$	2.196	2.246	2.646	3.147	7.153	4.028	4.078	4.478	4.979	8.985

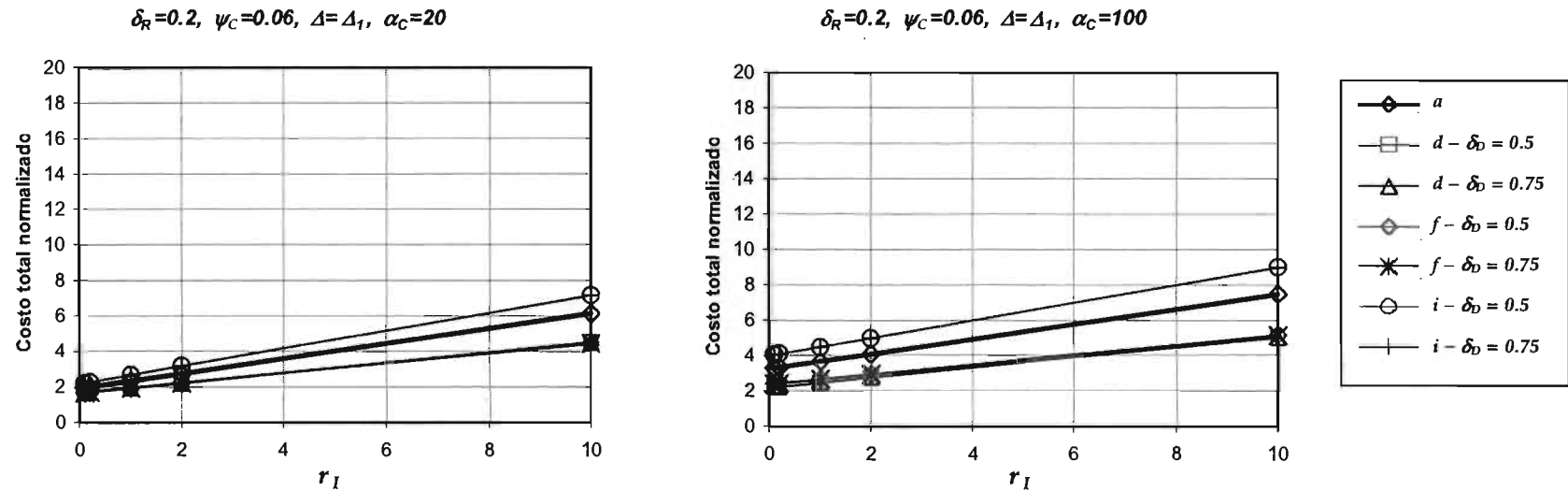


Figura 8.14 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.13 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_I$ y $\alpha_C=20$					$r_I$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	3.387	3.416	3.649	3.941	6.272	11.355	11.384	11.617	11.909	14.240
$d - \delta_D=0.5$	2.686	2.694	2.762	2.846	3.522	7.095	7.103	7.171	7.256	7.932
$d - \delta_D=0.75$	2.675	2.683	2.751	2.836	3.512	7.084	7.093	7.160	7.245	7.921
$f - \delta_D=0.5$	3.262	3.276	3.386	3.524	4.628	11.126	11.140	11.250	11.388	12.492
$f - \delta_D=0.75$	3.250	3.264	3.375	3.513	4.616	11.114	11.128	11.238	11.376	12.480
$i - \delta_D=0.5$	4.058	4.077	4.229	4.419	5.935	15.190	15.209	15.360	15.550	17.066
$i - \delta_D=0.75$	4.058	4.077	4.229	4.419	5.935	15.190	15.209	15.360	15.550	17.066

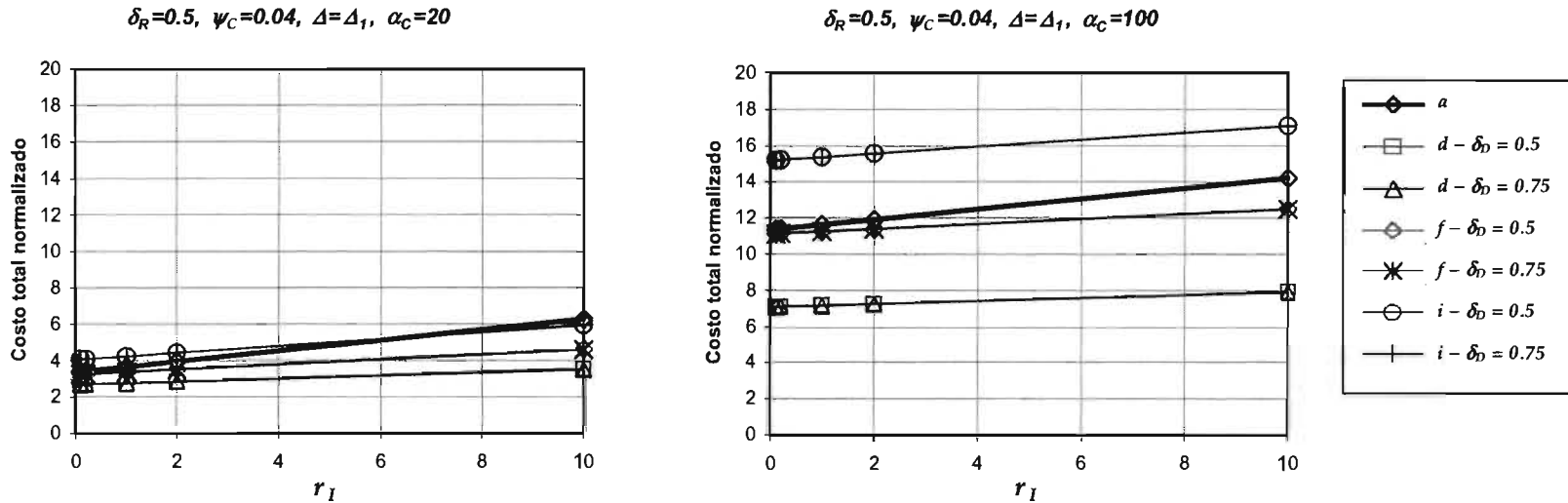


Figura 8.15 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.14 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	1.816	1.850	2.122	2.462	5.182	3.240	3.274	3.546	3.886	6.606
$d - \delta_D=0.5$	1.496	1.506	1.584	1.682	2.465	2.113	2.123	2.201	2.299	3.081
$d - \delta_D=0.75$	1.486	1.495	1.574	1.672	2.454	2.103	2.112	2.191	2.288	3.071
$f - \delta_D=0.5$	1.720	1.736	1.859	2.013	3.245	3.336	3.351	3.475	3.629	4.861
$f - \delta_D=0.75$	1.708	1.724	1.847	2.001	3.233	3.324	3.340	3.463	3.617	4.849
$i - \delta_D=0.5$	1.963	1.987	2.180	2.422	4.354	4.440	4.464	4.657	4.898	6.830
$i - \delta_D=0.75$	1.963	1.987	2.180	2.422	4.354	4.440	4.464	4.657	4.898	6.830

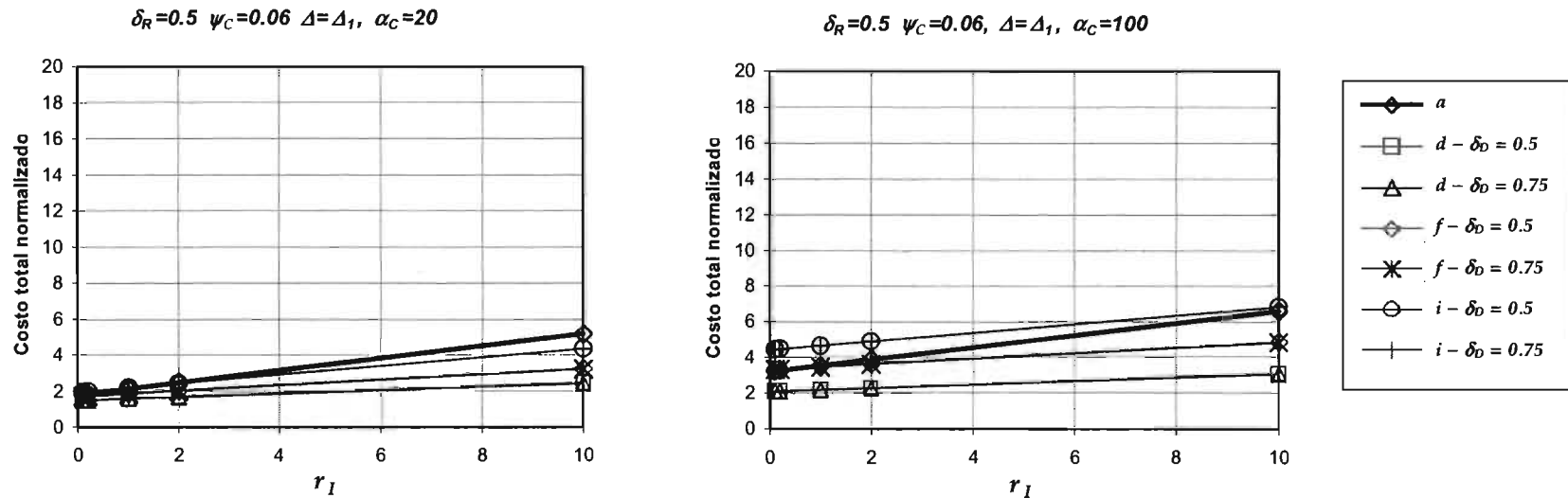


Figura 8.16 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .



Tabla 8.15 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	3.546	3.583	3.882	4.257	7.250	11.630	11.667	11.966	12.340	15.334
$d - \delta_D=0.5$	2.772	2.798	3.006	3.265	5.342	7.326	7.352	7.560	7.819	9.896
$d - \delta_D=0.75$	2.760	2.786	2.993	3.253	5.330	7.314	7.340	7.547	7.807	9.883
$f - \delta_D=0.5$	3.169	3.194	3.392	3.639	5.620	10.000	10.025	10.223	10.470	12.451
$f - \delta_D=0.75$	3.157	3.182	3.380	3.628	5.608	9.988	10.013	10.211	10.458	12.439
$i - \delta_D=0.5$	4.219	4.263	4.616	5.058	8.594	14.455	14.499	14.853	15.295	18.830
$i - \delta_D=0.75$	4.219	4.263	4.616	5.058	8.594	14.455	14.499	14.853	15.295	18.830

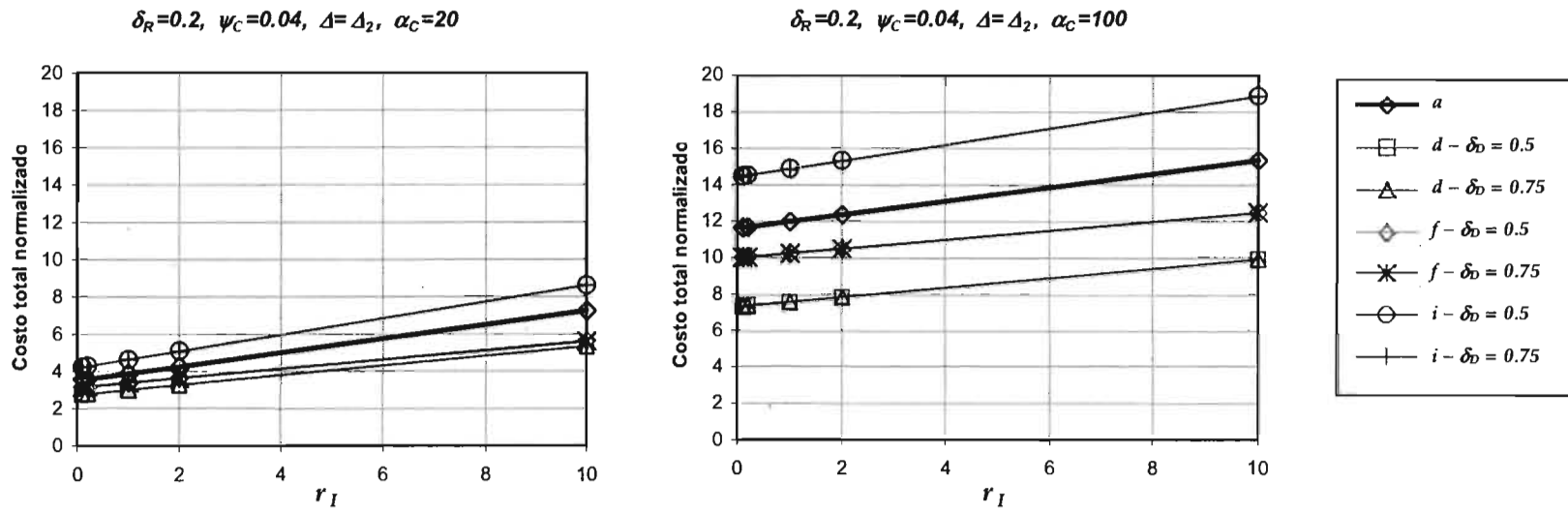


Figura 8.17 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.16 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	1.969	2.011	2.350	2.773	6.160	3.482	3.524	3.863	4.287	7.674
$d - \delta_D=0.5$	1.679	1.708	1.937	2.223	4.510	2.275	2.304	2.533	2.818	5.106
$d - \delta_D=0.75$	1.667	1.696	1.924	2.210	4.497	2.263	2.291	2.520	2.806	5.093
$f - \delta_D=0.5$	1.718	1.746	1.968	2.246	4.468	2.575	2.603	2.825	3.103	5.325
$f - \delta_D=0.75$	1.706	1.734	1.956	2.234	4.456	2.563	2.591	2.813	3.091	5.313
$i - \delta_D=0.5$	2.226	2.276	2.676	3.175	7.173	4.185	4.235	4.634	5.134	9.132
$i - \delta_D=0.75$	2.226	2.276	2.676	3.175	7.173	4.185	4.235	4.634	5.134	9.132

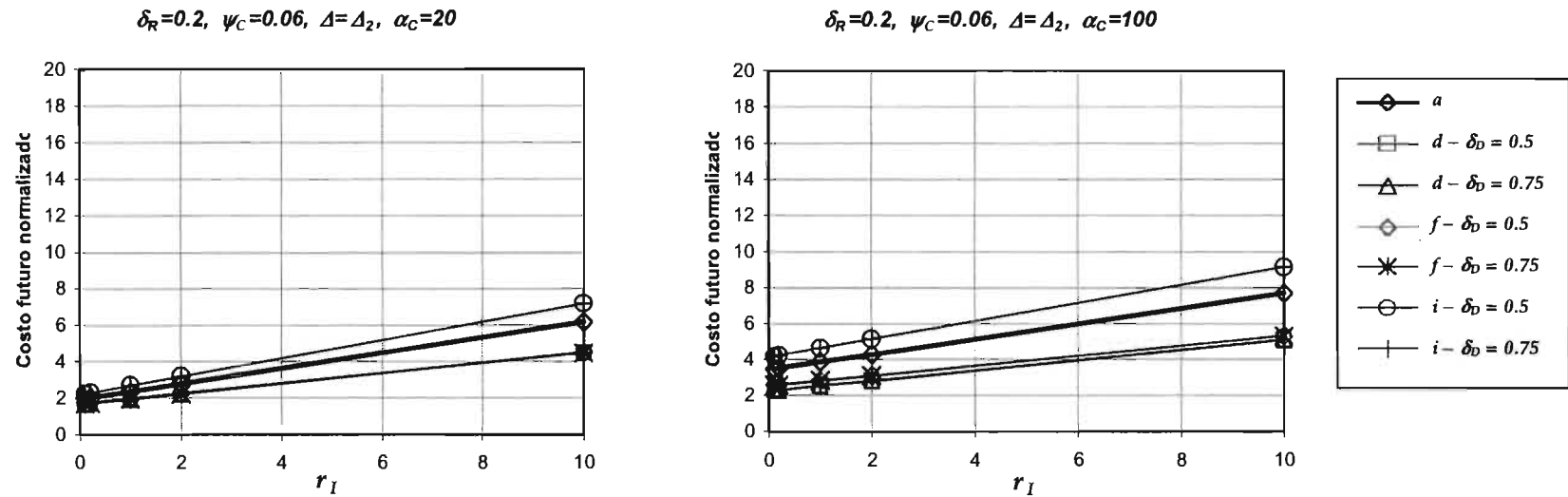


Figura 8.18 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.17 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_I$ y $\alpha_C=20$					$r_I$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	3.711	3.739	3.964	4.246	6.500	13.025	13.053	13.279	13.561	15.815
$d - \delta_D=0.5$	3.113	3.121	3.181	3.256	3.856	8.451	8.459	8.519	8.594	9.193
$d - \delta_D=0.75$	3.103	3.110	3.170	3.245	3.845	8.441	8.448	8.508	8.583	9.183
$f - \delta_D=0.5$	3.817	3.830	3.933	4.062	5.092	13.947	13.960	14.063	14.191	15.221
$f - \delta_D=0.75$	3.805	3.818	3.921	4.050	5.080	13.935	13.948	14.051	14.180	15.210
$i - \delta_D=0.5$	4.587	4.605	4.751	4.934	6.395	17.867	17.885	18.031	18.214	19.675
$i - \delta_D=0.75$	4.587	4.605	4.751	4.934	6.395	17.867	17.885	18.031	18.214	19.675

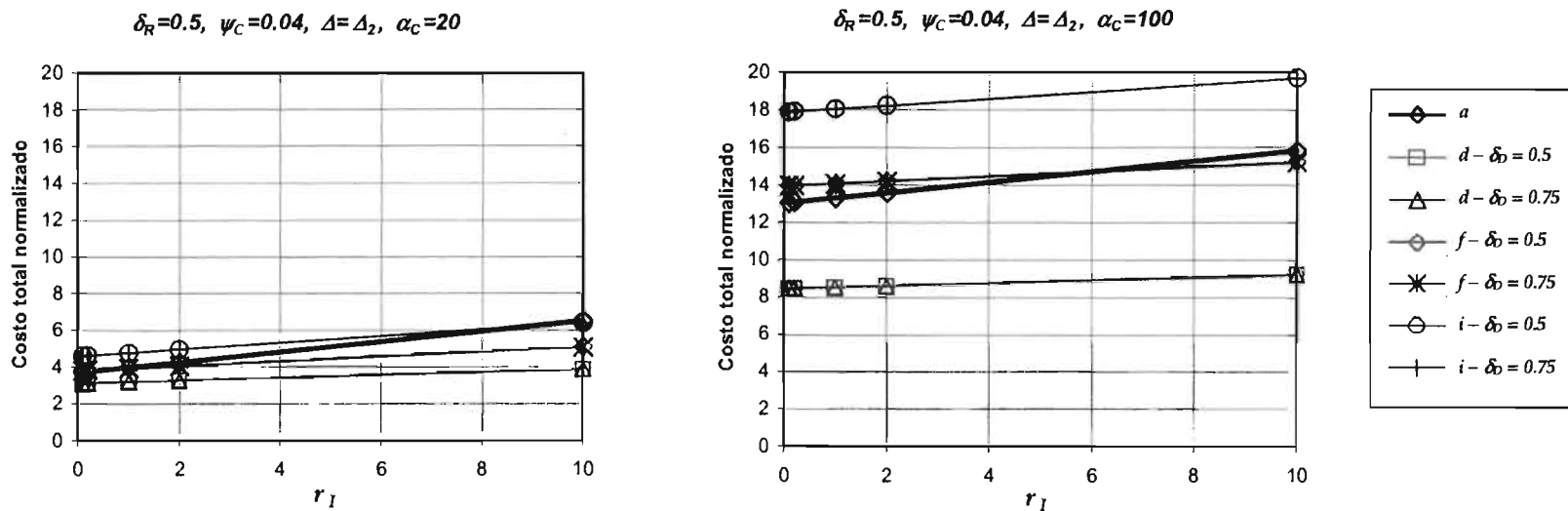


Figura 8.19 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

Tabla 8.18 Costo total esperado normalizado con respecto al costo inicial del marco  $a$ .  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Sistema	$r_i$ y $\alpha_C=20$					$r_i$ y $\alpha_C=100$				
	0.1	0.2	1	2	10	0.1	0.2	1	2	10
$a$	1.936	1.970	2.239	2.575	5.265	3.861	3.895	4.164	4.500	7.190
$d - \delta_D=0.5$	1.799	1.808	1.880	1.969	2.684	2.818	2.827	2.899	2.988	3.703
$d - \delta_D=0.75$	1.789	1.798	1.869	1.959	2.674	2.808	2.817	2.888	2.978	3.693
$f - \delta_D=0.5$	2.147	2.161	2.276	2.419	3.568	5.520	5.535	5.650	5.793	6.941
$f - \delta_D=0.75$	2.135	2.149	2.264	2.408	3.556	5.509	5.523	5.638	5.781	6.930
$i - \delta_D=0.5$	2.270	2.293	2.481	2.716	4.597	6.006	6.029	6.217	6.452	8.333
$i - \delta_D=0.75$	2.270	2.293	2.481	2.716	4.597	6.006	6.029	6.217	6.452	8.333

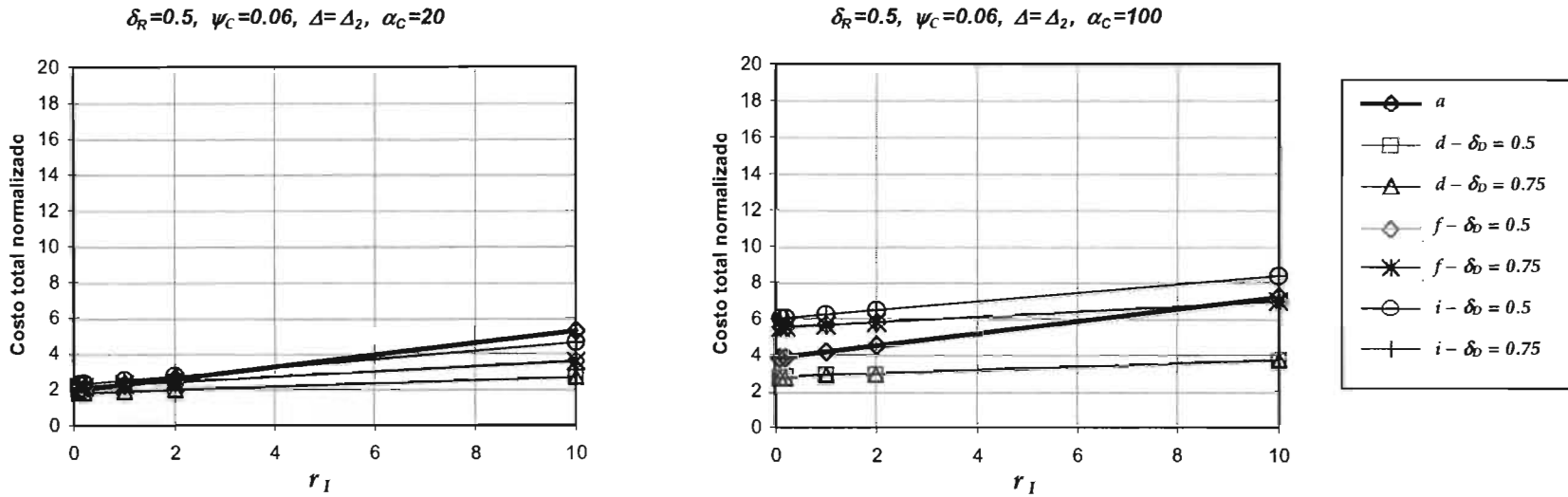


Figura 8.20 Esperanza del costo total de los sistemas normalizados con respecto al costo inicial del marco  $a$ .

# Conclusiones y Recomendaciones

El método desarrollado permite aplicar la optimización de las estructuras con intervalos amplios en características de diseño y con distintos umbrales en la política de mantenimiento. Puede ser tan detallado como sea requerido sin perder rigor.

La información y las herramientas desarrolladas se aplicaron a los estudios de optimización, para varias estructuras específicas y para diversas alternativas de diseño y diferentes políticas de mantenimiento y reparación. Las estructuras están compuestas por un marco de concreto reforzado, formado por vigas y columnas, dotado de disipadores de energía histeréticos de acero tipo U y se suponen desplantados en la zona de suelo blando de la ciudad de México. Los marcos tienen dos crujías de 7 m de claro y 14 entrepisos de 3 m de alto, con excepción de la planta baja que tiene 3.5 m. Se emplearon nueve tipos de marcos con disipadores, cada uno de ellos con características distintas en cuanto a las propiedades mecánicas relacionadas con los EDES y los elementos de CR. Para el diseño sísmico de los marcos se emplearon como sollicitación sísmica espectros de aceleraciones obtenidas a partir de un conjunto de sismos simulados a partir del temblor registrado en la SCT el 19 de septiembre de 1985, componente este oeste y se consideró una

distorsión de entrepiso igual a 0.012. La información resultante permitirá a los ingenieros a cargo del proyecto de marcos similares a los estudiados a hacer una selección informada sobre las características generales del sistema estructural que conducirán a una solución más eficiente a largo plazo.

Se ha propuesto un criterio de diseño estructural basado en demandas de ductilidad tolerables. También se presenta un planteamiento y se desarrollan los modelos matemáticos para realizar estudios de optimización sobre diseño y políticas de mantenimiento y reparación de las estructuras. Además, se han desarrollado los modelos y las herramientas de cálculo para obtener índices de daño acumulado y medidas de la confiabilidad de las estructuras consideradas ante posibles excitaciones sísmicas para secuencias aleatorias de dichos eventos, así como para calcular los valores presentes de los costos esperados de daños, mantenimiento y reparación de tales estructuras ante las posibles historias sísmicas. Estos valores son necesarios para realizar los estudios de optimización citados arriba.

Las herramientas desarrolladas se han empleado, entre otros conceptos, para calcular demandas de ductilidad de entrepiso e índices de daño en los diferentes tipos de marcos estructurales dotados de elementos disipadores de energía ante sismos de intensidades dadas, así como para obtener índices de daño acumulado ante historias sísmicas simuladas como procesos aleatorios de Poisson con selección de la intensidad de cada evento como una variable aleatoria independiente de los tiempos de ocurrencia e intensidades de los eventos anteriores.

Entre las herramientas desarrolladas, que son un aporte importante de esta investigación, se encuentran el método de análisis y diseño de los marcos con EDES, que fue programado para ser aplicado a las diferentes alternativas de marcos utilizados. El método permite realizar el diseño de los marcos con las características o variables de control que sean requeridos. Este método supone ductilidades tolerables pero puede migrar hacia un diseño por desplazamientos.

También se aporta un modelo de comportamiento histerético y de daño, que considera la degradación de rigidez y resistencia, para elementos de CR. Es un modelo planteado con base en la información experimental sobre curvas histeréticas de sistemas de vigas en voladizo ensayados en laboratorio por distintos investigadores. Este modelo fue incorporado, como un nuevo elemento, dentro del programa DRAIN 2D que fue utilizado para el análisis de las respuestas sísmicas. La dispersión que muestra el índice de daño local en los elementos de CR no fue tomado en cuenta en los análisis, se emplea el valor medio de dicho índice.

Se incluyó también, un modelo de daño por fatiga para los EDES considerando la regla de Miner sobre las amplitudes en desplazamientos y

considerando también información de ensayos en laboratorio realizados por Aguirre y Sánchez (1992). Para tomar en cuenta los ciclos irregulares de las amplitudes se consideró el método contador de intervalos. Este modelo también fue incorporado al DRAIN 2D de manera que se tienen como resultado los índices de daño de los disipadores lo cual a su vez permitió identificar los EDES que necesitaban ser reemplazados.

Para la evaluación de las respuestas se utilizaron propiedades aleatorias de las dimensiones geométricas de los elementos de CR, así como de sus resistencias, del concreto, del acero de refuerzo y del acero de los disipadores. También son aleatorias las cargas muertas y vivas. Esto permitió construir las diferentes realizaciones para cada sistema estructural.

Se incluyó también, un modelo de sismicidad como un proceso de Poisson para definir el peligro sísmico en la zona de suelo blando de la ciudad de México. Este modelo permitió simular los tiempos de ocurrencia de los sismos y sus intensidades que se emplearon en los análisis a largo plazo.

Se propuso un índice de colapso para cada entrepiso ( $D_{ki}$ ) y para la estructura global ( $D_k$ ), basado en la degradación de la rigidez de los entrepisos. La degradación de rigidez de un entrepiso depende del estado de daño de los elementos que lo componen y principalmente de los elementos de CR, de manera que cuando se esté formando un mecanismo de colapso el índice estará cerca de la unidad. Es empleado exclusivamente para el cálculo de la confiabilidad ante colapso sísmico de las estructuras. No se cuenta con información para validar este índice con valores intermedios de degradación de rigidez de entrepisos.

La primera etapa de la optimización, donde se considera un temblor de intensidad elevada, permitió seleccionar los tipos de marcos dotados de EDES con mejor respuesta estructural, incluso con mejor respuesta que el marco de CR, sistema de referencia. Se seleccionó los tipos de marcos  $d$  y  $f$ , que tienen disipadores en todos los entrepisos, y al marco  $i$ , de piso blando y con EDES hasta el cuarto nivel, casi el 30% de la altura del edificio.

Los marcos con EDES seleccionados y el de referencia, en uno de los casos, son sometidos a historias de temblores aleatorios para un lapso de 100 años sin que se realicen reparaciones (Cap. 7). Los tres marcos con EDES seleccionados siguen siendo las mejores alternativas, desde el punto de vista estructural, que el sistema de referencia. Empleando el índice de colapso global, los marcos  $d$  y  $f$  tienen un índice de confiabilidad de 1.69 y 1.90 respectivamente, mientras que los sistemas  $i$  y  $a$  tienen 1.19 y 1.14 respectivamente. Las distorsiones medidas al final de la historia también nos informan que los marcos  $d$  y  $f$  tienen mejor comportamiento, seguidos del sistema  $i$ , mientras que el sistema de referencia sufrió las mayores

distorsiones. De este análisis se concluye que la estructura óptima está entre los marcos  $d$  y  $f$ .

Dada la necesidad de establecer umbrales de reparación y aplicar los costos asociados se introdujo un índice de daño por entrepiso como función de la distorsión de dicho entrepiso. Y, como índice de daño global, a aquel índice correspondiente al entrepiso que tubo la mayor distorsión. Dado que se conoce la distorsión de falla de los marcos se pudieron obtener los índices de confiabilidad respectivos.

La investigación permitió encontrar, que el sistema  $d$  cumple como la estructura óptima, se encuentra que siempre es la más segura y más económica. Este sistema estructural tiene disipadores de energía histeréticos en todos los entrepisos. En cada entrepiso, la rigidez lateral del disipador es la mitad de la rigidez lateral total del entrepiso, o igual a la rigidez lateral que la parte convencional del marco. La relación entre los desplazamientos de fluencia del disipador con respecto al punto de fluencia de la parte convencional del marco es 0.5. El diseño se realizó con el espectro de aceleraciones con ductilidad 4. El marco resultó con un periodo fundamental de 1.48 s.

El tipo de marco  $d$  es el óptimo para cualquier variación de los parámetros de evaluación, llámese consecuencias de colapso, o costos indirectos de reparación, o umbral de reparación, o del factor reductivo de la confiabilidad y o de la distorsión de colapso. El tipo de marco  $d$  siempre es el más económico y seguro. Además, cualquier valor de dichos parámetros, se encuentra que es recomendable que el umbral de reparación sea  $\delta_R=0.5$ .

El sistema  $a$ , cuyo costo inicial es menor a la de los marcos  $d$ ,  $f$  e  $i$  (ver Tabla 8.2), a largo plazo resultó ser más caro que los marcos  $d$  y  $f$ , superado ampliamente por el marco  $d$ , y medianamente superado por el marco  $f$ . El tipo de marco  $i$  resultó más oneroso que todos y, por tanto, no se recomienda su aplicación.

En cuanto a la política de reemplazo de disipadores (Tablas 8.11-8.18), se encuentra que para el sistema  $i$  no hay influencia del umbral de reemplazo sobre el costo total. Para los tipos de marco  $d$  y  $f$ , el empleo del umbral  $\delta_D=0.5$  hace que el costo total sea mayor en 0.5% que el costo total producto de reemplazar disipadores cuando  $\delta_D=0.75$ . En este aspecto se podrían usar cualquier umbral entre estos valores.

Finalmente, es muy importante observar que la toma de decisiones estará regida por el costo total a largo plazo, ya que dichos costos son muy superiores a los costos iniciales de construcción de los sistemas.



## REFERENCIAS

Aguirre, M. y Sánchez, A. R. (1992), "A structural seismic damper", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No.5, pp. 1158-1171.

Aiken, I. D. y Kelly, J. M. (1990), "Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing system for multistory structures", Reporte No. UCB/EERC-90/03, EERC, Universidad de California, Berkeley.

Aiken, I. D., Kelly, J. M. y Pall, A. S. (1988), "Seismic response of nine-story steel frame with friction damped cross-bracing", Reporte No. UCB/EERC-88-17, EERC, Universidad de California, Berkeley.

Aiken, I. D., Nims, D. K., Whittaker, A. S., y Kelly, J. M. (1993), "Testing of passive energy dissipation systems", *Earthquake Spectra*, EERI, Vol. 9, No. 3, pp. 335-370.

Alamilla, J. (1996), "Procesos estocásticos y simulación de acelerogramas sísmicos en el valle de México", Tesis de Maestría, DEPI, UNAM.

Ang, A. H-S. y De León (1996) "Determination of optimal target reliabilities for design and upgrading of structures", *Memorias en CD del Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Paper N0. 1054, México.

Banxico (2003) Páginas de internet :

<http://www.banxico.org.mx/bPoliticaMonetaria/FSpoliticaMonetaria.html> ; <http://www.banxico.org.mx/IBusqueda/FSbusqueda.html>

Campos, D. y Esteva, L. (1997a), "Modelo de comportamiento histerético y de daño para vigas de concreto reforzado", *Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, SMIS, Veracruz, México.

Campos, D. y Esteva, L. (1997b), "Bases para criterios de diseño de edificios dotados de elementos disipadores de energía", Informe Interno No. 7537 para el Departamento del Distrito Federal, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Campos, D., Heredia-Zavoni, E., Soriano, A., Inda, G. y De León, D. (2004), "Criterios basados en riesgo para el diseño estructural de plataformas marinas", *Memorias en CD del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, SMIE, Acapulco, México.

Cardan, B. (1968), United States Patent #3418768, United States Patent Office, Washington, DC.

Chang, K. C., Hwang, J. S. y Lee, S. N. (2004), "Status of applications of passive control technologies in Taiwan", *Memorias en CD del 13<sup>th</sup> World*

Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2993, Vancouver, Canadá.

Chang, K. C., Soong, T. T., Oh, S. T. y Lai, M. L. (1991), "Seismic response of a 2/5 scale steel structure with added viscoelastic dampers", Reporte No. NCEER-91-0012, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY, Buffalo, New York.

Chávez, J. H. y González, R. (1989), "Efecto de dos tipos de amortiguadores externos en la respuesta de una estructura metálica de dos niveles", Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Vol. III, pp. F341-F350.

Chung, Y. S., Meyer, C. y Shinozuka M. (1987), "Seismic damage assessment of reinforced concrete buildings", NCEER-87-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY en Buffalo, New York.

Collins, J. A. (1993), "Failure of materials in mechanical design", John Wiley & Sons.

Constantinou, M. C. y Symans, M. D. (1992), "Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers", Reporte No. NCEER-92-00032, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY, Buffalo, Nueva York.

Del Valle, E. (1988), "Amortiguamiento adicional para reducir efectos sísmicos", Revista de Ingeniería Sísmica, No. 32, pp 49-76.

Departamento del Distrito Federal (1993), "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Diario Oficial de la Federación, 2 de agosto, México, D.F.

Departamento del Distrito Federal (1996), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto", Gaceta Oficial del Distrito Federal, 25 de marzo, México, D.F.

Departamento del Distrito Federal (1995), "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo", Gaceta Oficial del Distrito Federal, 27 de febrero, México, D.F.

Díaz-López, O. (1991), "Recopilación de información sobre modelos para representar el comportamiento de elementos estructurales", Informe Interno No. 9706 para CONACYT, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.

Díaz-López, O., Mendoza, E. y Esteva, L. (1994), "Respuesta sísmica inelástica de modelos de edificios", Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, No. 46, pp. 1-22.

DiPasquale, E. y Cakmak, A. S. (1987), "Detection and assessment of seismic structural damage", Reporte No. NCERR-87-0015, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY en Buffalo, New York.

- Esteva, L. (1993), "Análisis de daño acumulado, confiabilidad y optimación en el diseño sísmico de estructuras con disipadores de energía", Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, Puerto Vallarta, pp. 976-980.
- Esteva, L., y Díaz-López, O. (1993a), "Influence of cumulative damage on the seismic reliability of multistory frames", Memorias de la 5a Reunión de Trabajo IFIP WG7.5 sobre Confiabilidad y Optimación de Sistemas Estructurales, Takamatsu, Japón.
- Esteva, L., y Díaz-López, O. (1993b), "Optimum decisions related to design and replacement of seismic energy dissipators", Memorias de ICOSSAR'93, Congreso Internacional sobre Seguridad y Confiabilidad Estructural, Innsbruck, Austria.
- Esteva, L., Diaz-López, O., García-Pérez, J., Sierra, G. y Ismael, E. (2002), "Life\_cycle optimization in the establishment of performance-acceptance parameters for seismic design", *Structural Safety*, Vol.24, No. 2-4 (Special volume), pp 187-204.
- Esteva, L., Díaz-López, O., Terán, A. y García, J. (1988), "Costos probables de daños causados por temblores en construcciones", Informe del Instituto de Ingeniería No. 8750, UNAM, para la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), México, D. F., agosto.
- Filiatrault, A., y Cherry, S. (1990), "Seismic design spectra for friction damped structures", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 5, pp. 1334-1355.
- Gobierno del Distrito Federal (2004a), "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Gaceta Oficial del Distrito Federal, México, D.F., 29 de enero.
- Gobierno del Distrito Federal (2004b), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo", Gaceta Oficial del Distrito Federal, México, D.F., 6 de octubre, pp. 55-74.
- Hanson, R. D., Aiken, I. D., Nims, D. K., Richter, P. J. y Bachman, R. E. (1993), "State-of-the-art and state-of-the-practice in seismic energy dissipation"; Memorias del Seminario sobre aislamiento sísmico, disipación pasiva de energía, y control activo; ATC-17-1, Applied Technology Council, San Francisco, California. pp. 449-471.
- Housner, G. W. (1990), "Strong ground motions", *Earthquake Engineering*, editor R. Wiegel, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 75-91.
- Housner, G. W., Bergman, L. A., Caughey, T. K., Chassiakos, A. G., Claus, R. O., Masri, S. F., Skelton, R. E., Soong, T. T., Spencer, B. F. y Yao, T. P. (1997), "Structural control: past, present, and future", *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol. 123, No. 9, pp. 897-971.

IMCA (2001), "Manual de construcción en acero", Vols. 1 y 2, Editorial Limusa, 3<sup>ra</sup> Edición, México.

Jara, J. M. (1994), "Estado del arte sobre dispositivos para reducir daños provocados por temblores", Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, No. 47, pp. 35-79.

Kanaan, A. E. y Powell, G. H. (1973), "General purpose computer program for inelastic dynamic response of plane structures", Reporte No. EERC 73-6, Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley.

Kasai, K. y Kibayashi, M. (2004), "JSSI Manual for Building Passive Control Technology Part-1 Manual Contents and Design/Analysis Methods", 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2989, Vancouver, Canadá.

Kasai, K., Munshi, J. A., Lai, M.L. y Maison, B. F. (1993), "Viscoelastic damper hysteretic model: theory, experiment, and application"; Memorias del Seminario Sobre Aislamiento Sísmico, Disipación Pasiva de Energía, y Control Activo; ATC-17-1, Applied Technology Council, San Francisco, California. pp. 521-532.

Kelly, J. M. (1986), "Aseismic base isolation: review and bibliography", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3.

Kunnath, S. K., Reinhorn, A. M. y Park, Y.-J. (1990), "Analytical modeling of inelastic seismic response of R/C structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 4, pp. 996-1017.

Lind, N. C. (ed) (1970), "Structural reliability and codified design", SM. Study No. 3. Waterloo, Ont.: University of Waterloo, Solid Mechanics Division.

Ma, S. M., Bertero, V. V., y Popov, E. P. (1976), "Experimental and analytical studies on the hysteretic behavior of reinforced concrete rectangular and T-beams", Earthquake Engineering Research Center, Reporte No. EERC 76-2, Universidad de California, Berkeley.

Martínez-Romero, E. (1990), "Mejoramiento de la respuesta sísmica de edificios dañados por sismos, mediante la adición de elementos disipadores de energía", Memorias del Seminario Internacional de Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural, SMIS, México, D. F., pp. 211-248.

Martínez-Romero, E. (1998), "Tres casos de estructuras de acero con disipadores pasivos de energía para zonas de alta sismicidad", Memorias del V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica sobre Disipadores de Energía para Controlar la Respuesta Sísmica de Edificios, Toluca, Edo. de México, 18-19 septiembre, pp. 121-154.

- Mejía, R. (1995), "Análisis estructural y de costos de un edificio de 10 niveles diseñado convencionalmente y otro con disipadores de energía sísmica", Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Meli, R. (1976), "Bases para los criterios de diseño de estructural del proyecto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Reporte No. 375, Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Meli, R. (1985), "Estudio estadístico de propiedades de materiales y estructuras de concretos reforzado en el Distrito Federal", Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, para la Dirección General de Administración de Uso del Suelo, Departamento del D. F., julio.
- Meli, R. y Villanueva, J. M. (1984), "Análisis estadístico de la resistencia en compresión de concretos fabricados en el Distrito Federal", Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, diciembre.
- Miranda, E., Alonso, J. y Lai, M. L. (1998), "Performance-based design of a building in Mexico city using viscoelastic dampers", Memorias en CD del 6<sup>th</sup> U. S. National Conf. on Earthquake Engineering, Seattle, Washington, 31 mayo - 4 junio.
- Mirza, S. A. y McGregor, J. (1979), "Variations in dimensions of reinforced concrete members", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 105, No. ST4.
- Mitchell, G. H. y Woodgate, R. W. (1971), "Floor loadings in offices. The Results of a Survey", Dept. of Envir. Build. Res. Establ., CP 3/7, Garston.
- Miyamoto H. K. y Singh, J. P. (2002), "Performance of structures with passive energy dissipators", Earthquake Spectra, EERI, Vol. 18, No.1, pp. 105-119.
- Montes-Iturrizaga, R. (2000), "Estrategias de mantenimiento óptimo de estructuras instrumentadas en zonas sísmicas", Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería UNAM.
- Montiel, M. A. y Ruiz, S. E. (2002), "Edificios en los que conviene reforzar con disipadores de energía en lugar de utilizar contravientos", Memorias en CD del XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, SMIE, Puebla, México, noviembre.
- Nashif, A. D., Jones, D. I. G. y Henderson, J. P. (1985), "Vibration damping", John Wiley & Sons Inc.
- Ortega, C. (2005), "Análisis de riesgo y confiabilidad en estructuras. Una aplicación en la inspección de plataformas marinas", Tesis doctoral en proceso, Facultad de Ingeniería de la UAEM.
- Pall, A. S. y Pall R. (1993), "Friction-dampers used for seismic control of new and existing buildings in Canada", Memorias del ATC-17-1; Seminario

sobre aislamiento sísmico, disipación pasiva de energía, y control activo; San Francisco, California, pp. 675-686.

Park, R., Priestley, M. J. N. y Gill W. D. (1982), "Ductility of square confined concrete columns", *Journal of Structural Division, ASCE*, Vol. 108, No. ST4, pp. 929-950.

Park, Y.-J. y Ang, A. H.-S. (1985), "Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 111, No. 4, pp. 722-739.

Park, Y.-J., Reinhorn, A. M. y Kunnath, S. K. (1987), "IDARC: Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame-Shear-Wall Structures", Reporte No. NCEER-87-0008, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY en Buffalo, New York.

Paulay, T. y Priestley, M. J. N. (1992), "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons Inc.

Perry, C. L., Fierro, E. A., Sedarat, H. y Scholl, R. E. (1993), "Seismic upgrade in San Francisco using energy dissipation devices", *Earthquake Spectra*, Vol. 9, No. 3, pp. 559-579.

Pong, W. S., Tsai, C. S. y Lee, G. C. (1994), "Seismic study of building frames with added energy-absorbing devices", Reporte No. NCEER-94-0016, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNY en Buffalo, New York.

Powell, G. H. (1973), "DRAIN-2D user's guide", Reporte No. EERC 73-22, Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley.

Powell, G. H. (1975), "Supplement to computer program DRAIN-2D", Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley.

Reyes, C. (1999), "El estado límite de servicio en el diseño sísmico de edificios", Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería UNAM.

Rodríguez, M. E. y Botero, J. C. (1997), "Evaluación del comportamiento de barras de acero de refuerzo sometidas a cargas monotónicas y cíclicas reversibles incluyendo pandeo", *Revista de Ingeniería Sísmica* No. 56, SMIS, pp. 9-27.

Rodríguez, M. E. y Botero, J. C. (1995), "Comportamiento sísmico de estructuras considerando propiedades mecánicas de aceros de refuerzo mexicanos", *Revista de Ingeniería Sísmica* No. 49, SMIS, pp. 39-50

Rodríguez, M. E. y Hoyos, L. P. (2004), "Evaluación del modo de falla de pandeo del acero de refuerzo longitudinal en elementos de concreto reforzado sometidos a acciones sísmicas", *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, SMIE, Acapulco.*

- Rosenblueth, E. (1986), "Optimum reliabilities and optimum design", *Structural Safety*, Vol. 3, pp 69-83.
- Rosenblueth, E. (1992), "Reglamentos futuros de México: un punto de vista personal", *Revista Ingeniería Sísmica, SMIS*, No. 44, pp.3-10.
- Roufaiel, M. S. L. y Meyer, C. (1987), "Reliability of concrete frames damaged by earthquakes", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 113, No. 3, pp. 445-457.
- Ruiz, E., Mejía, R. y Ruiz, S. E. (1996), "Análisis comparativo de dos marcos: uno diseñado convencionalmente, y otro con dispositivos TADAS", *Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS*, No. 53, pp. 37-48.
- Ruiz, S. E. (1998), "Revisión sobre el desarrollo de disipadores de energía sísmica en México", *Memorias del V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica sobre Disipadores de Energía para Controlar la Respuesta Sísmica de Edificios*, Toluca, Edo. de México, 18-19 septiembre, pp. 155-166.
- Ruiz, S. E. y Álvarez, J. L. (1995), "Panorámica sobre la Reglamentación de Edificios con Dispositivos Reductores de la Respuesta Sísmica", *Memorias del IV Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica sobre Riesgo Sísmico y Reglamentación de Diseño*, Oaxaca, México, 17-18 noviembre, pp. 109-126.
- Ruiz, S. E., Urrego, O. E. y Silva, F. L. (1995), "Influence of spatial distribution of energy-dissipating bracing elements on the seismic response of multistory frames", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 24, pp. 1511-1525.
- Scott, B. D., Park, R. y Priestley, M. J. N. (1982), "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and strain rates", *ACI Structural Journal*, january - february, pp. 13-27.
- Scribner, C. F. y Wight, J. K. (1978), "Delaying shear strength decay in reinforced concrete flexural members and large load reversals", *Reporte No. UMEE 78R2*, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Michigan.
- Silva, F. L. y Ruiz, S. E. (1993), "Consideraciones sobre el diseño sísmico de marcos con dispositivos disipadores de energía", *Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS*, Puerto Vallarta.
- Skinner, R. I., Kelly, J. M. y Heine, A. J. (1975), "Hysteretic damper for earthquake-resistant structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 3, pp. 287-296.
- Skinner, R. I., Robinson, W. H. y McVerry, G. H. (1993), "An Introduction to Seismic Isolation", *John Wiley and Sons*, New York.
- Sosa, A. (1992), "Comportamiento y costos de edificios soportados sobre aisladores sísmicos", *Tesis presentada a la DEPMI-UNAM como requisito para obtener el grado de Maestro en Ingeniería*, México.

Taylor, D. P. (2003), "History, design and applications of fluid dampers in structural engineering", Taylor Devices inc., página internet: <http://www.taylordevices.com/papers/history/design.htm>.

Torres, M. A. y Ruiz, S. E. (2004), "Design algorithm based on probabilistic seismic demands for buildings rehabilitated with hysteretic energy-dissipating devices", *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 2, pp. 503-521.

Townsend, W. H. y Hanson, R. D. (1977), "Reinforced concrete connection hysteresis loops", *Publicación ACI SP53-13*, pp. 351-370.

Tsai, K. C. y Hong, C. P. (1992), "Steel triangular plate energy absorber for earthquake-resistant buildings", *Memorias del Primer Congreso Mundial sobre Diseño y Construcción en Acero, México*.

Tsai, K. C., Li, J. W., Hong, C. P., Chen, H. W. y Su, Y. F. (1993), "Welded steel triangular plate device for seismic energy dissipation"; *Memorias Seminario sobre aislamiento sísmico, disipación pasiva de energía, y control activo; ATC-17-1, Applied Technology Council, San Francisco, California*. pp. 687-698.

Uang, C. M. y Bertero, V. V. (1988), "Use of energy as a design criterion in earthquake resistant design", *Reporte UCB/EERC-88/18, Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley*.

Uzumeri, S. M. (1977), "Strength and ductility of cast-in-place beam-column joints", *Publicación ACI SP53-13*, pp. 283-350.

Villanueva, J. M. y Meli, R. (1984), "Análisis estadístico de propiedades mecánicas de aceros de refuerzo producidos en México", *Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, sept*.

Villaverde, R. (1993), "Are vibration control techniques a competitive alternative for the seismic design of structures?", *Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, Puerto Vallarta, México*, pp. 870-878.

Wang, M-L. y Shah, S. P. (1987), "Reinforced concrete hysteresis model based on the damage concept", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 15, pp. 993-1003.

Whittaker, A. S., Bertero, V. V., Alonso, L. J. y Thompson, C. (1989), "Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements", *Reporte No. UCB/EERC-89/02, Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley*.

Williams, M. S. y Sexsmith, R. G. (1995), "Seismic damage indices for concrete structures: A state-of-the-art review", *Earthquake Spectra*, Vol. 11, No. 2, pp. 319-349.

Ye, S. X. (1996), "Evaluación del daño estructural en edificios de concreto reforzado sujetos a sismos", *Tesis Doctoral, DEPMI, UNAM, México*.



Yokota, H., Saruta, M., Nakamura, Y., Satake, N. y Okada, K. (1992), "Structural control for seismic load using viscoelastic dampers", Memorias del 10WCEE, Madrid, España.

# APÉNDICE A

## Diseño de los Marcos

Los sistemas estudiados corresponden a los marcos planos centrales de los edificios de planta cuadrada tal como se aprecia en la Fig. A.1.

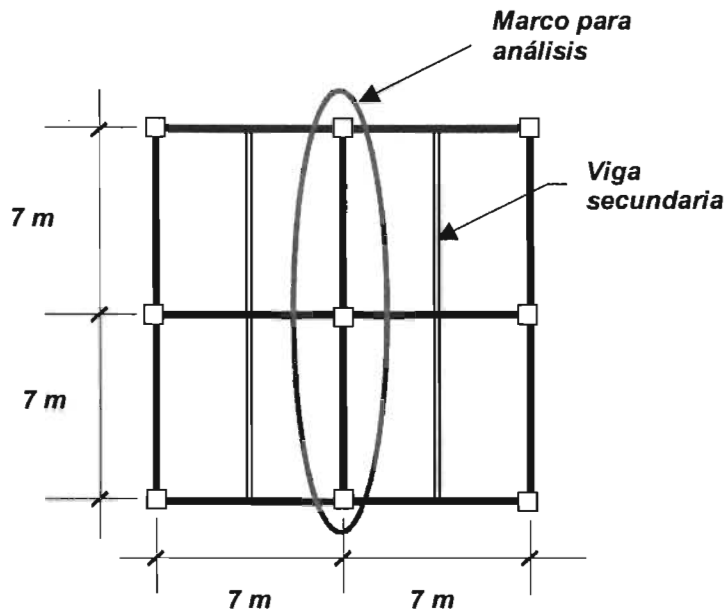


Figura A.1 Marco empleado en los análisis.

La Tablas 3.1 (Cap. 3) muestra las características de diseño de cada marco. Estos sistemas se diseñaron con un programa de computadora desarrollado dentro de esta investigación empleando el método mostrado en el capítulo 5. Los diseños están en concordancia con las normas nacionales vigentes.

Las capacidades nominales de los materiales empleados son: para el concreto  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , para el acero de refuerzo del CR es de  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , para el acero estructural empleado en el diseño de los paquetes disipadores es el  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (A-36).

La Fig. A.2 muestra la numeración de los nodos y elementos de los marcos estudiados. Cada marco tiene 28 traveses y 2 vigas de cimentación y 42 columnas. El marco *a* no tiene disipadores, los marcos *b*, *c*, *d*, *e* y *f* tienen 28 contravientos que contienen a los disipadores de energía, y los marcos *g*, *h* e *i* tienen ocho paquetes disipadores.

Los pisos son de losa maciza de concreto reforzado de 11 cm de espesor. Por su parte, las vigas tienen sección transversal rectangular y las columnas cuadrada. Las Tablas A.1-A.18 muestran las secciones transversales finales de las trabes y columnas de cada sistema, y sus respectivos refuerzos. Para el caso de los refuerzos en trabes, la ubicación de los elementos se refieren a la numeración mostrada en la Fig. A.2. En cuanto a los paquetes disipadores, solamente se diseñaron los correspondientes a los sistemas seleccionados para la segunda etapa (ver Tabla A.19), ya que se requerían determinar sus costos. Para los sistemas no seleccionados para la segunda etapa, se indica el área de la sección equivalente (AX) y su fuerza axial (FX) por crujía (ver Tabla A.19).

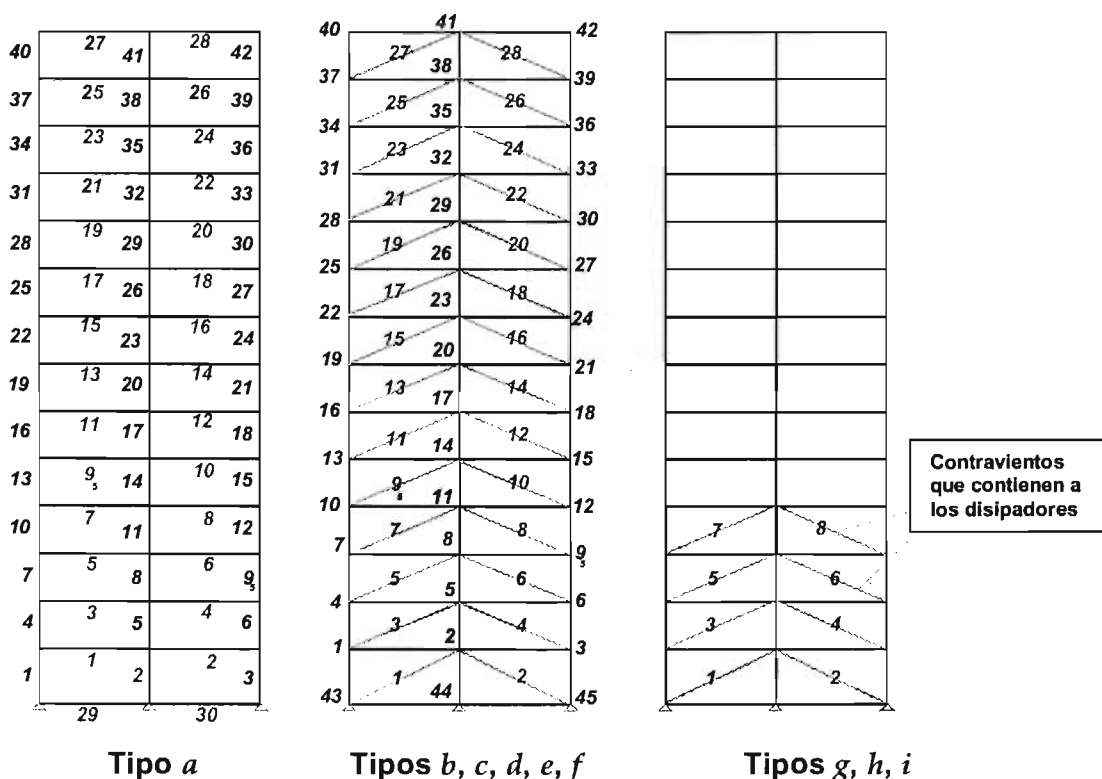


Figura A.2 Configuración de los diferentes sistemas estudiados



Tabla A.2 Diseño de traveses del sistema  $\alpha$ .

VIGA 1		4 5											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.43	1.12	1.82	2.8	3.5	4.2	5.18	5.88	6.57	7
$h$ (cm)	75	$Mx(-)$ (ton-m)	-88.54	-75.51	-55.14	-36.03	-18.88	-18.88	-18.88	-33.4	-51.91	-71.69	-84.35
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	7.35	$Mx(+)$ (ton-m)	64.59	59.17	49.25	38.08	20.21	18.88	19.6	38.31	50.08	60.59	66.37
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	40.67	33.64	23.31	14.81	7.4	7.4	7.4	13.47	21.78	31.6	38.57
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	27.95	25.26	20.54	15.5	7.94	7.4	7.7	15.6	20.93	25.96	28.85
$M$ max neg (ton-m)	-86.59	$Vx$ (ton)	31.2	30.1	28.29	26.48	23.94	22.13	23.09	25.63	27.44	29.25	30.35
$M$ max pos (ton-m)	86.59	$Sx$ (cm)	0	8.29	8.82	14.02	14.53	16.1	15.23	14.75	9.1	8.54	0

VIGA 3		7 8											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.43	1.12	1.82	2.8	3.5	4.2	5.18	5.88	6.57	7
$h$ (cm)	75	$Mx(-)$ (ton-m)	-101.29	-86.74	-63.87	-42.26	-21.68	-21.68	-21.68	-38.07	-58.63	-80.45	-94.37
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	7.35	$Mx(+)$ (ton-m)	75.12	68.45	56.49	43.26	22.52	21.68	21.9	44.12	58.39	71.4	78.71
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	45.89	39.93	27.58	17.36	8.55	8.55	8.55	15.5	25	36.36	43.06
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	33.43	29.92	23.96	17.81	8.89	8.55	8.63	18.2	24.88	31.45	35.39
$M$ max neg (ton-m)	-86.59	$Vx$ (ton)	34.79	33.69	31.88	30.07	27.52	25.71	26.02	28.57	30.38	32.18	33.29
$M$ max pos (ton-m)	86.59	$Sx$ (cm)	0	7.41	7.83	12	12.16	13.28	13.08	13	8.22	7.76	0

VIGA 5		10 11											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.4	1.1	1.8	2.8	3.5	4.2	5.2	5.9	6.8	7
$h$ (cm)	75	$Mx(-)$ (ton-m)	-105	-90.87	-67.22	-44.84	-22.72	-22.72	-22.72	-39.42	-60.31	-82.47	-95.74
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	7.35	$Mx(+)$ (ton-m)	76.64	70.21	58	44.54	22.88	22.72	22.72	48.4	81.36	75.06	82.34
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	47.42	41.62	29.29	18.52	8.97	8.97	8.97	18.09	25.82	37.49	43.82
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	34.25	30.83	24.69	18.38	9.04	8.97	8.97	19.23	26.34	33.4	37.42
$M$ max neg (ton-m)	-86.59	$Vx$ (ton)	35.84	34.8	32.99	31.18	28.57	26.76	26.43	29.04	30.85	32.66	33.7
$M$ max pos (ton-m)	86.59	$Sx$ (cm)	0	7.17	7.57	11.49	11.59	12.65	12.86	12.86	8.09	7.64	0

VIGA 7		13 14											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.4	1.1	1.8	2.8	3.5	4.2	5.2	5.9	6.8	7
$h$ (cm)	75	$Mx(-)$ (ton-m)	-107.89	-93.43	-69.22	-46.26	-23.36	-23.36	-23.36	-39.68	-60.72	-83.02	-96.37
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	7.35	$Mx(+)$ (ton-m)	77.41	70.9	58.56	44.95	23.36	23.36	23.36	47.75	83.27	77.54	85.14
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	48.6	42.67	30.31	19.17	9.23	9.23	9.23	16.21	26.02	37.8	43.88
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	39.87	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	34.67	31.19	24.96	18.57	9.23	9.23	9.23	19.85	27.29	34.74	39.03
$M$ max neg (ton-m)	-86.59	$Vx$ (ton)	36.65	35.61	33.8	32	29.38	27.58	26.63	29.25	31.05	32.86	33.9
$M$ max pos (ton-m)	86.59	$Sx$ (cm)	0	7.01	7.39	11.16	11.2	12.19	12.77	12.83	8.04	7.6	0

VIGA 9		16 17											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.4	1.05	1.7	2.85	3.5	4.15	5.3	5.95	6.6	7
$h$ (cm)	70	$Mx(-)$ (ton-m)	-95.98	-82.86	-62.5	-43.22	-20.72	-20.72	-20.72	-36.95	-54.48	-73.09	-85.12
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	6.83	$Mx(+)$ (ton-m)	65.63	60.44	51.15	40.77	20.72	20.72	20.72	44.27	56.39	67.43	73.71
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	37.01	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	46.5	40.67	29.75	19.46	8.83	8.83	8.83	16.37	25.3	36.06	41.68
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	37.01	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	31.55	28.58	23.53	18.24	8.83	8.83	8.83	19.98	26.34	32.61	36.43
$M$ max neg (ton-m)	-74.62	$Vx$ (ton)	33.32	32.28	30.6	28.92	25.92	24.24	23.22	26.21	27.89	29.57	30.61
$M$ max pos (ton-m)	74.82	$Sx$ (cm)	0	7.18	7.57	11.84	12.02	13.17	13.99	13.85	8.31	7.84	0

VIGA 11		19 20											
$b$ (cm)	40	$x$ (m)	0	0.38	1.02	1.67	2.85	3.5	4.15	5.33	5.98	6.63	7
$h$ (cm)	70	$Mx(-)$ (ton-m)	-95.39	-83.19	-62.96	-43.81	-20.8	-20.8	-20.8	-36.44	-53.8	-71.84	-82.89
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	6.83	$Mx(+)$ (ton-m)	64.15	59.45	50.47	40.43	20.8	20.8	20.8	44.27	56.3	67.26	73.12
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	37.01	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	46.24	40.82	30.01	19.76	8.87	8.87	8.87	16.12	24.83	35.28	40.88
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	37.01	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	30.69	28.03	23.18	18.07	8.87	8.87	8.87	19.99	26.29	32.51	36.07
$M$ max neg (ton-m)	-74.62	$Vx$ (ton)	33.01	32.05	30.4	28.74	25.73	24.07	22.86	25.68	27.33	28.98	29.94
$M$ max pos (ton-m)	74.62	$Sx$ (cm)	0	7.23	7.62	12	12.15	13.31	14.48	14.31	8.48	8	0

VIGA 13		22 23											
$b$ (cm)	35	$x$ (m)	0	0.38	1.02	1.67	2.85	3.5	4.15	5.33	5.98	6.63	7
$h$ (cm)	70	$Mx(-)$ (ton-m)	-86.2	-74.96	-56.39	-38.89	-18.74	-18.74	-18.74	-32.06	-47.56	-64.14	-74.23
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	5.97	$Mx(+)$ (ton-m)	54.87	51.12	43.81	35.43	18.74	18.74	18.74	39.86	50.23	59.54	64.44
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	32.38	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	41.67	36.68	27	17.56	8	8	8	14.19	22.08	31.66	36.35
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	32.38	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	26.13	24.03	20.1	15.84	8	8	8	18.05	23.54	28.85	31.84
$M$ max neg (ton-m)	-65.3	$Vx$ (ton)	30.45	29.5	27.84	26.19	23.17	21.52	20.1	23.11	24.77	26.42	27.38
$M$ max pos (ton-m)	85.3	$Sx$ (cm)	0	7.86	8.32	12.97	13.41	14.82	16.31	15.6	9.36	8.77	0

VIGA 15		25 26											
$b$ (cm)	35	$x$ (m)	0	0.38	1.02	1.67	2.85	3.5	4.15	5.33	5.98	6.63	7
$h$ (cm)	70	$Mx(-)$ (ton-m)	-83.5	-72.56	-54.52	-37.53	-18.14	-18.14	-18.14	-30.07	-44.86	-60.71	-70.38
$As$ mín (cm <sup>2</sup> )	5.97	$Mx(+)$ (ton-m)	51.26	47.89	41.24	33.51	18.14	18.14	18.14	38.45	48.36	57.22	61.86
$As$ max sup (cm <sup>2</sup> )	32.38	$Assup$ (cm <sup>2</sup> )	40.47	35.61	25.93	16.88	7.74	7.74	7.74	13.24	20.65	29.56	34.64
$As$ max inf (cm <sup>2</sup> )	32.38	$Asinf$ (cm <sup>2</sup> )	24.1	22.26	18.76	14.9	7.74	7.74	7.74	17.34	22.52	27.49	30.25
$M$ max neg (ton-m)	-65.3	$Vx$ (ton)	29.63	28.68	27.04	25.4	22.41	20.76	19.12	22.01	23.65	25.29	26.24
$M$ max pos (ton-m)	65.3	$Sx$ (cm)	0	8.08	8.57	13.43	13.97	15.5	17.42	16.86	9.8	9.16	0

VIGA 17		28 29											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.02	1.67	2.85	3.5	4.15	5.33	5.98	6.63	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-71.9	-62.19	-46.26	-31.4	-15.55	-15.55	-15.55	-24.72	-37.55	-51.44	-59.97
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	40.49	38.25	33.55	27.79	15.55	15.55	15.64	32.61	40.41	47.14	50.55
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.84	30.52	21.96	14.09	6.63	6.63	6.63	10.84	17.22	24.98	29.54
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	18.78	17.59	15.17	12.32	6.63	6.63	6.67	14.69	18.73	22.46	24.45
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	26.36	25.41	23.77	22.13	19.13	17.49	15.99	18.99	20.63	22.27	23.22
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.12	9.75	15.2	16.38	18.53	21.08	19.4	11.24	10.41	0

VIGA 19		31 32											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-65.45	-57.02	-42.24	-28.53	-14.26	-14.26	-14.26	-21.55	-33.16	-45.83	-53.12
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	33.7	32.31	28.91	24.45	14.26	14.26	14.47	29.54	36.1	41.61	44.14
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	31.97	28.23	19.73	12.67	6.06	6.06	6.06	9.38	14.97	21.72	25.99
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.24	14.54	12.86	10.72	6.06	6.06	6.15	13.17	16.47	19.38	20.77
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	24.52	23.64	21.99	20.35	17.3	15.66	14.04	17.1	18.74	20.38	21.27
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.81	10.54	16.76	18.61	21.43	25.24	22.17	12.37	11.37	0

VIGA 21		34 35											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-59.66	-51.85	-38.19	-25.58	-12.96	-12.96	-12.96	-18.26	-28.69	-40.18	-46.82
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	29.83	27.1	24.75	21.35	12.96	12.96	13.32	26.5	32.08	36.61	38.62
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.4	25.22	17.56	11.25	5.49	5.49	5.49	7.85	12.75	18.61	22.28
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.31	11.98	10.86	9.27	5.49	5.49	5.64	11.69	14.42	16.73	17.78
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.77	21.9	20.28	18.67	15.66	14.04	12.43	15.3	16.92	18.53	19.41
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.59	11.43	18.54	21.14	24.8	30.14	25.67	13.7	12.51	0

VIGA 23		37 38											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-40.03	-34.56	-25.94	-18.06	-8.64	-8.64	-8.64	-13.07	-19.73	-27.14	-31.88
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	20.01	17.28	13.3	13.07	8.64	8.64	9.31	17.33	18.77	19.47	19.53
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.48	19.57	14	9.39	4.33	4.33	4.33	6.65	10.33	14.74	17.78
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.5	8.95	6.77	6.64	4.33	4.33	4.66	8.97	9.79	10.18	10.22
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.24	16.43	15.06	13.69	9.87	8.51	7.65	11.47	12.84	14.2	15.01
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	23.01	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-34.01	-29.13	-21.49	-14.59	-7.28	-7.28	-7.28	-9.36	-14.99	-21.36	-25.49
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17	14.56	8.71	9.4	7.43	7.28	8.27	13.79	14.36	14.2	13.75
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	19.2	15.99	11.35	7.47	4.33	4.33	4.33	4.68	7.68	11.27	13.73
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	8.79	7.45	4.35	4.71	4.33	4.33	4.33	7.03	7.34	7.25	7.01
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.41	14.61	13.27	11.93	8.17	6.82	5.85	9.61	10.96	12.3	13.1
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.08	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-21.72	-18.54	-12.74	-7.66	-4.63	-4.63	-4.63	-8.84	-14	-16.85	
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	10.86	9.27	4.63	5.37	6.84	7.44	7.44	7.16	5.89	7	8.43
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	11.48	9.66	6.47	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.42	7.14	8.71
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	5.47	4.64	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.12	11.25	9.93	8.61	4.8	3.48	3.62	7.43	8.75	10.07	10.73
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>h</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.43	3.37	6.32	0.55	3.5	8.45	0.68	3.63	6.57	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-182.8	-158.58	-39.65	-100.49	-151.53	-39.65	-108.13	-144.56	-39.65	-115.87	-142.36
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	164.43	153.66	51.02	72.55	150.24	45.49	75.39	146.72	39.87	78.13	86.63
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	58.18	55.79	43.11	59.69	55.07	43.83	60.41	54.36	44.54	61.12	63.52
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	28.5	31.46	31.46	27.96	31.46	15.2	15.2	0



Tabla A.4 Diseño de traves del sistema b.

VIGA 1		4 5											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-80.33	-69.72	-50.95	-33.44	-17.43	-17.43	-17.43	-30.14	-47.07	-65.26	-75.56
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	56.58	52.72	44.57	35.16	18.93	17.43	17.62	34.71	44.69	53.42	57.58
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	36.75	31.43	21.7	13.62	6.85	6.85	6.85	12.18	19.84	29	34.77
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	24.49	22.57	18.66	14.38	7.46	6.85	6.92	14.18	18.72	22.91	24.99
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	28.78	27.8	25.99	24.19	21.51	19.7	20.69	23.36	25.17	26.98	27.95
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.98	9.6	15.24	18.14	18.07	16.89	18	9.92	9.25	0

VIGA 3		7 8											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-88.9	-77.36	-56.85	-37.61	-19.34	-19.34	-19.34	-33.29	-51.43	-70.84	-81.79
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	62.5	57.99	48.63	38.01	19.99	19.34	19.51	39.17	50.89	61.35	66.46
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	40.27	35.54	24.63	15.47	7.63	7.63	7.63	13.55	21.94	32.06	37.35
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	27.53	25.2	20.58	15.65	7.89	7.63	7.7	16.17	21.67	26.93	29.64
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	31.27	30.3	28.49	26.68	24	22.19	22.42	25.1	26.91	28.71	29.69
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.24	8.76	13.46	13.99	15.5	15.3	14.83	9.28	8.69	0

VIGA 5		10 11											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-90.85	-79.1	-58.2	-38.57	-19.77	-19.77	-19.77	-33.08	-51.13	-70.45	-81.36
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	62.09	57.63	48.35	37.82	19.92	19.77	19.9	40.12	52.24	63.09	68.4
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	41.07	36.25	25.31	15.9	7.81	7.81	7.81	13.46	21.79	31.84	37.18
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	27.32	25.02	20.45	15.56	7.86	7.81	7.86	16.61	22.33	27.84	30.7
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	31.82	30.85	29.04	27.23	24.58	22.75	22.3	24.98	26.79	28.6	29.57
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.09	8.6	13.11	13.56	15.02	15.45	15.04	9.32	8.73	0

VIGA 7		13 14											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-91	-79.23	-58.31	-38.65	-19.81	-19.81	-19.81	-32.08	-49.76	-68.69	-79.39
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	60.2	55.94	47.05	36.9	19.81	19.81	19.92	40.19	52.33	63.21	68.53
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	41.13	36.3	25.36	15.94	7.82	7.82	7.82	13.02	21.12	30.87	36.37
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	26.33	24.17	19.83	15.15	7.82	7.82	7.87	16.64	22.37	27.91	30.78
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	31.86	30.89	29.08	27.27	24.6	22.79	21.75	24.43	26.23	28.04	29.02
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.08	8.58	13.09	13.52	14.99	18	15.56	9.52	8.9	0

VIGA 9		16 17											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.05	1.72	2.83	3.5	4.17	5.28	5.95	6.63	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-84.96	-73.82	-54.76	-36.86	-18.46	-18.46	-18.46	-30.09	-45.91	-62.9	-72.88
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.2	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	53.29	49.75	42.49	34.05	18.46	18.46	18.46	38.29	48.81	58.15	62.84
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	39.83	35.08	24.75	15.81	7.56	7.56	7.56	12.88	20.19	29.21	34.68
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	23.97	22.14	18.51	14.49	7.56	7.56	7.56	16.48	21.65	26.57	29.18
<i>M</i> max neg (ton-m)	-70.43	<i>Vx</i> (ton)	30.19	29.22	27.47	25.73	22.86	21.12	19.77	22.64	24.38	26.13	27.1
<i>M</i> max pos (ton-m)	70.43	<i>Sx</i> (cm)	0	8.24	8.76	13.59	14.21	15.84	17.38	16.66	9.87	9.21	0

VIGA 11		19 20											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.05	1.72	2.83	3.5	4.17	5.28	5.95	6.63	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-84.2	-73.19	-54.32	-36.61	-18.3	-18.3	-18.3	-28.92	-44.27	-60.77	-70.47
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.2	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	51.41	48.06	41.13	33.05	18.3	18.3	18.3	37.88	48.32	57.61	62.28
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	39.51	34.81	24.51	15.69	7.49	7.49	7.49	12.15	19.38	28.02	33.65
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	22.99	21.27	17.85	14.03	7.49	7.49	7.49	16.29	21.41	26.28	28.87
<i>M</i> max neg (ton-m)	-70.43	<i>Vx</i> (ton)	29.86	28.91	27.19	25.47	22.64	20.93	19.21	21.96	23.67	25.39	26.35
<i>M</i> max pos (ton-m)	70.43	<i>Sx</i> (cm)	0	8.33	8.85	13.77	14.38	16.02	18.09	17.43	10.17	9.48	0

VIGA 13		22 23											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.36	1.01	1.66	2.85	3.5	4.15	5.34	5.99	6.64	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-77.83	-67.83	-50.78	-34.81	-18.96	-16.96	-16.96	-27.1	-40.8	-55.57	-64.3
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.97	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	45.05	42.46	38.99	30.45	16.96	16.96	16.96	35.68	44.49	52.23	56.09
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	32.38	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	37.96	33.51	23.84	15.53	7.21	7.21	7.21	11.83	18.53	26.53	31.76
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	32.38	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.74	19.39	16.61	13.42	7.21	7.21	7.21	15.96	20.45	24.64	26.83
<i>M</i> max neg (ton-m)	-65.3	<i>Vx</i> (ton)	28.07	27.14	25.49	23.84	20.79	19.13	17.48	20.32	21.98	23.63	24.56
<i>M</i> max pos (ton-m)	65.3	<i>Sx</i> (cm)	0	8.54	9.09	14.45	15.35	17.23	19.65	18.67	10.55	9.81	0

VIGA 15		25 26											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.36	1.01	1.66	2.85	3.5	4.15	5.34	5.99	6.64	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-70.16	-60.95	-45.32	-30.76	-15.24	-15.24	-15.24	-23.7	-36.11	-49.59	-57.59
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	38.16	36.25	32	26.7	15.24	15.24	15.33	31.86	39.31	45.71	48.82
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.06	29.97	21.43	13.77	6.49	6.49	6.49	10.36	16.48	23.88	28.48
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.78	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.54	16.54	14.39	11.79	6.49	6.49	6.53	14.32	18.15	21.85	23.43
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	25.86	24.95	23.3	21.86	18.64	17	15.36	18.35	19.99	21.63	22.55
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.29	9.95	15.6	18.93	19.24	22.29	20.32	11.8	10.72	0



VIGA 17		28 29											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.97	1.6	2.88	3.5	4.12	5.4	6.03	6.65	7
<i>h</i> (cm)	67.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-63.87	-55.6	-41.66	-28.69	-13.9	-13.9	-13.9	-21.74	-32.75	-44.74	-51.91
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.92	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	32.54	31.27	28.23	24.21	13.9	13.9	13.9	29.21	35.18	40.16	42.54
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.32	28.48	20.47	13.37	6.16	6.16	6.16	9.88	15.5	22.3	26.77
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.39	14.72	13.13	11.1	6.16	6.16	6.16	13.64	16.81	19.6	20.98
<i>M max neg</i> (ton-m)	-51.73	<i>Vx</i> (ton)	24.07	23.18	21.6	20.03	16.78	15.2	13.64	16.89	18.47	20.04	20.93
<i>M max pos</i> (ton-m)	51.73	<i>Sx</i> (cm)	0	9.61	10.31	16.57	18.51	21.3	25.02	21.74	12.07	11.12	0

VIGA 19		31 32											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.92	1.52	2.9	3.5	4.1	5.48	6.08	6.68	7
<i>h</i> (cm)	65	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-56.64	-49.62	-37.4	-26.09	-12.4	-12.4	-12.4	-19.42	-28.99	-39.46	-45.53
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.73	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	28.32	25.52	23.75	21.09	12.4	12.4	12.4	25.96	30.37	33.87	35.4
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.97	26.56	19.06	12.65	5.72	5.72	5.72	9.18	14.22	20.31	24.18
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.86	12.34	11.41	10.03	5.72	5.72	5.72	12.58	14.99	16.98	17.87
<i>M max neg</i> (ton-m)	-47.66	<i>Vx</i> (ton)	22.01	21.19	19.68	18.16	14.66	13.15	11.75	15.25	16.76	18.28	19.1
<i>M max pos</i> (ton-m)	47.66	<i>Sx</i> (cm)	0	10.09	10.87	17.98	21.04	24.73	29.51	23.76	12.76	11.7	0

VIGA 21		34 35											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-45.81	-39.81	-30.29	-21.52	-9.95	-9.95	-9.95	-15.89	-23.32	-31.5	-36.71
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	22.9	19.9	17.13	16.13	9.95	9.95	10.13	20.65	22.99	24.58	25.17
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.56	23.31	16.74	11.37	4.99	4.99	4.99	8.18	12.43	17.53	21.07
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.18	10.43	8.87	8.31	4.99	4.99	5.09	10.88	12.23	13.18	13.53
<i>M max neg</i> (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	18.87	18.06	16.69	15.33	11.51	10.14	9.07	12.89	14.25	15.62	16.43
<i>M max pos</i> (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	20.32	26.32	27.39	27.39	26.73	13.69	12.55	0

VIGA 23		37 38											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-39.42	-34.42	-25.87	-18.07	-8.61	-8.61	-8.61	-12.36	-18.86	-26.11	-30.4
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	19.71	17.21	12.62	12.62	8.61	8.61	9.13	16.92	18.22	18.78	18.77
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.03	19.48	13.96	9.39	4.33	4.33	4.33	6.27	9.64	14.11	16.81
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.32	8.91	6.41	6.41	4.33	4.33	4.57	8.75	9.48	9.79	9.79
<i>M max neg</i> (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.04	16.29	14.93	13.56	9.88	8.31	7.3	11.18	12.55	13.92	14.66
<i>M max pos</i> (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	23.38	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-30.98	-27.07	-19.83	-13.33	-8.77	-8.77	-8.77	-7.57	-12.73	-18.62	-21.85
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	15.49	13.53	6.77	7.38	7.02	7.36	7.83	12.07	12.11	11.41	10.93
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	17.18	14.7	10.39	6.79	4.33	4.33	4.33	4.33	6.46	9.7	11.56
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	7.96	6.89	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.11	6.13	5.76	5.51
<i>M max neg</i> (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.55	13.88	12.54	11.19	7.31	5.97	4.86	8.74	10.08	11.43	12.1
<i>M max pos</i> (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-19.24	-16.5	-11.02	-6.26	-4.12	-4.12	-4.12	-4.12	-7.14	-11.97	-14.42
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	9.62	8.25	4.12	4.12	6.74	7.7	7.7	5.94	4.29	5.99	7.21
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	10.05	8.51	5.55	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.06	7.37
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.82	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M max neg</i> (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.13	11.32	9.56	8.02	4.15	2.83	2.97	6.84	8.16	9.56	10.37
<i>M max pos</i> (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>h</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.38	3.32	6.27	0.55	3.5	6.45	0.73	3.88	6.63	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-146.24	-128.24	-32.06	-77.22	-120	-32.06	-86.3	-111.94	-32.06	-95.56	-115.72
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	130.23	124.04	47.85	60.82	120.84	41.71	53.18	117.47	35.39	55.36	59.39
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M max neg</i> (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	49.06	46.95	34.14	50.72	45.96	35.14	51.72	44.96	36.13	52.72	54.83
<i>M max pos</i> (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0



Tabla A.6 Diseño de traveses del sistema c.

VIGA 1		4 5													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-64.97	-55.98	-40.23	-25.75	-14	-14	-14	-22.85	-36.76	-51.93	-60.8		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	41.19	38.96	33.84	27.45	15.69	14	14.82	27.43	34.4	40.1	42.65		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.84	24.19	16.68	10.3	6.44	6.44	6.44	6.44	9.08	15.09	22.18	26.54	
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.1	18.08	13.79	11.02	6.44	6.44	6.44	11.02	14.04	16.6	17.77		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	24.45	23.48	21.67	19.86	17.18	15.37	16.35	19.03	20.83	22.64	23.62		
<i>M max pos</i> (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	10.64	11.52	19.34	21.9	26.03	23.62	20.67	11.98	11.03	0		

VIGA 3		7 8													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-71.86	-62.13	-44.98	-29.1	-15.53	-15.53	-15.53	-25.12	-39.89	-55.92	-65.06		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	45.41	42.72	36.73	29.48	16.44	15.53	16.33	31.01	39.37	46.48	49.77		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.64	27.34	18.85	11.73	6.44	6.44	6.44	10.03	16.5	24.15	28.89		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	19.06	17.8	15.08	11.89	6.44	6.44	6.44	12.56	18.27	19.56	21.13		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	26.45	25.48	23.67	21.86	19.19	17.38	17.59	20.27	22.08	23.88	24.86		
<i>M max pos</i> (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.8	10.55	17	18.63	21.53	21.14	19.32	11.31	10.45	0		

VIGA 5		10 11													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-73.65	-63.72	-46.22	-29.98	-15.93	-15.93	-15.93	-24.81	-39.46	-55.38	-64.45		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	44.83	42.19	36.32	29.19	16.33	15.93	16.68	31.89	40.61	48.07	51.55		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.65	28.18	19.43	12.11	6.44	6.44	6.44	9.9	16.31	23.88	28.57		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	18.78	17.56	14.9	11.77	6.44	6.44	6.54	12.94	16.83	20.31	22		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	26.96	25.99	24.18	22.37	19.69	17.89	17.42	20.1	21.9	23.71	24.69		
<i>M max pos</i> (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.61	10.33	16.49	17.95	20.63	21.5	19.72	11.4	10.53	0		

VIGA 7		13 14													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-74.25	-64.26	-46.64	-30.28	-16.06	-16.06	-16.06	-24.05	-38.41	-54.02	-62.94		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	43.37	40.9	35.32	28.49	16.06	16.06	16.81	32.19	41.04	46.61	52.17		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34	28.46	19.63	12.24	6.44	6.44	6.44	9.58	15.83	23.21	27.78		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	18.1	16.96	14.45	11.47	6.44	6.44	6.59	13.07	17.03	20.57	22.29		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	27.13	26.16	24.35	22.54	19.87	18.06	17	19.67	21.48	23.29	24.28		
<i>M max pos</i> (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.54	10.25	16.33	17.72	20.34	22.34	20.46	11.62	10.72	0		

VIGA 9		16 17													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.05	1.72	2.83	3.5	4.17	5.28	5.95	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-70.58	-60.97	-44.64	-29.49	-15.24	-15.24	-15.24	-22.92	-35.98	-50.21	-58.65		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	6.2	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	38.84	36.84	32.34	26.66	15.24	15.24	15.81	31.16	38.93	45.53	48.7		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.7	28.13	19.57	12.41	6.2	6.2	6.2	9.48	15.39	22.37	26.85		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	33.63	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	16.75	15.8	13.7	11.13	6.2	6.2	6.44	13.16	16.79	20	21.6		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-70.43	<i>Vx</i> (ton)	26.11	25.14	23.4	21.65	18.78	17.04	15.67	18.54	20.29	22.03	23		
<i>M max pos</i> (ton-m)	70.43	<i>Sx</i> (cm)	0	9.57	10.29	16.6	18.22	21	23.98	21.5	11.87	10.93	0		

VIGA 11		19 20													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.02	1.67	2.85	3.5	4.15	5.33	5.98	6.83	7		
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-66.92	-57.73	-42.71	-28.75	-14.43	-14.43	-14.43	-21.88	-33.76	-46.7	-54.69		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	5.97	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	35.15	33.5	29.83	25.07	14.43	14.43	14.73	29.96	36.79	42.55	45.4		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.38	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.11	27.79	19.52	12.61	6.1	6.1	6.1	9.42	15.02	21.62	26.03		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	32.38	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.7	14.89	13.12	10.89	6.1	6.1	6.23	13.18	16.51	19.44	20.93		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-65.3	<i>Vx</i> (ton)	24.98	24.02	22.37	20.72	17.7	16.05	14.49	17.5	19.16	20.81	21.77		
<i>M max pos</i> (ton-m)	65.3	<i>Sx</i> (cm)	0	9.85	10.36	16.97	18.84	21.77	25.6	22.5	12.1	11.14	0		

VIGA 13		22 23													
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.36	1.01	1.66	2.85	3.5	4.15	5.34	5.99	6.64	7		
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-60.83	-52.39	-38.49	-25.66	-13.1	-13.1	-13.1	-19.24	-30.09	-42.01	-49.15		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.32	28.4	25.78	22.1	13.1	13.1	13.67	28.92	32.58	37.17	39.27		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.83	25.54	17.72	11.29	5.54	5.54	5.54	8.3	13.44	19.6	23.62		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	27.78	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.55	12.61	11.35	9.61	5.54	5.54	5.8	11.89	14.88	17.03	18.13		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	23.21	22.28	20.63	18.98	15.93	14.27	12.87	15.92	17.58	19.23	20.16		
<i>M max pos</i> (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.4	11.24	18.1	20.66	24.24	28.61	24.15	13.19	12.05	0		

VIGA 15		25 28													
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7		
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-59.38	-51.56	-37.89	-25.29	-12.89	-12.89	-12.89	-18.32	-28.78	-40.31	-46.98		
<i>As min</i> (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	29.69	26.69	24.44	21.13	12.89	12.89	13.41	26.41	31.86	36.25	38.18		
<i>As max sup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.28	25.05	17.4	11.12	5.45	5.45	5.45	7.88	12.8	16.88	22.37		
<i>As max inf</i> (cm <sup>2</sup> )	27.78	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.24	11.78	10.71	9.16	5.45	5.45	5.68	11.85	14.32	16.55	17.55		
<i>M max neg</i> (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.8	21.92	20.28	18.64	15.58	13.94	12.3	15.33	16.97	18.61	19.5		
<i>M max pos</i> (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.57	11.43	18.53	21.28	25.05	30.69	25.55	13.65	12.45	0		

VIGA 17		28 29											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.97	1.6	2.88	3.5	4.12	5.4	6.03	6.65	7
<i>h</i> (cm)	67.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-54.49	-47.15	-34.86	-23.55	-11.79	-11.79	-11.79	-16.7	-26.03	-36.34	-42.57
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.92	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	27.25	23.58	21.34	19	11.79	11.79	12.26	24.25	28.56	31.9	33.34
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.97	23.77	16.64	10.77	5.19	5.19	5.19	7.46	12.01	17.45	21
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.83	10.79	9.89	8.96	5.19	5.19	5.4	11.12	13.31	15.05	15.82
<i>M</i> max neg (ton-m)	-51.73	<i>Vx</i> (ton)	21.41	20.53	18.95	17.37	14.13	12.55	10.97	14.2	15.77	17.35	18.24
<i>M</i> max pos (ton-m)	51.73	<i>Sx</i> (cm)	0	10.85	11.76	19.44	23.13	27.68	31.14	27.19	14.13	12.84	0

VIGA 19		31 32											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.9	1.47	2.93	3.5	4.07	5.53	6.1	6.68	7
<i>h</i> (cm)	62.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-45.69	-39.67	-29.72	-20.6	-9.92	-9.92	-9.92	-14.64	-22.25	-30.66	-35.83
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.53	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	22.85	19.84	16.3	15.42	9.92	9.92	10.38	20.23	22.63	24.2	24.73
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.53	21.72	15.44	10.28	4.74	4.74	4.74	7.13	11.17	16.02	19.2
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	11.5	9.66	7.99	7.53	4.74	4.74	4.97	10.08	11.39	12.26	12.56
<i>M</i> max neg (ton-m)	-43.76	<i>Vx</i> (ton)	18.93	18.1	16.65	15.2	11.51	10.06	8.86	12.55	14	15.45	16.27
<i>M</i> max pos (ton-m)	43.76	<i>Sx</i> (cm)	0	14.32	14.32	21.19	27.74	28.64	28.64	26.64	14.32	13.26	0

VIGA 21		34 35											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-39.95	-34.49	-25.89	-18.03	-8.62	-8.62	-8.62	-12.41	-18.92	-26.17	-30.83
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	19.98	17.25	12.66	12.59	8.62	8.62	9.27	17.24	18.66	19.35	19.4
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.42	19.53	13.97	9.37	4.33	4.33	4.33	6.29	9.87	14.15	17.09
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.47	8.93	6.43	6.38	4.33	4.33	4.64	8.92	9.73	10.11	10.14
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.21	16.4	15.03	13.66	9.84	8.48	7.38	11.2	12.56	13.93	14.74
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	23.08	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 23		37 38											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-34.65	-30.05	-22.24	-15.17	-7.51	-7.51	-7.51	-9.54	-15.26	-21.78	-25.65
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17.32	15.02	8.9	9.65	7.7	7.51	8.46	14.16	14.73	14.55	14.14
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	19.63	16.58	11.78	7.78	4.33	4.33	4.33	4.78	7.84	11.52	13.83
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	8.97	7.7	4.45	4.84	4.33	4.33	4.33	7.24	7.54	7.45	7.22
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.7	14.95	13.58	12.22	8.33	6.97	5.93	9.81	11.17	12.54	13.29
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	26.31	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-27.92	-24.25	-17.48	-11.46	-6.06	-6.06	-6.06	-6.06	-10.39	-15.79	-18.78
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	13.96	12.12	6.06	6.06	6.49	7.36	7.79	10.3	9.86	8.69	9.39
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	15.23	12.98	9.06	5.79	4.33	4.33	4.33	5.22	8.13	9.79	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	7.13	6.14	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.17	4.95	4.34	4.7
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	13.87	13.02	11.68	10.33	6.45	5.11	3.96	7.85	9.19	10.53	11.21
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.85	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-17.84	-15.19	-9.92	-5.38	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-6.09	-10.7	-13.04
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	8.92	7.6	3.8	3.8	6.73	7.71	7.72	5.16	3.8	5.35	6.52
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	9.28	7.79	4.98	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.39	6.83
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.46	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.14	11.34	9.56	7.82	3.77	2.45	2.56	6.43	7.78	9.54	10.35
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>b</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.38	3.32	6.27	0.55	3.5	6.45	0.73	3.68	6.63	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-115.3	-100.01	-25	-82.89	-93.05	-25	-70.69	-86.27	-25	-78.67	-96.13
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	99.29	95.81	40.9	36.5	93.89	36.03	37.57	91.79	31	39.34	48.06
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	41.85	39.74	26.92	43.5	38.74	27.92	44.5	37.74	28.91	45.5	47.61
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0

Tabla A.7 Secciones transversales finales de las traves y columnas, y diseño de columnas del sistema *d*.

Nivel	Trabes		Columnas b (cm)	COLUMNAS LATERALES							COLUMNA CENTRAL						
	b (cm)	h (cm)		Ast (cm <sup>2</sup> )	Ash (cm <sup>2</sup> )	Estribos tramo confinado			Estribos tramo no confinado		Ast (cm <sup>2</sup> )	Ash (cm <sup>2</sup> )	Estribos tramo confinado			Estribos tramo no confinado	
						Ramas	Longitud (cm)	Cantidad	Longitud (cm)	Cantidad			Ramas	Longitud (cm)	cantidad	Longitud (cm)	Cantidad
14	30	60	50	28.81	1.42	2	60.0	14	120.0	10	30.33	1.42	2	60.0	14	120.0	5
13	30	60	55	30.25	2.13	3	60.0	10	120.0	4	30.25	2.13	3	60.0	10	120.0	4
12	30	60	60	36.80	2.84	4	60.0	9	120.0	4	36.00	2.84	4	60.0	9	120.0	4
11	30	60	60	36.00	2.84	4	60.0	9	120.0	4	36.00	2.84	4	60.0	9	120.0	4
10	30	60	65	42.25	2.84	4	65.0	10	110.0	3	42.25	2.84	4	65.0	10	110.0	4
9	30	60	65	42.25	2.84	4	65.0	10	107.5	3	42.25	2.84	4	65.0	10	107.5	4
8	30	65	67.5	45.56	2.84	4	67.5	11	98.8	3	45.56	2.84	4	67.5	11	98.8	5
7	30	67.5	70	49.00	2.84	4	70.0	12	91.3	3	49.00	2.84	4	70.0	12	91.3	5
6	30	70	70	49.00	2.84	4	70.0	12	90.0	3	49.00	2.84	4	70.0	12	90.0	5
5	30	70	70	49.00	2.84	4	70.0	12	88.8	3	49.00	2.84	4	70.0	12	88.8	6
4	30	72.5	70	49.00	2.84	4	70.0	12	87.5	3	49.00	2.84	4	70.0	12	87.5	6
3	30	72.5	72.5	52.56	2.84	4	72.5	13	82.5	3	52.56	2.84	4	72.5	13	82.5	5
2	30	72.5	72.5	52.56	2.84	4	72.5	13	82.5	2	52.56	2.84	4	72.5	13	82.5	4
1	30	72.5	72.5	125.62	2.84	4	72.5	13	168.8	6	106.06	2.84	4	72.5	13	168.8	10

Tabla A.8 Diseño de traves del sistema d.

VIGA 1		4 5											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.36	1.04	1.71	2.83	3.5	4.17	5.29	5.96	6.64	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-63.92	-55.34	-40.32	-26.47	-13.83	-13.83	-13.83	-23.76	-37.15	-51.71	-60.04
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.32	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	40.64	38.54	33.75	27.79	15.27	13.83	14.23	27.52	33.94	39.19	41.53
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	30.34	25.85	17.79	11.17	5.63	5.63	5.63	9.95	16.22	23.8	28.63
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.95	16.91	14.57	11.78	6.24	5.63	5.8	11.65	14.66	17.23	18.41
<i>M</i> max neg (ton-m)	-60.37	<i>Vx</i> (ton)	24.14	23.2	21.45	19.71	16.81	15.06	16.13	19.03	20.77	22.52	23.46
<i>M</i> max pos (ton-m)	60.37	<i>Sx</i> (cm)	0	10.38	11.22	18.12	20.41	23.59	21.45	19.05	11.59	10.69	0

VIGA 3		7 8											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.36	1.04	1.71	2.83	3.5	4.17	5.29	5.96	6.64	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-71.53	-62.14	-45.62	-30.27	-15.54	-15.54	-15.54	-26.83	-41.28	-56.91	-65.81
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.32	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	45.94	43.27	37.42	30.39	16.1	15.54	15.96	31.75	39.68	46.43	49.58
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.59	29.58	20.52	12.93	6.36	6.36	6.36	11.34	18.28	26.76	31.16
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.69	19.3	16.35	12.98	6.6	6.36	6.54	13.62	17.47	20.95	22.64
<i>M</i> max neg (ton-m)	-60.37	<i>Vx</i> (ton)	26.38	25.44	23.69	21.95	19.05	17.3	17.71	20.61	22.35	24.1	25.04
<i>M</i> max pos (ton-m)	60.37	<i>Sx</i> (cm)	0	9.48	10.16	15.82	17.26	19.64	19.08	17.55	10.77	9.99	0

VIGA 5		10 11											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.04	1.71	2.83	3.5	4.17	5.29	5.96	6.64	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-73.6	-64	-47.09	-31.35	-16	-16	-16	-26.77	-41.24	-56.87	-65.78
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.32	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	46.07	43.4	37.53	30.5	16.19	16	16.29	32.72	41.04	48.18	51.54
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.47	30.38	21.3	13.44	6.58	6.58	6.56	11.31	18.26	26.74	31.14
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.75	19.36	16.41	13.03	6.64	6.58	6.68	14.08	18.18	21.88	23.71
<i>M</i> max neg (ton-m)	-60.37	<i>Vx</i> (ton)	26.95	26.01	24.27	22.52	19.62	17.88	17.72	20.63	22.37	24.11	25.05
<i>M</i> max pos (ton-m)	60.37	<i>Sx</i> (cm)	0	9.25	9.92	15.35	16.59	18.83	19.11	17.68	10.76	9.98	0

VIGA 7		13 14											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1.02	1.7	2.83	3.5	4.17	5.3	5.96	6.65	7
<i>h</i> (cm)	72.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-73.63	-64.36	-47.43	-31.87	-16.09	-16.09	-16.09	-26.06	-40.22	-55.54	-63.98
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.32	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	44.42	42.02	36.51	29.82	16.09	16.09	16.26	32.86	41.15	48.27	51.51
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.48	30.53	21.47	13.58	6.59	6.59	6.59	10.99	17.74	25.97	30.37
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	28.83	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	19.89	18.65	15.91	12.72	6.59	6.59	6.66	14.15	18.21	21.92	23.69
<i>M</i> max neg (ton-m)	-60.37	<i>Vx</i> (ton)	26.95	26.04	24.3	22.56	19.62	17.88	17.23	20.16	21.91	23.65	24.56
<i>M</i> max pos (ton-m)	60.37	<i>Sx</i> (cm)	0	9.24	9.91	15.36	16.58	18.85	19.88	18.32	10.99	10.18	0

VIGA 9		16 17											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-68.97	-60.15	-44.66	-30.26	-15.04	-15.04	-15.04	-24.43	-37.13	-50.93	-58.83
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	38.95	37.08	32.78	27.39	15.04	15.04	15.15	31.25	38.33	44.33	47.12
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.54	29.62	21.06	13.52	6.4	6.4	6.4	10.71	17.01	24.67	29.03
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.96	16.98	14.78	12.12	6.4	6.4	6.45	14.01	17.63	20.88	22.45
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	25.66	24.75	23.07	21.39	18.26	16.58	15.65	18.78	20.46	22.14	23.04
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.36	10.05	15.82	17.38	19.88	21.64	19.46	11.33	10.47	0

VIGA 11		19 20											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-68.42	-59.69	-44.35	-30.08	-14.92	-14.92	-14.92	-23.45	-35.77	-49.15	-56.83
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	37.33	35.6	31.56	26.45	14.92	14.92	14.99	31.01	38.07	44.07	46.86
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.78	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.29	29.41	20.89	13.43	6.35	6.35	6.35	10.25	16.3	23.62	28.14
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.11	16.21	14.16	11.67	6.35	6.35	6.38	13.89	17.5	20.73	22.3
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	25.4	24.51	22.86	21.2	18.12	16.47	15.11	18.19	19.84	21.49	22.39
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.46	10.14	16	17.55	20.06	22.76	20.41	11.68	10.78	0

VIGA 13		22 23											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.97	1.6	2.88	3.5	4.12	5.4	6.03	6.65	7
<i>h</i> (cm)	67.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-63.5	-55.25	-41.34	-28.43	-13.81	-13.81	-13.81	-21.8	-32.84	-44.86	-52.05
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.92	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	32.38	31.13	28.13	24.15	13.81	13.81	13.83	29.04	34.91	39.79	42.1
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.15	28.32	20.29	13.24	6.12	6.12	6.12	9.91	15.55	22.37	26.84
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.31	14.64	13.08	11.07	6.12	6.12	6.13	13.55	16.67	19.39	20.73
<i>M</i> max neg (ton-m)	-51.73	<i>Vx</i> (ton)	24.02	23.13	21.54	19.95	16.68	15.09	13.65	16.93	18.51	20.1	21
<i>M</i> max pos (ton-m)	51.73	<i>Sx</i> (cm)	0	9.63	10.35	16.62	18.65	21.51	24.97	21.62	12.03	11.08	0

VIGA 15		25 28											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.34	0.94	1.53	2.9	3.5	4.1	5.47	6.06	6.66	7
<i>h</i> (cm)	65	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-58.55	-51.08	-38.56	-26.95	-12.77	-12.77	-12.77	-20.32	-30.19	-40.97	-47.46
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.73	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	29.27	27.21	25.1	22.09	12.77	12.77	12.77	26.91	31.66	35.51	37.28
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	30.9	27.27	19.76	13.11	5.89	5.89	5.89	9.63	14.89	21.24	25.48
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	14.38	13.25	12.12	10.54	5.89	5.89	5.89	13.09	15.72	17.93	18.99
<i>M</i> max neg (ton-m)	-47.66	<i>Vx</i> (ton)	22.56	21.7	20.19	18.67	15.2	13.69	12.29	15.76	17.28	18.79	19.65
<i>M</i> max pos (ton-m)	47.66	<i>Sx</i> (cm)	0	9.86	10.59	17.4	20.06	23.38	27.59	22.79	12.38	11.38	0

VIGA 17		28 29											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-49.3	-42.95	-32.85	-23.51	-10.74	-10.74	-10.74	-17.8	-25.78	-34.52	-40.06
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	24.65	21.47	19.43	17.98	10.74	10.74	10.74	22.62	25.43	27.48	28.33
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.43	25.04	18.42	12.54	5.41	5.41	5.41	9.24	13.91	19.55	23.5
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.22	11.34	10.16	9.34	5.41	5.41	5.41	12.01	13.69	14.95	15.49
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	19.96	19.13	17.75	16.36	12.48	11.09	9.99	13.87	15.26	16.85	17.47
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	10.24	11.04	18.88	23.58	27.39	27.39	24.42	12.84	11.77	0

VIGA 19		31 32											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-46.47	-40.38	-30.73	-21.83	-10.1	-10.1	-10.1	-15.79	-23.26	-31.49	-36.73
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	23.23	20.19	17.07	16.13	10.1	10.1	10.26	20.91	23.27	24.87	25.46
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.92	23.67	17.02	11.55	5.07	5.07	5.07	8.12	12.39	17.52	21.08
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.37	10.6	8.83	8.31	5.07	5.07	5.16	11.01	12.39	13.35	13.71
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	19.14	18.32	16.93	15.54	11.66	10.28	9.06	12.94	14.33	15.72	16.54
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	19.97	25.84	27.39	27.39	26.66	13.68	12.47	0

VIGA 21		34 35											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.8	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-40.53	-35.43	-26.7	-18.72	-8.86	-8.86	-8.86	-12.56	-19.08	-26.36	-30.66
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	20.26	17.72	12.64	12.61	8.86	8.86	9.35	17.66	19.14	19.88	19.96
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.74	20.17	14.47	9.76	4.43	4.43	4.43	6.37	9.96	14.26	16.97
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.64	9.19	6.41	6.4	4.43	4.43	4.88	9.16	10	10.42	10.47
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.37	16.62	15.26	13.89	10.01	8.64	7.35	11.23	12.59	13.96	14.71
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	22.74	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 23		37 38											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.8	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-34.8	-30.19	-22.34	-15.25	-7.55	-7.55	-7.55	-9.04	-14.65	-21.01	-24.81
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17.4	15.09	8.21	9.1	7.55	7.55	8.53	14.32	14.92	14.77	14.37
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	19.74	16.67	11.85	7.83	4.33	4.33	4.33	4.52	7.5	11.07	13.31
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	9.02	7.74	4.33	4.55	4.33	4.33	4.33	7.32	7.64	7.56	7.35
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.75	15	13.64	12.27	8.39	7.02	5.68	9.56	10.92	12.29	13.04
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	26.16	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-27.73	-24.07	-17.33	-11.33	-6.02	-6.02	-6.02	-6.02	-9.51	-14.73	-17.63
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	13.86	12.03	6.02	6.02	6.28	7.37	7.91	10.23	9.77	8.57	8.81
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	15.11	12.87	8.98	5.72	4.33	4.33	4.33	4.33	4.76	7.54	9.14
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	7.07	6.09	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.14	4.9	4.33	4.4
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.07	13.12	11.63	10.29	6.4	5.06	3.72	7.51	8.86	10.2	10.87
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-17.75	-15.11	-9.84	-5.3	-3.78	-3.78	-3.78	-3.78	-5.44	-9.92	-12.2
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	8.87	7.55	3.78	3.78	6.69	7.75	7.85	5.23	3.78	4.96	6.1
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	9.21	7.75	4.94	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.96	6.18
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.43	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.31	11.51	9.75	7.99	3.76	2.44	2.32	6.19	7.62	9.38	10.18
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>b</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.36	3.31	6.26	0.55	3.5	6.45	0.74	3.69	6.84	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-122.6	-107.37	-26.84	-62.53	-99.69	-26.84	-71.12	-92.21	-26.84	-79.91	-97.26
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	107.15	103.33	44.84	36.53	101.03	39.4	37.91	98.54	33.75	39.95	48.63
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	43.03	40.99	28.13	44.72	39.92	29.2	45.78	38.85	30.27	46.85	48.89
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0





Tabla A.10 Diseño de traves de traves del sistema e.

VIGA 1		4 5											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-50.41	-43.45	-31.42	-20.47	-10.86	-10.86	-10.86	-18.15	-28.69	-40.32	-47.06
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	27.33	28.63	24.49	21.27	12.36	10.86	11.61	21.28	24.92	27.46	28.38
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	24.36	20.39	14.1	8.86	5.12	5.12	5.12	7.8	12.75	18.89	22.42
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.09	11.76	10.74	9.23	5.22	5.12	5.12	9.24	10.94	12.16	12.6
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	20.33	19.42	17.74	16.06	12.94	11.26	12.31	15.44	17.12	18.79	19.7
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	11.93	13.06	22.25	27.89	32.38	30.08	23.68	13.54	12.33	0

VIGA 3		7 8											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-56.17	-48.62	-35.49	-23.45	-12.16	-12.16	-12.16	-20.28	-31.5	-43.8	-50.91
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.81	29.74	26.92	23.02	12.85	12.16	12.87	24.58	29.31	32.95	34.46
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.85	23.32	16.16	10.24	5.13	5.13	5.13	8.77	14.13	20.98	24.66
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.79	13.27	11.9	10.04	5.44	5.13	5.44	10.78	13.05	14.86	15.63
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.02	21.12	19.44	17.76	14.63	12.95	13.35	16.48	18.16	19.84	20.75
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.98	11.92	19.56	23.3	27.78	26.74	22.2	12.76	11.68	0

VIGA 5		10 11											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-57.71	-50.01	-36.59	-24.27	-12.5	-12.5	-12.5	-20.02	-31.16	-43.38	-50.44
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.39	29.37	26.64	22.81	12.79	12.5	13.13	25.37	30.37	34.29	35.96
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.53	24.12	16.72	10.63	5.28	5.28	5.28	8.65	13.97	20.35	24.38
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.59	13.08	11.76	9.95	5.41	5.28	5.56	11.15	13.58	15.54	16.4
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.46	21.55	19.87	18.19	15.06	13.38	13.23	16.36	18.04	19.72	20.62
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.76	11.67	19.02	22.32	26.52	27.22	22.68	12.85	11.76	0

VIGA 7		13 14											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-58.07	-50.33	-36.85	-24.46	-12.58	-12.58	-12.58	-19.29	-30.18	-42.16	-49.08
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	29.07	28.18	25.69	22.12	12.58	12.58	13.21	25.57	30.64	34.63	36.34
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.69	24.32	16.86	10.72	5.32	5.32	5.32	8.32	13.48	19.68	23.58
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.94	12.5	11.31	9.82	5.32	5.32	5.59	11.25	13.71	15.72	16.59
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.56	21.65	19.97	18.3	15.17	13.49	12.84	15.97	17.65	19.33	20.24
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.7	11.6	18.89	22.04	26.23	28.53	23.62	13.13	11.99	0

VIGA 9		16 17											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.97	1.6	2.88	3.5	4.12	5.4	6.03	6.65	7
<i>h</i> (cm)	67.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-54.38	-47.01	-34.67	-23.34	-11.75	-11.75	-11.75	-17.89	-27.68	-38.47	-44.98
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.92	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	27.19	24.34	22.72	20.08	11.75	11.75	12.33	24.1	28.28	31.45	32.79
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.92	23.68	16.54	10.67	5.17	5.17	5.17	8.03	12.85	18.64	22.44
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.6	11.17	10.36	9.08	5.17	5.17	5.44	11.04	13.16	14.81	15.52
<i>M</i> max neg (ton-m)	-51.73	<i>Vx</i> (ton)	21.53	20.62	19.01	17.39	14.07	12.45	11.58	14.91	16.52	18.14	19.04
<i>M</i> max pos (ton-m)	51.73	<i>Sx</i> (cm)	0	10.81	11.72	19.37	23.26	27.97	31.14	24.96	13.49	12.29	0

VIGA 11		19 20											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.34	0.96	1.58	2.88	3.5	4.12	5.42	6.04	6.66	7
<i>h</i> (cm)	67.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-53.59	-46.58	-34.41	-23.23	-11.64	-11.64	-11.64	-17.02	-28.45	-36.86	-42.92
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.92	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	26.79	23.29	21.53	19.19	11.64	11.64	12.12	23.8	27.89	31	32.27
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.55	23.41	16.4	10.61	5.12	5.12	5.12	7.62	12.22	17.74	21.21
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	26.69	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.4	10.64	9.78	8.65	5.12	5.12	5.34	10.9	12.96	14.57	15.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-51.73	<i>Vx</i> (ton)	21.2	20.34	18.75	17.16	13.85	12.26	11.03	14.34	15.93	17.52	18.38
<i>M</i> max pos (ton-m)	51.73	<i>Sx</i> (cm)	0	10.96	11.88	19.74	23.75	28.8	31.14	26.54	13.99	12.72	0

VIGA 13		22 23											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.34	0.94	1.53	2.9	3.5	4.1	5.47	6.06	6.66	7
<i>h</i> (cm)	65	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-49.46	-42.84	-31.84	-21.74	-10.71	-10.71	-10.71	-15.55	-23.95	-33.27	-38.94
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.73	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	24.73	21.42	18.53	17.04	10.71	10.71	11.24	21.97	25.15	27.42	28.3
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.49	22.43	15.81	10.36	4.91	4.91	4.91	7.24	11.52	16.63	19.99
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	11.93	10.2	8.73	7.98	4.91	4.91	5.16	10.48	12.15	13.37	13.85
<i>M</i> max neg (ton-m)	-47.66	<i>Vx</i> (ton)	20.04	19.18	17.66	16.13	12.63	11.11	9.81	13.3	14.83	16.36	17.22
<i>M</i> max pos (ton-m)	47.66	<i>Sx</i> (cm)	0	11.15	12.11	20.47	25.64	29.89	29.89	28.17	14.42	13.08	0

VIGA 15		25 26											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.92	1.52	2.9	3.5	4.1	5.48	6.08	6.68	7
<i>h</i> (cm)	65	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-48.28	-42.03	-31.23	-21.33	-10.51	-10.51	-10.51	-14.57	-22.64	-31.62	-36.88
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.73	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	24.14	21.02	17.24	16.06	10.51	10.51	10.98	21.38	24.38	26.47	27.23
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.92	21.91	15.47	10.15	4.81	4.81	4.81	6.76	10.83	15.69	18.75
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	11.62	9.99	8.08	7.5	4.81	4.81	5.04	10.18	11.74	12.85	13.28
<i>M</i> max neg (ton-m)	-47.66	<i>Vx</i> (ton)	19.65	18.83	17.32	15.8	12.3	10.79	9.27	12.75	14.27	15.78	16.6
<i>M</i> max pos (ton-m)	47.66	<i>Sx</i> (cm)	0	14.94	14.94	21.02	26.62	29.89	29.89	29.89	14.94	13.55	0

VIGA 17		28 29												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-41.03	-35.44	-26.63	-18.58	-8.86	-8.86	-8.86	-12.69	-19.32	-26.71	-31.46	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	20.52	17.72	12.96	12.86	8.86	8.86	9.49	17.79	19.31	20.07	20.17	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	24.01	20.18	14.43	9.88	4.43	4.43	4.43	6.44	10.1	14.48	17.5	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.78	9.2	6.59	6.53	4.43	4.43	4.75	9.23	10.09	10.53	10.58	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.61	16.79	15.4	14.01	10.13	8.74	7.53	11.41	12.8	14.19	15.01	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	22.37	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 19		31 32												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-38.28	-33.34	-24.93	-17.27	-8.34	-8.34	-8.34	-11.11	-17.3	-24.25	-28.38	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	19.14	16.67	10.72	11.12	8.34	8.34	9.07	16.22	17.28	17.58	17.42	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	22.19	18.75	13.39	8.94	4.33	4.33	4.33	5.6	8.96	12.98	15.52	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10	8.61	5.4	5.61	4.33	4.33	4.53	8.36	8.95	9.12	9.03	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	16.82	16.06	14.68	13.29	9.34	7.96	6.67	10.61	12	13.39	14.15	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	23.83	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 21		34 35												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-34.84	-30.22	-22.37	-15.27	-7.56	-7.56	-7.56	-8.91	-14.48	-20.8	-24.58	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17.42	15.11	8.01	8.94	7.56	7.56	8.53	14.33	14.93	14.79	14.39	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	19.76	16.69	11.87	7.84	4.33	4.33	4.33	4.45	7.41	10.95	13.18	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	9.03	7.75	4.33	4.47	4.33	4.33	4.33	7.33	7.65	7.58	7.36	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.76	15.01	13.65	12.28	8.4	7.03	5.67	9.49	10.85	12.22	12.97	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	26.14	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 23		37 38												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-29.76	-25.92	-18.82	-12.47	-6.48	-6.48	-6.48	-6.48	-11.12	-16.77	-19.88	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	14.88	12.96	6.48	6.48	6.92	7.61	8.11	11.39	11.18	10.21	9.94	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	16.4	13.99	9.81	6.32	4.33	4.33	4.33	4.33	5.61	8.66	10.42	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	7.63	6.59	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.75	5.64	5.13	4.99	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.33	13.64	12.28	10.91	6.97	5.6	4.31	8.25	9.62	10.98	11.67	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 25		40 41												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-24.38	-21.27	-15.02	-9.49	-5.32	-5.32	-5.32	-5.32	-7.03	-11.73	-14.12	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	12.19	10.64	5.32	5.32	5.83	7.44	8	8.28	7.27	5.87	7.06	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	13.06	11.22	7.7	4.76	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.93	7.21	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	6.17	5.35	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.11	13.24	11.35	9.45	5.47	4.12	2.78	6.58	7.92	9.29	10.15	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 27		43 44												
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7	
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-16.65	-14.08	-8.98	-4.6	-3.52	-3.52	-3.52	-3.52	-4.18	-8.39	-10.55	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	8.33	7.04	3.52	3.52	6.62	7.76	7.94	4.67	3.52	4.2	5.28	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	8.6	7.19	4.49	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.31	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.45	11.64	9.88	8.12	3.47	2.15	1.83	5.72	7.48	9.24	10.04	
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0	

VIGA 29		1 2												
<i>h</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.35	3.3	6.25	0.55	3.5	6.45	0.75	3.7	6.65	7	
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-92.3	-80.02	-20	-48.97	-73.23	-20	-56.73	-66.67	-20	-64.73	-79.1	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	77.44	76.16	38.04	23.38	75.11	33.63	23.44	73.82	28.99	32.36	39.55	
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	36.09	34.12	21.23	37.81	32.98	22.36	38.95	31.84	23.5	40.08	42.05	
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0	



Tabla A.12 Diseño de traves del sistema f.

VIGA 1		4 5											
b (cm)	30	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-50.83	-43.1	-30.16	-18.49	-10.77	-10.77	-10.77	-16.19	-27.37	-39.82	-47.27
As min (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	27.42	26.6	24.16	20.45	12.76	10.77	12.18	20.59	24.79	27.73	28.82
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	22.18	18.32	12.33	7.33	5.52	5.52	5.52	6.38	11.11	16.75	20.37
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	11.13	10.77	9.72	8.15	5.52	5.52	5.52	8.2	9.99	11.26	11.74
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	20.45	19.45	17.64	15.83	13.19	11.38	12.48	15.12	16.93	18.74	19.74
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	12.84	14.15	24.47	30.33	34.08	33.19	26.33	14.75	13.32	0

VIGA 3		7 8											
b (cm)	30	x (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-57.03	-48.86	-34.83	-21.67	-12.21	-12.21	-12.21	-18.56	-30.59	-43.88	-51.54
As min (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	31.41	30.19	26.94	22.43	13.45	12.21	13.61	23.97	29.42	33.6	35.33
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	25.44	21.17	14.35	8.66	5.52	5.52	5.52	7.36	12.52	18.7	22.54
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	12.89	12.35	10.92	8.98	5.52	5.52	5.52	9.64	12.01	13.88	14.67
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	22.27	21.3	19.49	17.68	15	13.19	13.66	16.33	18.14	19.95	20.92
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	11.72	12.81	21.09	24.85	30.31	28.69	24.17	13.76	12.51	0

VIGA 5		10 11											
b (cm)	30	x (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-58.7	-50.35	-35.79	-22.49	-12.59	-12.59	-12.59	-18.34	-30.28	-43.48	-51.1
As min (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	30.97	29.79	26.63	22.21	13.38	12.59	13.94	24.8	30.58	35.1	37
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	26.36	21.93	14.88	9.01	5.52	5.52	5.52	7.27	12.39	18.51	22.31
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	12.69	12.17	10.79	8.89	5.52	5.52	5.52	9.99	12.52	14.56	15.44
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	22.75	21.77	19.97	18.16	15.48	13.67	13.53	16.21	18.02	19.83	20.8
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	11.47	12.51	20.28	23.72	28.65	29.11	24.69	13.86	12.59	0

VIGA 7		13 14											
b (cm)	30	x (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-58.54	-50.21	-35.68	-22.42	-12.55	-12.55	-12.55	-17.33	-28.89	-41.71	-49.12
As min (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	29.27	28.15	25.37	21.34	13.05	12.55	13.89	24.7	30.44	34.92	36.81
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	26.27	21.86	14.83	8.98	5.52	5.52	5.52	6.85	11.77	17.65	21.3
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	11.94	11.45	10.24	8.52	5.52	5.52	5.52	9.95	12.48	14.48	15.35
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	22.7	21.72	19.91	18.11	15.43	13.62	12.99	15.66	17.47	19.28	20.25
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	11.49	12.54	20.35	23.84	28.81	31.09	26.07	14.29	12.95	0

VIGA 9		16 17											
b (cm)	30	x (m)	0	0.35	1.05	1.75	2.8	3.5	4.2	5.25	5.95	6.65	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-57.53	-49.85	-35.49	-22.39	-12.46	-12.46	-12.46	-16.33	-27.42	-39.78	-46.46
As min (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	28.76	26.07	23.84	20.35	12.67	12.46	13.63	24.35	29.84	34.07	35.71
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	25.72	21.67	14.74	8.96	5.52	5.52	5.52	6.44	11.13	16.74	19.97
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	11.72	10.54	9.58	8.11	5.52	5.52	5.52	9.8	12.19	14.09	14.84
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	22.39	21.49	19.68	17.87	15.13	13.32	12.26	15	16.81	18.62	19.53
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	11.62	12.69	20.74	24.54	29.85	34.08	27.88	14.85	13.41	0

VIGA 11		19 20											
b (cm)	30	x (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
h (cm)	70	Mx(-) (ton-m)	-50.91	-43.91	-31.77	-20.71	-10.98	-10.98	-10.98	-14.92	-24.18	-34.51	-40.54
As min (cm <sup>2</sup> )	5.12	Mx(+) (ton-m)	25.46	21.95	19.54	17.49	10.98	10.98	11.97	22.02	25.88	28.87	29.73
As max sup (cm <sup>2</sup> )	27.78	Assup (cm <sup>2</sup> )	24.66	20.64	14.27	8.97	5.12	5.12	5.12	6.35	10.59	15.66	18.81
As max inf (cm <sup>2</sup> )	27.78	Asinf (cm <sup>2</sup> )	11.19	9.55	8.43	7.5	5.12	5.12	5.12	9.58	11.4	12.74	13.26
M max neg (ton-m)	-55.97	Vx (ton)	20.46	19.56	17.91	16.26	13.17	11.52	10.39	13.47	15.13	16.78	17.87
M max pos (ton-m)	55.97	Sx (cm)	0	11.85	12.94	21.71	27.04	32.38	32.38	29.96	15.2	13.81	0

VIGA 13		22 23											
b (cm)	30	x (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
h (cm)	70	Mx(-) (ton-m)	-50.81	-43.82	-31.71	-20.67	-10.95	-10.95	-10.95	-14.17	-23.19	-33.28	-39.18
As min (cm <sup>2</sup> )	5.12	Mx(+) (ton-m)	25.41	21.91	18.66	16.85	10.95	10.95	11.93	21.94	25.77	28.54	29.59
As max sup (cm <sup>2</sup> )	27.78	Assup (cm <sup>2</sup> )	24.6	20.59	14.24	8.95	5.12	5.12	5.12	6.02	10.12	15.03	18.08
As max inf (cm <sup>2</sup> )	27.78	Asinf (cm <sup>2</sup> )	11.17	9.53	8.03	7.21	5.12	5.12	5.12	9.54	11.35	12.68	13.19
M max neg (ton-m)	-55.97	Vx (ton)	20.42	19.53	17.87	16.22	13.14	11.49	10.02	13.1	14.75	16.4	17.3
M max pos (ton-m)	55.97	Sx (cm)	0	11.87	12.97	21.77	27.15	32.38	32.38	31.44	15.2	14.13	0

VIGA 15		25 28											
b (cm)	30	x (m)	0	0.35	0.95	1.55	2.9	3.5	4.1	5.45	6.05	6.65	7
h (cm)	65	Mx(-) (ton-m)	-43.98	-37.68	-27.83	-18.49	-9.42	-9.42	-9.42	-12.61	-20.1	-28.49	-33.82
As min (cm <sup>2</sup> )	4.73	Mx(+) (ton-m)	21.99	18.84	14.69	14.03	9.42	9.42	10.35	18.97	21.28	22.69	23.1
As max sup (cm <sup>2</sup> )	25.82	Assup (cm <sup>2</sup> )	23.18	19.22	13.48	8.71	4.73	4.73	4.73	5.81	9.52	13.95	16.95
As max inf (cm <sup>2</sup> )	25.82	Asinf (cm <sup>2</sup> )	10.49	8.88	6.82	6.5	4.73	4.73	4.74	8.95	10.13	10.86	11.07
M max neg (ton-m)	-47.66	Vx (ton)	18.45	17.56	16.05	14.53	11.1	9.58	8.33	11.77	13.28	14.8	15.68
M max pos (ton-m)	47.66	Sx (cm)	0	14.94	14.94	23.08	29.89	29.89	29.89	29.89	14.94	14.46	0

VIGA 17		28 29											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.92	1.52	2.9	3.5	4.1	5.48	6.08	6.68	7
<i>h</i> (cm)	65	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-42.14	-36.45	-26.69	-17.83	-9.11	-9.11	-9.11	-11.49	-18.62	-26.85	-31.4
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.73	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	21.07	18.23	13.09	12.86	9.11	9.11	10.01	18	19.96	21.01	21.2
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	21.98	18.49	12.97	8.37	4.73	4.73	4.73	5.28	8.77	12.95	15.57
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	25.62	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.02	8.57	6.04	5.93	4.73	4.73	4.73	8.46	9.45	9.99	10.09
<i>M</i> max neg (ton-m)	-47.66	<i>Vx</i> (ton)	17.92	17.09	15.58	14.06	10.56	9.05	7.67	11.17	12.68	14.19	15.02
<i>M</i> max pos (ton-m)	47.66	<i>Sx</i> (cm)	0	14.94	14.94	24.06	29.89	29.89	29.89	29.89	14.94	14.94	0

VIGA 19		31 32											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.32	0.87	1.42	2.95	3.5	4.05	5.58	6.13	6.68	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-35.02	-29.98	-22.1	-14.98	-7.5	-7.5	-7.5	-9.52	-15.29	-21.83	-26.07
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17.51	14.99	8.79	9.56	7.62	7.5	8.62	14.31	14.9	14.73	14.27
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	19.89	16.54	11.7	7.68	4.33	4.33	4.33	4.77	7.85	11.55	14.08
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	9.08	7.68	4.39	4.78	4.33	4.33	4.33	7.31	7.63	7.54	7.29
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.91	15.08	13.7	12.31	8.43	7.04	5.97	9.85	11.24	12.63	13.45
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	25.9	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 21		34 35											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-31.35	-27.04	-19.73	-13.17	-6.76	-6.76	-6.76	-7.57	-12.78	-18.74	-22.32
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	15.68	13.52	6.76	7.53	7.09	7.46	8.01	12.28	12.34	11.65	11.16
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	17.43	14.68	10.33	6.7	4.33	4.33	4.33	4.33	6.49	9.77	11.84
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	8.06	8.89	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.22	6.25	5.89	5.63
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.77	14.02	12.66	11.29	7.41	6.04	4.95	8.84	10.2	11.57	12.31
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 23		37 38											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.28	0.82	1.37	2.95	3.5	4.05	5.63	6.18	6.72	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-26.74	-23.13	-16.49	-10.61	-5.78	-5.78	-5.78	-5.78	-9.75	-15.1	-18.06
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	13.37	11.56	5.78	5.78	6.55	7.6	7.98	9.63	8.95	7.55	9.03
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	14.5	12.31	8.51	5.34	4.33	4.33	4.33	4.33	4.89	7.74	9.39
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	6.81	5.84	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.83	4.48	4.33	4.52
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	13.96	13	11.43	10.06	6.12	4.75	3.77	7.71	9.08	10.44	11.13
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-22.14	-19.2	-13.28	-8.1	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-6.2	-10.73	-13.04
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	11.07	9.6	4.8	4.8	5.94	7.42	7.87	6.96	5.81	5.36	6.52
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	11.73	10.03	6.76	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.4	6.63
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	5.58	4.81	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	13.9	13.03	11.13	9.23	4.84	3.5	2.31	6.25	7.6	9.5	10.37
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-15.53	-12.85	-7.95	-3.77	-3.21	-3.21	-3.21	-3.21	-3.95	-8.09	-10.22
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	7.77	6.43	3.21	3.21	6.88	7.72	7.79	3.88	3.21	4.05	5.11
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	7.98	6.53	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	5.14
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	12.27	11.46	9.7	7.94	3.1	1.78	1.71	5.9	7.66	9.42	10.23
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>b</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.39	3.34	6.28	0.55	3.5	6.45	0.72	3.68	6.61	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-101.34	-87.01	-21.75	-53.6	-81.17	-21.75	-60.21	-75.49	-21.75	-66.98	-83.49
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	84.57	82.47	38.88	26.85	81.33	35	27.22	80.03	30.96	33.49	41.74
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	38.08	35.9	23.08	39.66	34.97	24.01	40.59	34.04	24.94	41.52	43.7
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0



Tabla A.14 Diseño de traves del sistema g.

VIGA 1		4 5													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-53.82	-45.76	-32.23	-19.97	-11.44	-11.44	-11.44	-17.42	-29.13	-42.1	-49.85		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.12	29.01	26.04	21.81	13.36	11.44	12.74	22	26.79	30.32	31.74		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.11	19.22	13.09	7.89	6.44	6.44	6.44	6.84	11.74	17.51	21.17		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.17	11.89	10.42	8.65	6.44	6.44	6.44	8.73	10.74	12.26	12.87		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	21.3	20.29	18.48	16.67	14.03	12.22	13.23	15.88	17.68	19.49	20.5		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	12.3	13.51	24.17	29.21	29.21	29.21	26.25	14.12	12.81	0		

VIGA 3		7 8													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-60.66	-51.82	-36.91	-23.25	-12.96	-12.96	-12.96	-19.79	-32.4	-46.27	-54.52		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	34.5	32.9	29.02	23.89	14.11	12.96	14.28	25.58	31.76	36.89	38.87		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.57	22.13	15.16	9.25	6.44	6.44	6.44	7.81	13.16	19.46	23.46		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	14.09	13.38	11.7	9.52	6.44	6.44	6.44	10.23	12.88	15.06	16.04		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	23.29	22.29	20.48	18.67	16.03	14.22	14.53	17.17	18.98	20.79	21.79		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	11.2	12.19	20.63	24.37	29.21	28.55	23.96	13.16	12.01	0		

VIGA 5		10 11													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-64.35	-55.11	-39.45	-25.05	-13.78	-13.78	-13.78	-20.53	-33.43	-47.6	-56.01		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	35.97	34.2	30.03	24.6	14.4	13.78	15.04	27.42	34.34	40	42.6		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.51	23.75	16.3	10.01	6.44	6.44	6.44	8.12	13.61	20.09	24.2		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	14.74	13.95	12.13	9.82	6.44	6.44	6.44	11.01	14.02	16.56	17.75		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	24.35	23.35	21.54	19.73	17.09	15.28	14.95	17.59	19.4	21.21	22.21		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	10.69	11.59	19.15	22.08	26.29	27.24	23.45	12.87	11.77	0		

VIGA 7		13 14													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-72.21	-62.09	-44.85	-28.88	-15.52	-15.52	-15.52	-23.47	-37.56	-52.91	-61.98		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	41.87	39.44	34.09	27.48	15.55	15.52	18.87	31.36	39.86	47.1	50.57		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.83	27.32	18.79	11.64	6.44	6.44	6.44	9.34	15.45	22.66	27.26		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.41	18.3	13.9	11.03	6.44	6.44	6.54	12.71	16.49	19.85	21.52		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	26.61	25.61	23.8	21.99	19.35	17.54	16.65	19.29	21.1	22.91	23.91		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.75	10.49	16.77	18.4	21.23	23.04	20.96	11.83	10.9	0		

VIGA 9		16 17													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-79.62	-68.69	-50	-32.58	-17.17	-17.17	-17.17	-26.03	-41.22	-57.67	-67.35		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	47.52	44.48	38.03	30.32	17.17	17.17	18	34.81	44.77	53.46	57.74		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	36.46	30.87	21.24	13.24	6.74	6.74	6.74	10.42	17.11	25.04	30.13		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.05	18.62	15.66	12.26	6.74	6.74	7.08	14.22	18.75	22.93	25.07		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	28.7	27.69	25.88	24.07	21.43	19.62	18.22	20.86	22.67	24.48	25.48		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.02	9.65	15.08	18.03	18.14	20.34	19.06	11.01	10.2	0		

VIGA 11		19 20													
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-81.12	-70.08	-51.17	-33.5	-17.52	-17.52	-17.52	-25.83	-40.95	-57.31	-66.94		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	47.85	44.77	38.25	30.49	17.52	17.52	18.06	35.35	45.66	54.73	59.22		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	37.08	31.63	21.81	13.64	6.88	6.88	6.88	10.33	16.99	24.86	29.91		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.21	18.75	15.76	12.33	6.88	6.88	7.1	14.46	19.17	23.56	25.83		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	28.98	28	26.21	24.43	21.83	20.05	18.27	20.78	22.56	24.34	25.33		
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.92	9.52	14.85	15.87	17.64	20.27	19.27	11.06	10.26	0		

VIGA 13		22 23													
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-73.02	-63.18	-45.82	-29.7	-15.79	-15.79	-15.79	-22.74	-36.42	-51.35	-59.89		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.52	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	40.26	38.07	33.03	26.75	15.79	15.79	16.69	31.86	40.57	48.04	51.54		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.21	28.88	19.65	12.13	6.22	6.22	6.22	9.11	15.17	22.44	27.01		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	16.96	15.93	13.62	10.84	6.22	6.22	6.59	13.09	17.11	20.76	22.54		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-64.94	<i>Vx</i> (ton)	26.73	25.77	23.99	22.21	19.58	17.79	16.09	18.72	20.5	22.29	23.24		
<i>M</i> max pos (ton-m)	64.94	<i>Sx</i> (cm)	0	9.69	10.41	16.03	17.29	19.72	22.99	21.09	12.18	11.2	0		

VIGA 15		25 28													
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7		
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-72.21	-62.48	-45.32	-29.4	-15.62	-15.62	-15.62	-21.69	-34.99	-49.53	-57.85		
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.52	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	38.75	38.72	32	26.05	15.62	15.62	16.38	31.32	39.9	47.24	50.67		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.88	28.47	19.41	12	6.15	6.15	6.15	8.87	14.51	21.51	25.89		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	16.25	15.31	13.16	10.53	6.15	6.15	6.46	12.85	16.79	20.36	22.1		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-64.94	<i>Vx</i> (ton)	26.42	25.47	23.7	21.94	19.32	17.55	15.79	18.18	19.95	21.72	22.67		
<i>M</i> max pos (ton-m)	64.94	<i>Sx</i> (cm)	0	9.8	10.53	16.29	17.58	20.07	23.57	21.98	12.51	11.5	0		

VIGA 17		28 29											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.85	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.85	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-61.31	-53.29	-39.27	-26.31	-13.32	-13.32	-13.32	-19.43	-30.27	-42.17	-49.05
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.65	28.52	25.89	22.19	13.32	13.32	13.77	27.43	33.24	37.98	40.11
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	30.13	26.09	18.13	11.6	5.64	5.64	5.64	8.38	13.53	19.69	23.56
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.72	12.67	11.4	9.66	5.64	5.64	5.84	12.14	15.01	17.45	18.57
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	23.35	22.47	20.83	19.19	16.13	14.49	12.86	15.92	17.56	19.2	20.09
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.32	11.13	17.92	20.34	23.76	28.7	24.32	13.2	12.07	0

VIGA 19		31 32											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-59.55	-51.71	-38.02	-25.39	-12.93	-12.93	-12.93	-18.06	-28.45	-39.89	-46.52
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	29.78	26.35	24.18	20.94	12.93	12.93	13.42	26.47	31.95	36.37	38.32
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.35	25.14	17.47	11.18	5.47	5.47	5.47	7.76	12.63	18.46	22.11
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.28	11.62	10.59	9.08	5.47	5.47	5.69	11.68	14.36	16.61	17.63
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	22.85	21.96	20.32	18.68	15.62	13.98	12.34	15.21	16.85	18.49	19.38
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10.55	11.41	18.48	21.2	24.94	30.52	25.92	13.75	12.53	0

VIGA 21		34 35											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.92	1.5	2.93	3.5	4.07	5.5	6.08	6.65	7
<i>h</i> (cm)	82.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-46.16	-39.68	-29.72	-20.59	-9.92	-9.92	-9.92	-14.62	-22.48	-30.95	-36.53
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.53	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	23.08	19.84	16.95	15.84	9.92	9.92	10.41	20.47	23.06	24.84	25.52
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.77	21.72	15.44	10.27	4.74	4.74	4.74	7.22	11.3	16.18	19.65
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	11.64	9.86	8.33	7.75	4.74	4.74	4.99	10.2	11.63	12.62	13
<i>M</i> max neg (ton-m)	-43.76	<i>Vx</i> (ton)	18.97	18.1	16.67	15.24	11.67	10.24	9.08	12.65	14.08	15.5	16.38
<i>M</i> max pos (ton-m)	43.76	<i>Sx</i> (cm)	0	14.32	14.32	21.11	27.16	28.64	28.64	28.64	14.32	13.22	0

VIGA 23		37 38											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.8	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-37.81	-32.94	-24.64	-17.09	-8.24	-8.24	-8.24	-11.83	-18.16	-25.24	-29.43
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	18.9	16.47	11.7	11.87	8.25	8.24	8.91	16	17.06	17.37	17.22
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	21.85	18.48	13.22	8.84	4.33	4.33	4.33	5.98	9.44	13.58	16.19
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	9.86	8.5	5.91	6	4.33	4.33	4.45	8.24	8.83	9	8.92
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	16.59	15.84	14.48	13.11	9.23	7.86	6.99	10.88	12.24	13.61	14.36
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	24.28	27.39	27.39	27.39	27.39	13.89	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-31.75	-27.43	-20.11	-13.53	-6.86	-6.86	-6.86	-8.07	-13.36	-19.39	-23
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	15.88	13.72	6.91	8.01	7.13	7.3	7.93	12.49	12.68	12.13	11.52
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	17.69	14.92	10.55	6.89	4.33	4.33	4.33	4.33	6.8	10.14	12.24
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	8.17	6.99	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.34	6.44	6.14	5.82
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	14.77	14.04	12.69	11.35	7.53	6.18	5.17	8.99	10.33	11.68	12.41
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-19.32	-16.58	-11.1	-6.34	-4.15	-4.15	-4.15	-4.15	-7.66	-12.61	-15.1
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	9.66	8.29	4.15	4.54	6.8	7.69	7.61	5.9	4.25	6.3	7.55
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	10.1	8.56	5.6	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.4	7.75
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	4.84	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	11.99	11.18	9.42	8.03	4.16	2.84	3.17	7.04	8.36	9.7	10.5
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.89	13.89	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.89	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>b</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.39	3.34	8.28	0.55	3.5	6.45	0.72	3.66	6.61	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-98.51	-84.37	-21.09	-53.41	-78.61	-21.09	-59.95	-73	-21.09	-66.04	-82.98
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	81.93	80.01	37.74	26.62	78.94	33.93	26.91	77.71	29.97	33.32	41.49
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	37.59	35.41	22.83	39.21	34.48	23.56	40.14	33.55	24.49	41.07	43.25
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0





Tabla A.16 Diseño de traveses del sistema h.

VIGA 1		4 5											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-53.83	-45.77	-32.24	-19.98	-11.44	-11.44	-11.44	-17.43	-29.14	-42.11	-49.86
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	30.13	29.03	26.05	21.82	13.36	11.44	12.74	22.01	26.8	30.33	31.75
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	23.11	19.23	13.09	7.89	6.44	6.44	6.44	6.85	11.75	17.52	21.17
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	12.18	11.7	10.43	8.65	6.44	6.44	6.44	8.73	10.75	12.26	12.88
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	21.3	20.3	18.49	16.88	14.04	12.23	13.24	15.88	17.69	19.5	20.5
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	12.3	13.5	24.16	29.21	29.21	29.21	26.24	14.11	12.8	0

VIGA 3		7 8											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-60.82	-51.97	-37.02	-23.33	-12.99	-12.99	-12.99	-19.87	-32.51	-46.42	-54.69
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	34.66	33.04	29.13	23.96	14.14	12.99	14.31	25.67	31.88	36.83	39.04
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	26.65	22.2	15.2	9.28	6.44	6.44	6.44	7.85	13.21	19.53	23.54
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	14.16	13.44	11.74	9.55	6.44	6.44	6.44	10.26	12.93	15.12	16.12
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	23.34	22.34	20.53	18.72	16.07	14.27	14.57	17.22	19.03	20.83	21.84
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	11.18	12.16	20.56	24.26	29.21	28.4	23.87	13.12	11.98	0

VIGA 5		10 11											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-65.1	-55.78	-39.98	-25.44	-13.94	-13.94	-13.94	-20.84	-33.89	-48.2	-56.89
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	36.72	34.87	30.56	24.99	14.58	13.94	15.14	27.73	34.8	40.6	43.28
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	28.91	24.08	16.54	10.17	6.44	6.44	6.44	8.25	13.81	20.37	24.54
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	15.07	14.25	12.36	9.98	6.44	6.44	6.44	11.14	14.22	16.83	18.06
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	24.56	23.55	21.74	19.94	17.29	15.48	15.15	17.8	19.61	21.41	22.42
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	10.6	11.48	18.91	21.69	25.74	26.64	23.08	12.73	11.66	0

VIGA 7		13 14											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-75.31	-64.85	-47	-30.41	-16.21	-16.21	-16.21	-24.95	-39.66	-55.62	-65.03
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	44.97	42.2	36.24	29.01	16.21	16.21	17.26	32.84	41.95	49.8	53.62
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	34.62	28.78	19.81	12.3	6.44	6.44	6.44	9.96	16.4	24	28.88
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	18.85	17.56	14.86	11.69	6.44	6.44	6.77	13.35	17.45	21.15	23.01
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	27.49	26.49	24.68	22.87	20.23	18.42	17.52	20.17	21.97	23.78	24.79
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	9.43	10.12	16.01	17.28	19.76	21.42	19.78	11.36	10.5	0

VIGA 9		16 17											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-85.12	-73.58	-53.8	-35.28	-18.4	-18.4	-18.4	-28.7	-44.98	-62.52	-72.81
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	53.02	49.37	41.83	33.03	18.4	18.4	19.07	37.48	48.52	58.31	63.2
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	38.72	33.62	23.1	14.43	7.24	7.24	7.24	11.56	18.85	27.54	33.17
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	22.71	20.94	17.39	13.44	7.24	7.24	7.52	15.41	20.53	25.36	27.9
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	30.26	29.26	27.45	25.64	23	21.19	19.78	22.43	24.24	26.04	27.05
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	8.53	9.1	14.01	14.68	16.43	18.19	17.39	10.3	9.59	0

VIGA 11		19 20											
h (cm)	35	x (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-87.27	-75.56	-55.43	-36.55	-18.89	-18.89	-18.89	-28.74	-45.07	-62.65	-72.95
As mín (cm <sup>2</sup> )	6.44	Mx(+) (ton-m)	54	50.25	42.52	33.54	18.89	18.89	19.2	38.26	49.78	60.06	65.23
As max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	Assup (cm <sup>2</sup> )	39.6	34.76	23.91	15	7.44	7.44	7.44	11.58	18.9	27.61	33.25
As max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	Asinf (cm <sup>2</sup> )	23.2	21.36	17.71	13.66	7.44	7.44	7.57	15.77	21.14	26.26	28.98
M max neg (ton-m)	-75.77	Vx (ton)	30.72	29.73	27.95	26.17	23.57	21.79	20	22.52	24.3	26.08	27.07
M max pos (ton-m)	75.77	Sx (cm)	0	8.4	8.93	13.71	14.24	15.85	17.92	17.38	10.27	9.57	0

VIGA 13		22 23											
h (cm)	30	x (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-78.59	-68.16	-49.69	-32.47	-17.04	-17.04	-17.04	-25.43	-40.21	-56.24	-65.37
As mín (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	45.83	43.05	36.91	29.53	17.04	17.04	17.75	34.54	44.36	52.93	57.02
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	35.5	31.22	21.6	13.37	6.73	6.73	6.73	10.26	16.94	25.02	30.08
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	19.66	18.3	15.39	12.05	6.73	6.73	7.02	14.31	18.94	23.26	25.44
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	28.31	27.35	25.57	23.79	21.16	19.37	17.67	20.3	22.08	23.86	24.82
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	9.13	9.76	14.83	15.71	17.7	20.25	19.05	11.31	10.46	0

VIGA 15		25 26											
h (cm)	30	x (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.83	7
h (cm)	75	Mx(-) (ton-m)	-77.71	-67.4	-49.16	-32.15	-18.85	-18.85	-18.85	-24.32	-38.71	-54.33	-63.24
As mín (cm <sup>2</sup> )	5.52	Mx(+) (ton-m)	44.26	41.65	35.84	28.8	16.85	16.85	17.41	33.95	43.61	52.04	56.06
As max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	Assup (cm <sup>2</sup> )	35.14	30.91	21.32	13.22	6.65	6.65	6.65	9.79	16.23	24	28.91
As max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	Asinf (cm <sup>2</sup> )	18.89	17.82	14.9	11.73	6.65	6.65	6.88	14.04	18.57	22.8	24.92
M max neg (ton-m)	-64.94	Vx (ton)	27.98	27.03	25.26	23.49	20.88	19.11	17.34	19.74	21.51	23.27	24.22
M max pos (ton-m)	64.94	Sx (cm)	0	9.24	9.88	15.06	15.97	18.01	20.74	19.79	11.61	10.73	0

VIGA 17		28 29											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-65.82	-57.36	-42.51	-28.72	-14.34	-14.34	-14.34	-21.76	-33.43	-46.16	-53.49
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	34.02	32.59	29.13	24.61	14.34	14.34	14.56	29.76	36.4	41.97	44.54
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	32.14	28.38	19.87	12.77	6.09	6.09	6.09	9.46	15.1	21.91	26.22
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.4	14.68	12.97	10.79	6.09	6.09	6.19	13.28	16.62	19.58	21
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	24.63	23.75	22.11	20.47	17.41	15.77	14.14	17.2	18.84	20.48	21.37
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.76	10.48	16.65	18.45	21.23	25.01	22.03	12.3	11.32	0

VIGA 19		31 32											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-63.87	-55.6	-41.11	-27.89	-13.9	-13.9	-13.9	-20.28	-31.45	-43.69	-50.75
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	31.93	30.23	27.27	23.25	13.9	13.9	14.17	28.69	34.96	40.17	42.54
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	31.27	27.53	19.12	12.27	5.9	5.9	5.9	8.77	14.11	20.52	24.56
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	14.35	13.51	12.06	10.15	5.9	5.9	6.02	12.75	15.88	18.81	19.89
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	24.07	23.18	21.54	19.9	16.84	15.2	13.56	16.43	18.07	19.71	20.6
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	10	10.76	17.2	19.25	22.28	26.55	23.44	12.82	11.76	0

VIGA 21		34 35											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.92	1.5	2.93	3.5	4.07	5.5	6.08	6.65	7
<i>h</i> (cm)	82.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-49.31	-42.51	-32.04	-22.4	-10.63	-10.63	-10.63	-16.58	-24.74	-33.72	-39.61
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.53	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	24.85	21.25	19.27	17.65	10.63	10.63	10.89	22.23	25.33	27.61	28.61
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	27.36	23.66	16.84	11.26	5.1	5.1	5.1	8.13	12.56	17.87	21.68
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.51	10.63	9.56	8.7	5.1	5.1	5.23	11.16	12.9	14.21	14.79
<i>M</i> max neg (ton-m)	-43.76	<i>Vx</i> (ton)	19.86	18.99	17.56	16.13	12.56	11.13	9.97	13.54	14.97	16.39	17.27
<i>M</i> max pos (ton-m)	43.76	<i>Sx</i> (cm)	0	10.79	11.67	19.8	24.56	28.64	28.64	26.34	13.69	12.5	0

VIGA 23		37 38											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-40.18	-35.12	-26.45	-18.53	-8.78	-8.78	-8.78	-13.21	-19.91	-27.36	-31.75
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	20.09	17.56	13.51	13.31	8.78	8.78	9.25	17.39	18.81	19.49	19.54
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.56	19.96	14.32	9.65	4.39	4.39	4.39	6.72	10.43	14.88	17.69
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	10.54	9.1	6.88	6.77	4.39	4.39	4.63	9.01	9.81	10.19	10.23
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.26	16.51	15.15	13.78	9.9	8.53	7.67	11.55	12.91	14.28	15.03
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.89	13.89	22.96	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 25		40 41											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-33.52	-29.05	-21.46	-14.6	-7.26	-7.26	-7.26	-9.1	-14.66	-20.96	-24.72
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	16.76	14.52	8.26	9.09	7.43	7.3	8.18	13.52	13.98	13.7	13.24
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	18.87	15.94	11.33	7.47	4.33	4.33	4.33	4.55	7.5	11.04	13.26
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	8.66	7.43	4.33	4.54	4.33	4.33	4.33	6.88	7.13	6.99	6.74
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.27	14.53	13.19	11.84	8.02	6.68	5.66	9.48	10.83	12.17	12.91
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 27		43 44											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-20.18	-17.38	-11.77	-6.88	-4.34	-4.34	-4.34	-8.26	-13.33	-15.88	
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	10.09	8.69	4.34	5.08	6.96	7.69	7.81	6.37	4.84	6.66	7.94
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	10.59	9	5.95	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.78	8.17
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	5.07	4.34	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	11.99	11.18	9.58	8.26	4.39	3.07	3.41	7.28	8.6	9.92	10.52
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0

VIGA 29		1 2											
<i>h</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.39	3.34	6.28	0.55	3.5	6.45	0.72	3.68	6.61	7
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-98.53	-84.39	-21.1	-53.42	-78.63	-21.1	-59.96	-73.02	-21.1	-66.85	-82.99
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	81.95	80.03	37.75	26.62	78.96	33.94	26.92	77.73	29.98	33.32	41.49
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	37.59	35.41	22.64	39.22	34.48	23.56	40.14	33.56	24.49	41.07	43.25
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.48	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0



Tabla A.18 Diseño de traveses del sistema *i*.

VIGA 1		4 5											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-53.86	-45.8	-32.26	-19.99	-11.45	-11.45	-11.45	-17.44	-29.15	-42.13	-49.88
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	30.16	29.05	26.07	21.83	13.36	11.45	12.74	22.02	26.82	30.36	31.77
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	23.13	19.24	13.1	7.89	6.44	6.44	6.44	6.65	11.75	17.53	21.19
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	12.19	11.71	10.44	8.66	6.44	6.44	6.44	8.74	10.75	12.27	12.89
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	21.31	20.3	18.49	16.69	14.04	12.23	13.24	15.89	17.7	19.5	20.51
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	12.3	13.5	24.15	29.21	29.21	29.21	26.23	14.11	12.8	0

VIGA 3		7 8											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-60.99	-52.12	-37.13	-23.41	-13.03	-13.03	-13.03	-19.96	-32.64	-46.58	-54.87
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	34.84	33.19	29.25	24.05	14.18	13.03	14.35	25.75	32	36.99	39.22
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	26.74	22.27	15.26	9.31	6.44	6.44	6.44	7.88	13.27	19.61	23.63
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	14.23	13.51	11.79	9.58	6.44	6.44	6.44	10.3	12.99	15.19	16.2
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	23.39	22.39	20.58	18.77	16.12	14.32	14.62	17.27	19.08	20.88	21.89
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	11.15	12.13	20.49	24.14	29.21	28.24	23.76	13.09	11.95	0

VIGA 5		10 11											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-65.86	-56.46	-40.51	-25.83	-14.11	-14.11	-14.11	-21.16	-34.35	-48.8	-57.38
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	37.48	35.55	31.1	25.38	14.76	14.11	15.25	28.05	35.26	41.21	43.97
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	29.32	24.43	18.79	10.33	6.44	6.44	6.44	8.38	14.02	20.67	24.89
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	15.41	14.55	12.59	10.14	6.44	6.44	6.44	11.28	14.42	17.11	18.38
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	24.76	23.76	21.95	20.14	17.5	15.69	15.36	18	19.81	21.82	22.63
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	10.51	11.37	18.68	21.31	25.2	26.07	22.72	12.6	11.55	0

VIGA 7		13 14											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-78.42	-67.62	-49.15	-31.95	-16.9	-16.9	-16.9	-26.44	-41.76	-58.34	-68.09
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	48.08	44.97	38.39	30.55	16.9	16.9	17.85	34.33	44.06	52.52	56.68
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	35.97	30.28	20.83	12.97	6.63	6.63	6.83	10.59	17.36	25.38	30.53
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	20.32	18.85	15.82	12.36	6.63	6.63	7.02	14.01	18.42	22.47	24.54
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	28.37	27.37	25.56	23.75	21.11	19.3	18.4	21.05	22.88	24.67	25.67
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	9.12	9.77	15.31	16.34	18.54	20.01	18.72	10.92	10.12	0

VIGA 9		16 17											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-90.63	-78.49	-57.61	-38	-19.62	-19.62	-19.62	-31.37	-48.75	-67.38	-78.28
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	58.53	54.28	45.64	35.74	19.62	19.62	20.15	40.15	52.29	63.17	68.67
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	40.98	36	25.01	15.85	7.74	7.74	7.74	12.71	20.64	30.15	35.91
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.48	23.33	19.16	14.64	7.74	7.74	7.96	16.62	22.36	27.89	30.85
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	31.83	30.83	29.02	27.21	24.57	22.76	21.35	24	25.8	27.61	28.62
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	8.1	8.6	13.08	13.53	15	16.44	15.98	9.68	9.04	0

VIGA 11		19 20											
<i>h</i> (cm)	35	<i>x</i> (m)	0	0.39	1.09	1.78	2.8	3.5	4.2	5.22	5.91	6.81	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-93.44	-81.05	-59.71	-39.62	-20.26	-20.26	-20.26	-31.66	-49.21	-68	-78.97
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	6.44	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	60.17	55.74	46.79	36.61	20.26	20.26	20.34	41.18	53.92	65.41	71.26
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	42.13	37.05	26.08	16.38	8.01	8.01	8.01	12.84	20.86	30.48	36.2
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	34.88	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	26.32	24.07	19.71	15.02	8.01	8.01	8.04	17.09	23.16	29.08	32.29
<i>M</i> max neg (ton-m)	-75.77	<i>Vx</i> (ton)	32.46	31.47	29.89	27.91	25.31	23.53	21.75	24.26	26.04	27.82	28.81
<i>M</i> max pos (ton-m)	75.77	<i>Sx</i> (cm)	0	7.93	8.41	12.74	13.05	14.39	16.05	15.84	9.59	8.97	0

VIGA 13		22 23											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-84.18	-73.15	-53.58	-35.26	-18.29	-18.29	-18.29	-28.12	-44.01	-61.14	-70.87
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.52	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	51.42	48.04	40.8	32.31	18.29	18.29	18.81	37.24	48.16	57.83	62.52
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	37.79	33.27	23.61	14.63	7.24	7.24	7.24	11.43	18.77	27.72	32.33
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	22.48	20.76	17.22	13.3	7.24	7.24	7.46	15.55	20.82	25.88	28.5
<i>M</i> max neg (ton-m)	-64.94	<i>Vx</i> (ton)	29.89	28.94	27.15	25.37	22.74	20.96	19.25	21.89	23.67	25.45	26.41
<i>M</i> max pos (ton-m)	64.94	<i>Sx</i> (cm)	0	8.63	9.19	13.8	14.4	16.04	18.09	17.37	10.55	9.81	0

VIGA 15		25 26											
<i>h</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.38	1.07	1.77	2.8	3.5	4.2	5.23	5.93	6.63	7
<i>h</i> (cm)	75	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-83.24	-72.34	-53.01	-34.91	-18.08	-18.08	-18.08	-26.96	-42.44	-59.15	-68.64
<i>As</i> min (cm <sup>2</sup> )	5.52	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	49.78	46.58	39.69	31.56	18.08	18.08	18.43	36.59	47.34	56.86	61.46
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	37.4	32.93	23.31	14.47	7.16	7.16	7.16	10.93	18	26.6	31.42
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	29.9	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	21.64	20.03	16.69	12.96	7.16	7.16	7.3	15.25	20.41	25.35	27.9
<i>M</i> max neg (ton-m)	-64.94	<i>Vx</i> (ton)	29.54	28.59	26.82	25.05	22.44	20.67	18.9	21.3	23.07	24.83	25.78
<i>M</i> max pos (ton-m)	64.94	<i>Sx</i> (cm)	0	8.73	9.31	14.01	14.63	16.32	18.5	16.01	10.82	10.05	0

VIGA 17		28 29													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7		
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-70.36	-61.44	-45.76	-31.14	-15.36	-15.36	-15.36	-24.1	-36.6	-50.17	-57.94		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	38.55	36.67	32.38	27.03	15.36	15.36	15.36	32.1	39.57	45.98	49		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	34.15	30.19	21.68	13.96	6.55	6.55	6.55	10.55	16.73	24.22	28.63		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	17.75	16.77	14.58	11.95	6.55	6.55	6.55	14.44	18.29	21.8	23.53		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	25.92	25.03	23.39	21.75	18.69	17.05	15.42	18.48	20.12	21.76	22.65		
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.26	9.91	15.56	16.88	19.18	22.16	20.14	11.52	10.65	0		

VIGA 19		31 32													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	1	1.65	2.85	3.5	4.15	5.35	6	6.65	7		
<i>h</i> (cm)	70	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-68.2	-59.5	-44.23	-30.01	-14.88	-14.88	-14.88	-22.51	-34.47	-47.51	-54.99		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	5.12	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	35.73	34.14	30.38	25.56	14.88	14.88	14.92	30.92	37.98	43.98	46.78		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	33.19	29.33	20.82	13.4	6.33	6.33	6.33	9.8	15.84	22.67	27.14		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	27.76	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	16.28	15.46	13.58	11.24	6.33	6.33	6.35	13.85	17.45	20.68	22.26		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-55.97	<i>Vx</i> (ton)	25.29	24.41	22.77	21.12	18.07	16.43	14.79	17.66	19.3	20.94	21.83		
<i>M</i> max pos (ton-m)	55.97	<i>Sx</i> (cm)	0	9.5	10.18	16.08	17.61	20.12	23.48	21.39	12.01	11.07	0		

VIGA 21		34 35													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.35	0.92	1.5	2.93	3.5	4.07	5.5	6.08	6.65	7		
<i>h</i> (cm)	62.5	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-52.47	-45.36	-34.38	-24.22	-11.34	-11.34	-11.34	-18.35	-27.02	-36.51	-42.72		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.53	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	26.23	22.92	21.6	19.47	11.34	11.34	11.37	23.99	27.61	30.41	31.71		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	28.97	25.36	18.29	12.27	5.45	5.45	5.45	9.07	13.86	19.64	23.81		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	24.54	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	13.41	11.54	10.82	9.67	5.45	5.45	5.47	12.14	14.2	15.85	16.64		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-43.76	<i>Vx</i> (ton)	20.75	19.88	18.45	17.02	13.45	12.03	10.86	14.43	15.86	17.29	18.16		
<i>M</i> max pos (ton-m)	43.76	<i>Sx</i> (cm)	0	10.31	11.11	18.66	22.4	26.54	28.64	24.32	12.92	11.85	0		

VIGA 23		37 38													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7		
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-42.58	-37.31	-28.27	-19.98	-9.33	-9.33	-9.33	-14.6	-21.87	-29.49	-34.09		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	21.29	18.65	15.33	14.76	9.33	9.33	9.59	18.78	20.58	21.62	21.88		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	24.84	21.49	15.45	10.47	4.87	4.67	4.67	7.47	11.45	16.22	19.25		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	11.23	9.72	7.87	7.56	4.67	4.67	4.81	9.79	10.82	11.43	11.58		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	17.94	17.19	15.82	14.46	10.57	9.21	8.34	12.22	13.59	14.96	15.7		
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	21.77	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.11	0		

VIGA 25		40 41													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.3	0.85	1.4	2.95	3.5	4.05	5.6	6.15	6.7	7		
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-35.3	-30.68	-22.81	-15.68	-7.67	-7.67	-7.67	-10.13	-15.97	-22.54	-28.45		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	17.65	15.34	9.61	10.17	7.73	7.67	8.43	14.55	15.28	15.28	14.97		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	20.08	16.99	12.12	8.06	4.33	4.33	4.33	5.09	8.22	11.96	14.32		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	9.15	7.87	4.82	5.11	4.33	4.33	4.33	7.44	7.84	7.64	7.67		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	15.77	15.03	13.69	12.35	8.52	7.18	6.17	9.99	11.33	12.67	13.41		
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	26.11	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0		

VIGA 27		43 44													
<i>b</i> (cm)	30	<i>x</i> (m)	0	0.25	0.8	1.35	2.95	3.5	4.05	5.65	6.2	6.75	7		
<i>h</i> (cm)	60	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-21.04	-18.18	-12.44	-7.43	-4.55	-4.55	-4.55	-4.55	-8.85	-14.05	-16.67		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	4.33	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	10.52	9.09	4.55	5.63	7.13	7.69	7.61	6.83	5.44	7.03	8.33		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	11.09	9.45	6.31	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.42	7.18	8.61		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	23.47	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	5.29	4.55	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-40.02	<i>Vx</i> (ton)	11.99	11.18	9.82	8.5	4.63	3.31	3.64	7.51	8.83	10.15	10.75		
<i>M</i> max pos (ton-m)	40.02	<i>Sx</i> (cm)	0	13.69	13.69	27.39	27.39	27.39	27.39	27.39	13.69	13.69	0		

VIGA 29		1 2													
<i>b</i> (cm)	32.5	<i>x</i> (m)	0	0.39	3.34	6.28	0.55	3.5	6.45	0.72	3.68	6.61	7		
<i>h</i> (cm)	300	<i>Mx</i> (-) (ton-m)	-98.57	-84.42	-21.11	-53.43	-78.66	-21.11	-59.97	-73.06	-21.11	-66.66	-83		
<i>As</i> mín (cm <sup>2</sup> )	25.25	<i>Mx</i> (+) (ton-m)	81.99	80.07	37.76	26.64	78.99	33.95	26.93	77.76	29.99	33.33	41.5		
<i>As</i> max sup (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Assup</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25		
<i>As</i> max inf (cm <sup>2</sup> )	136.86	<i>Asinf</i> (cm <sup>2</sup> )	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25	25.25		
<i>M</i> max neg (ton-m)	-1255.81	<i>Vx</i> (ton)	37.6	35.42	22.64	39.23	34.49	23.57	40.15	33.57	24.5	41.08	43.26		
<i>M</i> max pos (ton-m)	1255.81	<i>Sx</i> (cm)	0	15.2	15.2	31.46	31.46	31.46	31.46	31.46	15.2	15.2	0		

Tabla A.19 Diseño de los paquetes disipadores de los marcos seleccionados para costos y valores de área y fuerza axiales de los paquetes disipadores equivalentes para cada entrespiso y crujía de los otros sistemas.

Entrespiso	Sistema b		Sistema c		Sistema d		Sistema e		Sistema f		Sistema g		Sistema h		Sistema i	
	AX (cm <sup>2</sup> )	FX (ton)	AX (cm <sup>2</sup> )	FX (ton)	Cantidad disipadores	Barra	AX (cm <sup>2</sup> )	FX (ton)	Cantidad disipadores	Barra	AX (cm <sup>2</sup> )	FX (ton)	AX (cm <sup>2</sup> )	FX (ton)	Cantidad disipadores	Barra
14	1.43	1.19	1.42	0.97	4	OR 102 x 4.8	4.31	2.10	4	OR 102 x 4.8						
13	1.71	2.24	1.70	1.81	4	OR 102 x 4.8	4.76	3.93	4	OR 102 x 4.8						
12	1.93	3.24	1.90	2.58	6	OR 127 x 4.8	5.17	5.59	6	OR 127 x 4.8						
11	2.24	4.12	2.15	3.25	8	OR 127 x 4.8	5.54	7.06	8	OR 127 x 4.8						
10	2.59	4.94	2.48	3.87	8	OR 127 x 4.8	5.82	8.42	8	OR 127 x 4.8						
9	2.98	5.65	2.88	4.39	10	OR 152 x 4.8	6.55	9.60	10	OR 152 x 4.8						
8	3.39	6.32	3.14	4.90	12	OR 152 x 4.8	7.18	10.70	12	OR 152 x 4.8						
7	3.75	6.91	3.46	5.34	12	OR 152 x 4.8	7.76	11.67	12	OR 152 x 4.8						
6	4.04	7.42	3.85	5.72	14	OR 152 x 4.8	8.20	12.53	14	OR 152 x 4.8						
5	4.24	7.85	4.17	6.05	16	OR 152 x 4.8	8.73	13.28	16	OR 152 x 4.8						
4	4.41	8.21	4.39	6.34	16	OR 152 x 4.8	9.10	13.90	16	OR 152 x 4.8	14.12	17.68	14.12	18.20	16	OR 152 x 4.8
3	4.53	8.47	4.53	6.56	18	OR 152 x 4.8	9.40	14.39	16	OR 152 x 4.8	14.68	16.84	14.68	16.98	16	OR 152 x 4.8
2	4.84	8.66	4.84	6.71	18	OR 152 x 4.8	10.12	14.72	18	OR 152 x 4.8	15.97	16.97	15.97	17.02	18	OR 152 x 4.8
1	8.20	9.86	8.19	7.64	22	OR 152 x 6.3	17.54	16.58	32	OR 152 x 4.8	27.81	19.56	27.81	19.60	32	OR 152 x 4.8

# APÉNDICE B

## Modelos Probabilistas de las Resistencias, Dimensiones de los Elementos Estructurales y de las Cargas

### B.1 MODELOS PARA LAS RESISTENCIAS

#### B.1.1 Acero de refuerzo

**Esfuerzo de fluencia  $f_y$**

Esfuerzo de fluencia nominal  $f_{yn}=4,200 \text{ kg/cm}^2$

fdp Normal (Villanueva y Meli, 1984)

$$\mu_{f_y} = 4,682 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{f_y} = 450 \text{ kg/cm}^2$$

**Esfuerzo último  $f_u$**

fdp Normal (Villanueva y Meli, 1984)

$$\mu_{f_u} = 7,600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{f_u} = 750 \text{ kg/cm}^2$$

#### B.1.2 Concreto

**Esfuerzo de compresión  $f'_c$**

Para esfuerzos nominales,  $f'_{cn}$ , tal que:  $200 \text{ kg/cm}^2 < f'_{cn} < 300 \text{ kg/cm}^2$

fdp Normal (Instituto de Ingeniería)

$$\mu_{f'_c} = 0.75 f'_{cn} + 55.26 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{f'_c} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

### B.2 MODELOS DE LAS DIMENSIONES GEOMÉTRICAS

#### B.2.1 Modelos para las vigas

**Ancho  $b$**

$b_n$  = ancho nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_b = b_n + 0.254 \text{ cm}$$

$$\sigma_b = 0.366 \text{ cm}$$



**Peralte  $h$**  $h_n$  = peralte nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_h = h_n - 0.279 \text{ cm}$$

$$\sigma_h = 0.544 \text{ cm}$$

**Recubrimiento superior  $r$**  $r_n$  = recubrimiento nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_r = r_n + 0.318 \text{ cm}$$

$$\sigma_r = 1.588 \text{ cm}$$

**Recubrimiento inferior  $r$**  $r_n$  = recubrimiento nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_r = r_n + 0.159 \text{ cm}$$

$$\sigma_r = 1.111 \text{ cm}$$

**B.2.2 Modelos para las columnas****Ancho o peralte  $d$**  $d_n$  = dimensión nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_d = d_n + 0.159 \text{ cm}$$

$$\sigma_d = 0.635 \text{ cm}$$

**Recubrimiento superior  $r$**  $r_n$  = recubrimiento nominal

fdp Normal (Mirza y McGregor, 1979)

$$\mu_r = r_n + 0.635 \text{ cm} + 0.004 d_n$$

$$\sigma_r = 0.42 \text{ cm}$$

 $d_n$  está definido en el inciso anterior.**B.3 MODELOS DE CARGAS****B.3.1 Modelo para carga muerta  $D$** 

Se considera que la carga muerta posee una fdp Gamma independiente de la carga viva, con los valores nominales empleados en el diseño y con valores medios Meli (1976):

$$\mu_D = \frac{D_n}{(1 + 2V_D)}$$

$$V_D = 0.8$$

en donde

 $\mu_D$  = valor medio de la carga muerta $D_n$  = valor nominal de la carga muerta

$V_D$ =Coeficiente de variación de la carga muerta

### **B.3.2 Modelo para la carga viva $L$**

Se considera a la carga viva como una variable aleatoria con valor medio y coeficiente de variación (Mitchel y Woodgate, 1971):

$$\mu_L = 60 \text{ kg/m}^2$$

$$V_L = 0.8$$

con un coeficiente de correlación entre las cargas de dos traveses adyacentes igual a  $\rho = 0.652$ .

# APÉNDICE C

## Valores del Índice de Daño por Entrepiso ( $D_k$ ) para Cada Realización de Cada Tipo de Marco

Tabla C.1

<b>MARCO a</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.113	0.302	0.208	0.069	0.022	0.109	0.028	0.096	0.059	0.200
13	0.187	0.387	0.301	0.133	0.087	0.195	0.037	0.137	0.026	0.303
12	0.304	0.473	0.396	0.273	0.212	0.280	0.069	0.188	0.030	0.390
11	0.390	0.531	0.493	0.396	0.378	0.359	0.103	0.225	0.060	0.469
10	0.417	0.527	0.531	0.466	0.485	0.427	0.114	0.302	0.093	0.500
9	0.455	0.539	0.557	0.514	0.529	0.511	0.248	0.373	0.121	0.532
8	0.497	0.560	0.569	0.540	0.545	0.561	0.364	0.395	0.109	0.536
7	0.545	0.569	0.567	0.555	0.574	0.593	0.412	0.414	0.084	0.520
6	0.579	0.572	0.550	0.561	0.604	0.606	0.455	0.436	0.107	0.497
5	0.604	0.592	0.557	0.592	0.631	0.615	0.512	0.445	0.139	0.510
4	0.603	0.588	0.559	0.600	0.625	0.601	0.539	0.411	0.186	0.499
3	0.569	0.546	0.546	0.551	0.603	0.539	0.521	0.368	0.242	0.449
2	0.499	0.454	0.490	0.477	0.549	0.441	0.440	0.308	0.221	0.395
1	0.390	0.322	0.390	0.354	0.475	0.325	0.281	0.219	0.160	0.301

Tabla C.2

<b>MARCO b</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.090	0.081	0.077	0.162	0.169	0.132	0.098	0.208	0.105	0.095
13	0.045	0.077	0.035	0.114	0.142	0.076	0.000	0.049	0.039	0.050
12	0.088	0.196	0.162	0.170	0.219	0.096	0.032	0.097	0.011	0.125
11	0.160	0.310	0.316	0.215	0.281	0.155	0.056	0.171	0.001	0.165
10	0.263	0.407	0.402	0.273	0.354	0.170	0.079	0.177	0.014	0.219
9	0.354	0.482	0.456	0.382	0.454	0.203	0.135	0.274	0.023	0.305
8	0.434	0.523	0.503	0.450	0.526	0.343	0.191	0.347	0.077	0.376
7	0.520	0.531	0.520	0.505	0.572	0.449	0.217	0.355	0.055	0.409
6	0.532	0.526	0.549	0.543	0.593	0.526	0.274	0.336	0.066	0.463
5	0.553	0.518	0.546	0.562	0.588	0.578	0.356	0.327	0.040	0.495
4	0.570	0.500	0.554	0.550	0.552	0.601	0.424	0.315	0.000	0.489
3	0.546	0.469	0.536	0.533	0.530	0.559	0.381	0.307	0.066	0.490
2	0.444	0.365	0.443	0.410	0.437	0.467	0.314	0.240	0.013	0.442
1	0.334	0.253	0.346	0.308	0.343	0.356	0.257	0.221	0.074	0.382

Tabla C.3

<b>MARCO c</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.092	0.145	0.128	0.101	0.128	0.071	0.126	0.120	0.139	0.067
13	0.032	0.051	0.149	0.060	0.092	0.057	0.039	0.023	0.000	0.047
12	0.173	0.207	0.277	0.163	0.225	0.119	0.151	0.134	0.032	0.076
11	0.271	0.303	0.387	0.304	0.351	0.291	0.245	0.187	0.067	0.165
10	0.388	0.427	0.488	0.451	0.449	0.419	0.363	0.243	0.117	0.264
9	0.507	0.507	0.564	0.540	0.529	0.549	0.479	0.317	0.160	0.386
8	0.562	0.551	0.578	0.585	0.561	0.581	0.510	0.356	0.167	0.473
7	0.589	0.575	0.582	0.619	0.590	0.600	0.540	0.393	0.162	0.504
6	0.606	0.605	0.577	0.633	0.578	0.617	0.570	0.435	0.198	0.528
5	0.613	0.601	0.582	0.640	0.581	0.620	0.590	0.439	0.216	0.531
4	0.592	0.579	0.554	0.610	0.565	0.607	0.571	0.406	0.205	0.505
3	0.551	0.535	0.507	0.560	0.528	0.545	0.532	0.342	0.156	0.453
2	0.428	0.437	0.403	0.433	0.434	0.437	0.436	0.279	0.115	0.327
1	0.358	0.355	0.314	0.323	0.354	0.356	0.333	0.228	0.114	0.274

Tabla C.4

<b>MARCO d</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.000	0.000	0.080	0.000	0.000	0.239	0.010	0.000	0.000	0.000
13	0.026	0.000	0.080	0.012	0.142	0.240	0.013	0.152	0.004	0.128
12	0.092	0.000	0.045	0.003	0.038	0.262	0.056	0.106	0.099	0.090
11	0.104	0.063	0.083	0.000	0.020	0.441	0.204	0.260	0.175	0.250
10	0.035	0.122	0.077	0.009	0.101	0.479	0.252	0.302	0.310	0.265
9	0.040	0.225	0.171	0.076	0.180	0.538	0.233	0.276	0.281	0.219
8	0.179	0.409	0.296	0.253	0.271	0.538	0.217	0.274	0.255	0.292
7	0.281	0.483	0.371	0.285	0.372	0.584	0.180	0.222	0.202	0.290
6	0.415	0.555	0.454	0.431	0.401	0.588	0.230	0.209	0.192	0.407
5	0.444	0.568	0.513	0.478	0.447	0.584	0.251	0.284	0.102	0.449
4	0.462	0.581	0.532	0.470	0.562	0.550	0.292	0.241	0.112	0.519
3	0.480	0.576	0.457	0.493	0.501	0.563	0.385	0.317	0.205	0.515
2	0.349	0.512	0.294	0.387	0.372	0.533	0.337	0.251	0.195	0.470
1	0.341	0.457	0.363	0.324	0.367	0.394	0.195	0.212	0.019	0.270

Tabla C.5

<b>MARCO <i>e</i></b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	0.028	0.000	0.000	0.161	0.068	0.286	0.129	0.157	0.107	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.171	0.110	0.233	0.043	0.247	0.088	0.000
12	0.000	0.064	0.045	0.140	0.127	0.000	0.121	0.118	0.000	0.203
11	0.093	0.039	0.052	0.166	0.074	0.115	0.089	0.145	0.024	0.172
10	0.000	0.109	0.110	0.195	0.270	0.174	0.000	0.088	0.117	0.280
9	0.185	0.266	0.291	0.365	0.421	0.384	0.104	0.149	0.000	0.390
8	0.312	0.365	0.404	0.464	0.502	0.446	0.243	0.234	0.039	0.462
7	0.458	0.474	0.479	0.516	0.554	0.492	0.317	0.312	0.051	0.480
6	0.508	0.522	0.564	0.529	0.582	0.474	0.355	0.353	0.018	0.561
5	0.562	0.562	0.578	0.527	0.531	0.520	0.463	0.327	0.022	0.540
4	0.568	0.557	0.580	0.575	0.566	0.508	0.528	0.408	0.199	0.543
3	0.503	0.484	0.499	0.510	0.490	0.456	0.479	0.308	0.094	0.434
2	0.396	0.296	0.424	0.389	0.316	0.352	0.397	0.198	0.109	0.290
1	0.349	0.251	0.388	0.393	0.362	0.313	0.398	0.193	0.177	0.348

Tabla C.6

<b>MARCO <i>f</i></b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	0.000	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.007	0.000	0.008	0.041	0.062	0.105	0.046	0.024
12	0.000	0.067	0.066	0.000	0.002	0.126	0.040	0.047	0.024	0.097
11	0.000	0.000	0.000	0.224	0.046	0.000	0.136	0.060	0.032	0.144
10	0.099	0.228	0.055	0.046	0.053	0.101	0.000	0.043	0.000	0.000
9	0.054	0.114	0.161	0.178	0.069	0.087	0.000	0.000	0.083	0.054
8	0.187	0.326	0.270	0.180	0.237	0.188	0.132	0.216	0.035	0.224
7	0.359	0.457	0.443	0.449	0.389	0.208	0.211	0.058	0.074	0.261
6	0.431	0.499	0.403	0.429	0.540	0.392	0.000	0.119	0.043	0.295
5	0.511	0.575	0.541	0.509	0.538	0.447	0.315	0.421	0.040	0.437
4	0.568	0.572	0.555	0.586	0.601	0.527	0.254	0.254	0.017	0.435
3	0.486	0.528	0.538	0.414	0.582	0.411	0.317	0.251	0.039	0.376
2	0.358	0.331	0.331	0.340	0.410	0.338	0.096	0.120	0.000	0.224
1	0.402	0.402	0.467	0.426	0.466	0.430	0.323	0.310	0.035	0.426

Tabla C.7

<b>MARCO g</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.437	0.447	0.425	0.382	0.459	0.428	0.308	0.490	0.147	0.375
13	0.502	0.517	0.515	0.511	0.529	0.508	0.436	0.525	0.175	0.446
12	0.576	0.561	0.582	0.589	0.579	0.571	0.531	0.539	0.198	0.518
11	0.642	0.623	0.644	0.650	0.642	0.635	0.597	0.558	0.208	0.590
10	0.670	0.646	0.667	0.661	0.665	0.663	0.611	0.557	0.259	0.616
9	0.669	0.630	0.672	0.644	0.664	0.672	0.598	0.504	0.306	0.622
8	0.669	0.646	0.675	0.637	0.652	0.659	0.580	0.428	0.333	0.620
7	0.633	0.639	0.639	0.609	0.614	0.613	0.539	0.335	0.325	0.579
6	0.581	0.606	0.588	0.587	0.566	0.558	0.489	0.218	0.284	0.524
5	0.497	0.549	0.528	0.575	0.514	0.501	0.452	0.122	0.219	0.447
4	0.294	0.347	0.254	0.376	0.263	0.266	0.217	0.058	0.031	0.267
3	0.113	0.319	0.231	0.362	0.299	0.145	0.168	0.039	0.000	0.138
2	0.000	0.000	0.053	0.104	0.000	0.037	0.003	0.000	0.027	0.005
1	0.084	0.127	0.070	0.114	0.086	0.037	0.086	0.000	0.023	0.030

Tabla C.8

<b>MARCO h</b>	<b>REALIZACIONES</b>									
<b>ENTREPISO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
14	0.414	0.416	0.254	0.290	0.095	0.194	0.076	0.081	0.092	0.228
13	0.479	0.485	0.322	0.399	0.189	0.281	0.105	0.242	0.096	0.373
12	0.542	0.536	0.435	0.488	0.339	0.456	0.151	0.351	0.153	0.455
11	0.601	0.600	0.537	0.570	0.488	0.566	0.252	0.437	0.203	0.526
10	0.611	0.632	0.593	0.610	0.542	0.616	0.335	0.469	0.215	0.569
9	0.618	0.642	0.620	0.650	0.578	0.643	0.437	0.478	0.224	0.579
8	0.612	0.648	0.636	0.670	0.619	0.655	0.519	0.503	0.214	0.573
7	0.591	0.617	0.626	0.650	0.648	0.639	0.549	0.510	0.199	0.559
6	0.569	0.593	0.612	0.635	0.660	0.613	0.562	0.476	0.167	0.546
5	0.543	0.560	0.569	0.606	0.653	0.585	0.546	0.378	0.128	0.503
4	0.471	0.466	0.473	0.487	0.553	0.456	0.435	0.045	0.000	0.375
3	0.315	0.367	0.309	0.392	0.443	0.364	0.358	0.163	0.017	0.269
2	0.117	0.180	0.114	0.122	0.231	0.154	0.100	0.000	0.008	0.058
1	0.276	0.219	0.247	0.118	0.315	0.183	0.268	0.000	0.020	0.112

Tabla C.9

MARCO $i$	REALIZACIONES									
ENTREPISO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	0.152	0.105	0.033	0.168	0.098	0.125	0.000	0.185	0.000	0.209
13	0.204	0.215	0.052	0.290	0.252	0.214	0.014	0.273	0.006	0.328
12	0.252	0.328	0.135	0.377	0.323	0.345	0.066	0.367	0.043	0.455
11	0.273	0.441	0.301	0.464	0.425	0.442	0.095	0.407	0.055	0.545
10	0.348	0.527	0.438	0.506	0.529	0.480	0.140	0.380	0.043	0.577
9	0.470	0.567	0.541	0.534	0.590	0.487	0.184	0.334	0.071	0.574
8	0.557	0.590	0.602	0.562	0.622	0.486	0.277	0.310	0.044	0.555
7	0.594	0.608	0.624	0.579	0.631	0.491	0.375	0.356	0.065	0.521
6	0.620	0.607	0.636	0.574	0.623	0.492	0.435	0.368	0.090	0.479
5	0.623	0.592	0.622	0.590	0.606	0.513	0.461	0.377	0.090	0.456
4	0.572	0.476	0.482	0.454	0.517	0.465	0.410	0.214	0.000	0.282
3	0.496	0.454	0.426	0.574	0.436	0.482	0.369	0.298	0.033	0.302
2	0.275	0.269	0.358	0.266	0.275	0.380	0.208	0.020	0.000	0.204
1	0.403	0.294	0.342	0.385	0.309	0.373	0.456	0.204	0.101	0.266

# APÉNDICE D

## Costos a Largo Plazo

Tabla D.1.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	1,423,170	1,521,449	2,307,681	3,290,471	11,152,790	2,288,065	11,440,326
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	2
3, c	10,454	11,222	17,363	25,039	86,446	429	2,147
4, d	685,013	737,765	1,159,782	1,687,304	5,907,480	6,663,336	33,316,680
5, e	325,114	347,980	530,906	759,563	2,588,822	108,714	543,572
$C_R$	503,624	539,580	827,223	1,186,777	4,063,212	1,812,109	9,060,545
$C_0$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_C = 20$	3,266,867	3,302,823	3,590,466	3,950,021	6,826,455		
$C, \alpha_C = 100$	10,515,304	10,551,259	10,838,903	11,198,457	14,074,891		



Tabla D.1.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	805,698	858,578	1,281,618	1,810,417	6,040,814	1,203,399	6,016,994
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,573	9,160	13,858	19,730	66,708	58	60
4, d	739,921	789,244	1,183,830	1,677,062	5,622,917	4,260,375	18,821,928
5, e	271,697	289,915	435,656	617,833	2,075,250	17,307	86,534
$C_R$	377,048	402,031	601,894	851,722	2,850,351	1,096,228	4,985,103
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,511,557	2,536,540	2,736,403	2,986,231	4,984,860		
$C, \alpha_c = 100$	6,400,432	6,425,415	6,625,278	6,875,107	8,873,735		

Tabla D.1.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	779,984	832,864	1,255,903	1,784,703	6,015,100	1,203,399	6,016,994
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,573	9,160	13,858	19,730	66,708	58	60
4, d	706,329	755,652	1,150,238	1,643,470	5,589,325	4,260,375	18,821,928
5, e	271,697	289,915	435,656	617,833	2,075,250	17,307	86,534
$C_R$	365,187	390,170	590,032	839,861	2,838,490	1,096,228	4,985,103
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,499,696	2,524,679	2,724,541	2,974,370	4,972,999		
$C, \alpha_c = 100$	6,388,571	6,413,554	6,613,417	6,863,245	8,861,874		

Tabla D.1.4 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	682,833	726,949	1,079,880	1,521,044	5,050,356	1,607,134	8,035,671
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,884	1	3
3, c	233,584	249,923	380,634	544,022	1,851,129	3,152	15,759
4, d	613,349	654,484	983,563	1,394,911	4,685,697	5,529,120	27,645,599
5, e	217,361	231,960	348,755	494,747	1,662,690	30,297	151,486
$C_R$	359,797	383,712	575,029	814,176	2,727,351	1,433,941	7,169,704
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C$ , $\alpha_c = 20$	2,828,982	2,852,897	3,044,215	3,283,361	5,196,537		
$C$ , $\alpha_c = 100$	8,564,745	8,588,660	8,779,977	9,019,124	10,932,300		

Tabla D.1.5 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	644,897	689,014	1,041,945	1,483,109	5,012,421	1,607,134	8,035,671
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,884	1	3
3, c	233,584	249,923	380,634	544,022	1,851,129	3,152	15,759
4, d	594,702	635,837	964,915	1,376,264	4,667,050	5,529,120	27,645,599
5, e	217,361	231,960	348,755	494,747	1,662,690	30,297	151,486
$C_R$	348,480	372,395	563,713	802,860	2,716,035	1,433,941	7,169,704
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C$ , $\alpha_c = 20$	2,817,666	2,841,580	3,032,898	3,272,045	5,185,220		
$C$ , $\alpha_c = 100$	8,553,429	8,577,343	8,768,661	9,007,808	10,920,983		

Tabla D.1.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,567,508	1,674,344	2,529,030	3,597,388	12,144,251	3,148,769	15,743,844
2, b	67,348	71,934	108,620	154,476	521,331	87	436
3, c	8,855	9,482	14,498	20,768	70,927	2,319	11,593
4, d	597,950	644,265	1,014,789	1,477,944	5,183,183	8,473,267	42,366,335
5, e	768,825	821,525	1,243,132	1,770,141	5,986,211	281,348	1,406,738
$C_R$	602,097	644,310	982,014	1,404,144	4,781,181	2,381,158	11,905,789
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C$ , $\alpha_c = 20$	3,961,699	4,003,912	4,341,615	4,763,745	8,140,782		
$C$ , $\alpha_c = 100$	13,486,330	13,528,543	13,866,247	14,288,376	17,665,413		

Tabla D.1.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,567,508	1,674,344	2,529,030	3,597,388	12,144,251	3,148,769	15,743,844
2, b	67,348	71,934	108,620	154,476	521,331	87	436
3, c	8,855	9,482	14,498	20,768	70,927	2,319	11,593
4, d	597,950	644,265	1,014,789	1,477,944	5,183,183	8,473,267	42,366,335
5, e	768,825	821,525	1,243,132	1,770,141	5,986,211	281,348	1,406,738
$C_R$	602,097	644,310	982,014	1,404,144	4,781,181	2,381,158	11,905,789
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C$ , $\alpha_c = 20$	3,961,699	4,003,912	4,341,615	4,763,745	8,140,782		
$C$ , $\alpha_c = 100$	13,486,330	13,528,543	13,866,247	14,288,376	17,665,413		

Tabla D.2.1 Marco a con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	1,411,359	1,508,692	2,287,348	3,260,669	11,047,233	2,570,267	12,851,334
2, b	74,369	79,482	120,383	171,508	580,515	25	123
3, c	10,433	11,199	17,327	24,987	86,266	992	4,962
4, d	677,256	729,360	1,146,197	1,667,242	5,835,607	6,842,633	34,213,166
5, e	321,716	344,342	525,353	751,617	2,561,726	197,192	985,961
$C_R$	499,027	534,615	819,321	1,175,205	4,022,269	1,922,222	9,611,109
$C_0$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_C = 20$	3,372,382	3,407,971	3,692,677	4,048,560	6,895,625		
$C, \alpha_C = 100$	11,061,270	11,096,858	11,381,565	11,737,448	14,584,512		

Tabla D.2.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	788,880	840,552	1,253,924	1,770,640	5,904,364	1,734,719	8,673,596
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,064	3	3
3, c	8,571	9,158	13,854	19,724	66,686	150	154
4, d	736,855	785,952	1,178,735	1,669,712	5,597,535	4,355,872	18,924,200
5, e	271,101	289,279	434,701	616,478	2,070,698	37,306	186,528
$C_R$	372,951	397,639	595,144	842,025	2,817,070	1,225,610	5,556,896
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,636,843	2,661,531	2,859,035	3,105,916	5,080,961		
$C, \alpha_c = 100$	6,968,129	6,992,817	7,190,321	7,437,202	9,412,247		

Tabla D.2.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	763,166	814,838	1,228,210	1,744,926	5,878,650	1,734,719	8,673,596
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,064	3	3
3, c	8,571	9,158	13,854	19,724	66,686	150	154
4, d	703,263	752,360	1,145,143	1,636,120	5,563,943	4,355,872	18,924,200
5, e	271,101	289,279	434,701	616,478	2,070,698	37,306	186,528
$C_R$	361,090	385,778	583,283	830,163	2,805,208	1,225,610	5,556,896
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,624,981	2,649,669	2,847,174	3,094,055	5,069,100		
$C, \alpha_c = 100$	6,956,268	6,980,956	7,178,460	7,425,341	9,400,386		

Tabla D.2.4 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	662,708	705,337	1,046,371	1,472,664	4,883,006	2,375,149	11,875,744
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,882	14	69
3, c	233,434	249,762	380,389	543,672	1,849,937	8,929	44,646
4, d	610,037	650,925	978,029	1,386,909	4,657,950	5,642,071	28,210,357
5, e	215,808	230,303	346,262	491,212	1,650,807	95,209	476,046
$C_R$	354,769	378,314	566,673	802,122	2,685,716	1,624,275	8,121,373
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C$ , $\alpha_c = 20$	3,014,288	3,037,833	3,226,192	3,461,641	5,345,235		
$C$ , $\alpha_c = 100$	9,511,386	9,534,931	9,723,290	9,958,740	11,842,334		

Tabla D.2.5 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	624,773	667,402	1,008,436	1,434,729	4,845,070	2,375,149	11,875,744
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,882	14	69
3, c	233,434	249,762	380,389	543,672	1,849,937	8,929	44,646
4, d	591,389	632,277	959,381	1,368,262	4,639,302	5,642,071	28,210,357
5, e	215,808	230,303	346,262	491,212	1,650,807	95,209	476,046
$C_R$	343,452	366,997	555,356	790,806	2,674,400	1,624,275	8,121,373
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C$ , $\alpha_c = 20$	3,002,971	3,026,516	3,214,876	3,450,325	5,333,919		
$C$ , $\alpha_c = 100$	9,500,069	9,523,614	9,711,974	9,947,423	11,831,017		

Tabla D.2.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,567,508	1,674,344	2,529,030	3,597,388	12,144,251	3,148,769	15,743,844
2, b	67,329	71,914	108,588	154,432	521,182	706	3,531
3, c	8,750	9,369	14,326	20,521	70,082	7,170	35,848
4, d	587,240	632,666	996,074	1,450,333	5,084,411	8,731,910	43,659,549
5, e	768,818	821,518	1,243,121	1,770,126	5,986,159	281,620	1,408,102
$C_R$	599,929	641,962	978,228	1,398,560	4,761,217	2,434,035	12,170,175
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	4,012,407	4,054,441	4,390,706	4,811,038	8,173,696		
$C, \alpha_c = 100$	13,748,547	13,790,580	14,126,846	14,547,178	17,909,836		

Tabla D.2.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,567,508	1,674,344	2,529,030	3,597,388	12,144,251	3,148,769	15,743,844
2, b	67,329	71,914	108,588	154,432	521,182	706	3,531
3, c	8,750	9,369	14,326	20,521	70,082	7,170	35,848
4, d	587,240	632,666	996,074	1,450,333	5,084,411	8,731,910	43,659,549
5, e	768,818	821,518	1,243,121	1,770,126	5,986,159	281,620	1,408,102
$C_R$	599,929	641,962	978,228	1,398,560	4,761,217	2,434,035	12,170,175
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	4,012,407	4,054,441	4,390,706	4,811,038	8,173,696		
$C, \alpha_c = 100$	13,748,547	13,790,580	14,126,846	14,547,178	17,909,836		

Tabla D.3.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	1,501,994	1,606,295	2,440,704	3,483,716	11,827,811	330,819	1,654,095
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	0
3, c	10,471	11,240	17,391	25,079	86,585	1	7
4, d	901,784	970,669	1,521,747	2,210,595	7,721,377	1,268,175	6,340,875
5, e	326,787	349,770	533,639	763,475	2,602,160	777	3,884
$C_R$	563,081	603,491	926,773	1,330,875	4,563,691	319,954	1,599,772
$C_D$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_C = 20$	1,834,170	1,874,580	2,197,861	2,601,963	5,834,780		
$C, \alpha_C = 100$	3,113,987	3,154,398	3,477,679	3,881,781	7,114,597		



Tabla D.3.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	840,009	895,479	1,339,233	1,893,926	6,331,470	152,526	762,632
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	0	0
4, d	863,206	921,188	1,385,039	1,964,854	6,603,369	511,892	2,432,410
5, e	271,900	290,132	435,983	618,296	2,076,804	60	300
$C_R$	408,608	435,843	653,724	926,076	3,104,886	132,896	639,068
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C$ , $\alpha_c = 20$	1,579,785	1,607,020	1,824,901	2,097,253	4,276,063		
$C$ , $\alpha_c = 100$	2,085,958	2,113,193	2,331,074	2,603,425	4,782,235		

Tabla D.3.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\eta))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	814,295	869,764	1,313,519	1,868,212	6,305,755	152,526	762,632
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	0	0
4, d	829,614	887,596	1,351,447	1,931,262	6,569,777	511,892	2,432,410
5, e	271,900	290,132	435,983	618,296	2,076,804	60	300
$C_R$	396,747	423,982	641,863	914,214	3,093,025	132,896	639,068
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C$ , $\alpha_c = 20$	1,567,924	1,595,159	1,813,040	2,085,391	4,264,201		
$C$ , $\alpha_c = 100$	2,074,097	2,101,332	2,319,213	2,591,564	4,770,374		

Tabla D.3.4 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	721,642	768,767	1,145,771	1,617,025	5,387,060	206,830	1,034,149
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,885	0	0
3, c	233,666	250,011	380,767	544,213	1,851,777	7	34
4, d	753,689	804,655	1,212,387	1,722,052	5,799,373	648,634	3,243,168
5, e	217,707	232,330	349,310	495,536	1,665,338	138	689
$C_R$	395,712	422,201	634,110	898,996	3,018,086	171,122	855,608
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,602,078	1,628,567	1,840,476	2,105,362	4,224,453		
$C, \alpha_C = 100$	2,286,565	2,313,053	2,524,962	2,789,849	4,908,939		

Tabla D.3.5 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	683,707	730,832	1,107,835	1,579,090	5,349,125	206,830	1,034,149
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,885	0	0
3, c	233,666	250,011	380,767	544,213	1,851,777	7	34
4, d	735,041	786,008	1,193,740	1,703,405	5,780,726	648,634	3,243,168
5, e	217,707	232,330	349,310	495,536	1,665,338	138	689
$C_R$	384,396	410,884	622,793	887,680	3,006,770	171,122	855,608
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,590,762	1,617,251	1,829,160	2,094,046	4,213,136		
$C, \alpha_C = 100$	2,275,248	2,301,737	2,513,646	2,778,532	4,897,623		

Tabla D.3.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,668,120	1,782,551	2,697,995	3,842,300	12,996,740	443,116	2,215,581
2, b	67,351	71,937	108,624	154,483	521,352	0	0
3, c	8,918	9,549	14,601	20,915	71,429	22	112
4, d	849,420	914,625	1,436,263	2,088,311	7,304,690	1,731,150	8,655,751
5, e	777,691	830,999	1,257,460	1,790,537	6,055,149	3,791	18,954
$C_R$	674,300	721,932	1,102,989	1,579,309	5,389,872	435,616	2,178,080
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,088,360	2,135,992	2,517,048	2,993,368	6,803,932		
$C, \alpha_c = 100$	3,830,823	3,878,456	4,259,512	4,735,832	8,546,395		

Tabla D.3.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,668,120	1,782,551	2,697,995	3,842,300	12,996,740	443,116	2,215,581
2, b	67,351	71,937	108,624	154,483	521,352	0	0
3, c	8,918	9,549	14,601	20,915	71,429	22	112
4, d	849,420	914,625	1,436,263	2,088,311	7,304,690	1,731,150	8,655,751
5, e	777,691	830,999	1,257,460	1,790,537	6,055,149	3,791	18,954
$C_R$	674,300	721,932	1,102,989	1,579,309	5,389,872	435,616	2,178,080
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,088,360	2,135,992	2,517,048	2,993,368	6,803,932		
$C, \alpha_c = 100$	3,830,823	3,878,456	4,259,512	4,735,832	8,546,395		

Tabla D.4.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,496,767	1,600,649	2,431,706	3,470,528	11,781,099	455,702	2,278,509
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	0
3, c	10,471	11,240	17,390	25,078	86,583	8	42
4, d	898,703	967,330	1,516,343	2,202,610	7,692,742	1,339,186	6,695,929
5, e	326,641	349,615	533,401	763,135	2,601,001	4,560	22,802
$C_R$	561,391	601,663	923,845	1,326,572	4,548,390	359,891	1,799,456
$C_\theta$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_c = 20$	1,872,416	1,912,689	2,234,870	2,637,598	5,859,415		
$C, \alpha_c = 100$	3,311,981	3,352,254	3,674,435	4,077,163	7,298,980		

Tabla D.4.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	837,586	892,875	1,335,193	1,888,091	6,311,271	227,691	1,138,455
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	1	1
4, d	862,712	920,657	1,384,218	1,963,669	6,599,275	527,270	2,448,093
5, e	271,890	290,120	435,965	618,272	2,076,722	418	2,092
$C_R$	408,023	435,214	652,749	924,667	3,100,011	151,076	717,728
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C$ , $\alpha_c = 20$	1,597,380	1,624,572	1,842,106	2,114,024	4,289,368		
$C$ , $\alpha_c = 100$	2,164,032	2,191,224	2,408,758	2,680,676	4,856,020		

Tabla D.4.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	837,586	892,875	1,335,193	1,888,091	6,311,271	227,691	1,138,455
2, b	59,350	63,257	94,506	133,568	446,065	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	1	1
4, d	862,712	920,657	1,384,218	1,963,669	6,599,275	527,270	2,448,093
5, e	271,890	290,120	435,965	618,272	2,076,722	418	2,092
$C_R$	408,023	435,214	652,749	924,667	3,100,011	151,076	717,728
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C$ , $\alpha_c = 20$	1,597,380	1,624,572	1,842,106	2,114,024	4,289,368		
$C$ , $\alpha_c = 100$	2,164,032	2,191,224	2,408,758	2,680,676	4,856,020		

Tabla D.4.4 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	717,767	764,593	1,139,203	1,607,465	5,353,563	348,872	1,744,362
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,885	0	0
3, c	233,665	250,010	380,765	544,210	1,851,768	51	257
4, d	753,131	804,056	1,211,455	1,720,704	5,794,697	667,616	3,338,081
5, e	217,648	232,267	349,215	495,401	1,664,887	2,604	13,022
$C_R$	394,814	421,233	632,591	896,787	3,010,360	203,829	1,019,144
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,633,887	1,660,307	1,871,664	2,135,861	4,249,433		
$C, \alpha_C = 100$	2,449,203	2,475,623	2,686,980	2,951,176	5,064,749		

Tabla D.4.5 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	679,832	726,658	1,101,268	1,569,530	5,315,628	348,872	1,744,362
2, b	51,857	55,241	82,314	116,155	386,885	0	0
3, c	233,665	250,010	380,765	544,210	1,851,768	51	257
4, d	734,484	785,408	1,192,808	1,702,057	5,776,049	667,616	3,338,081
5, e	217,648	232,267	349,215	495,401	1,664,887	2,604	13,022
$C_R$	383,497	409,917	621,274	885,471	2,999,043	203,829	1,019,144
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,622,571	1,648,990	1,860,348	2,124,544	4,238,117		
$C, \alpha_C = 100$	2,437,886	2,464,306	2,675,663	2,939,860	5,053,432		

Tabla D.4.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,668,120	1,782,551	2,697,995	3,842,300	12,996,740	443,116	2,215,581
2, b	67,351	71,937	108,624	154,483	521,352	3	14
3, c	8,912	9,543	14,592	20,902	71,385	199	994
4, d	843,168	907,852	1,425,324	2,072,163	7,246,877	1,881,471	9,407,355
5, e	777,691	830,999	1,257,460	1,790,536	6,055,149	3,794	18,970
$C_R$	673,049	720,576	1,100,799	1,576,077	5,378,300	465,717	2,328,583
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,117,209	2,164,737	2,544,959	3,020,237	6,822,460		
$C, \alpha_c = 100$	3,980,075	4,027,603	4,407,825	4,883,103	8,685,327		

Tabla D.4.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.2$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	1,668,120	1,782,551	2,697,995	3,842,300	12,996,740	443,116	2,215,581
2, b	67,351	71,937	108,624	154,483	521,352	3	14
3, c	8,912	9,543	14,592	20,902	71,385	199	994
4, d	843,168	907,852	1,425,324	2,072,163	7,246,877	1,881,471	9,407,355
5, e	777,691	830,999	1,257,460	1,790,536	6,055,149	3,794	18,970
$C_R$	673,049	720,576	1,100,799	1,576,077	5,378,300	465,717	2,328,583
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,117,209	2,164,737	2,544,959	3,020,237	6,822,460		
$C, \alpha_c = 100$	3,980,075	4,027,603	4,407,825	4,883,103	8,685,327		

Tabla D.5.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_I = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	794,966	852,758	1,315,091	1,893,007	6,516,338	2,700,550	13,502,749
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	2
3, c	10,454	11,222	17,363	25,039	86,446	429	2,147
4, d	680,261	732,690	1,152,118	1,676,404	5,870,688	6,663,336	33,316,680
5, e	319,307	341,801	521,752	746,692	2,546,205	108,714	543,572
$C_R$	375,872	403,591	625,342	902,530	3,120,040	1,894,606	9,473,030
$C_0$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_c = 20$	3,221,612	3,249,331	3,471,082	3,748,270	5,965,780		
$C, \alpha_c = 100$	10,800,036	10,827,755	11,049,506	11,326,694	13,544,204		



Tabla D.5.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	283,543	301,191	442,377	618,859	2,030,714	1,570,920	7,854,601
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	8,573	9,160	13,858	19,730	66,708	58	60
4, d	314,350	336,299	511,888	731,375	2,487,267	5,385,171	20,000,866
5, e	0	0	0	0	0	17,597	87,985
$C_R$	121,293	129,330	193,625	273,993	916,938	1,394,749	5,588,703
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,554,324	2,562,361	2,626,655	2,707,023	3,349,968		
$C, \alpha_c = 100$	6,748,277	6,756,314	6,820,608	6,900,977	7,543,922		

Tabla D.5.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	257,829	275,477	416,662	593,144	2,005,000	1,570,920	7,854,601
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	8,573	9,160	13,858	19,730	66,708	58	60
4, d	289,911	311,860	487,449	706,936	2,462,828	5,385,171	20,000,866
5, e	0	0	0	0	0	17,597	87,985
$C_R$	111,263	119,299	183,594	263,962	906,907	1,394,749	5,588,703
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,544,293	2,552,330	2,616,624	2,696,993	3,339,938		
$C, \alpha_c = 100$	6,738,246	6,746,283	6,810,578	6,890,946	7,533,891		

Tabla D.5.4 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_T = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	240,360	254,458	367,243	508,223	1,636,069	2,425,315	12,126,576
2, b	0	0	0	0	0	1	4
3, c	233,584	249,923	380,634	544,022	1,851,129	3,152	15,759
4, d	297,090	317,672	482,325	688,142	2,334,675	6,890,707	34,453,535
5, e	217,361	231,960	348,755	494,747	1,662,690	30,297	151,486
$C_R$	197,679	210,803	315,791	447,027	1,496,913	1,869,894	9,349,472
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	3,102,818	3,115,942	3,220,930	3,352,166	4,402,052		
$C, \alpha_C = 100$	10,582,396	10,595,520	10,700,508	10,831,744	11,881,629		

Tabla D.5.5 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_T = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	208,854	222,952	335,737	476,718	1,604,563	2,425,315	12,126,576
2, b	0	0	0	0	0	1	4
3, c	233,584	249,923	380,634	544,022	1,851,129	3,152	15,759
4, d	272,651	293,233	457,886	663,703	2,310,236	6,890,707	34,453,535
5, e	217,361	231,960	348,755	494,747	1,662,690	30,297	151,486
$C_R$	186,490	199,614	304,602	435,838	1,485,724	1,869,894	9,349,472
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	3,091,629	3,104,753	3,209,741	3,340,977	4,390,863		
$C, \alpha_C = 100$	10,571,207	10,584,331	10,689,319	10,820,555	11,870,440		

Tabla D.5.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	219,019	236,709	378,231	555,132	1,970,344	4,387,404	21,937,021
2, b	71,642	77,609	125,340	185,005	662,321	666	3,332
3, c	8,855	9,482	14,498	20,768	70,927	2,319	11,593
4, d	597,950	644,265	1,014,789	1,477,944	5,183,183	8,473,267	42,366,335
5, e	276,974	296,532	453,000	648,585	2,213,266	370,329	1,851,644
$C_R$	234,888	252,920	397,172	577,487	2,020,008	2,646,797	13,233,985
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	3,860,129	3,878,160	4,022,412	4,202,727	5,645,249		
$C, \alpha_c = 100$	14,447,317	14,465,348	14,609,600	14,789,915	16,232,437		

Tabla D.5.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	219,019	236,709	378,231	555,132	1,970,344	4,387,404	21,937,021
2, b	71,642	77,609	125,340	185,005	662,321	666	3,332
3, c	8,855	9,482	14,498	20,768	70,927	2,319	11,593
4, d	597,950	644,265	1,014,789	1,477,944	5,183,183	8,473,267	42,366,335
5, e	276,974	296,532	453,000	648,585	2,213,266	370,329	1,851,644
$C_R$	234,888	252,920	397,172	577,487	2,020,008	2,646,797	13,233,985
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	3,860,129	3,878,160	4,022,412	4,202,727	5,645,249		
$C, \alpha_c = 100$	14,447,317	14,465,348	14,609,600	14,789,915	16,232,437		

Tabla D.6.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	743,529	797,604	1,230,203	1,770,952	6,096,942	4,033,404	20,167,021
2, b	74,369	79,482	120,383	171,508	580,515	25	123
3, c	10,433	11,199	17,327	24,987	86,266	992	4,962
4, d	672,505	724,285	1,138,533	1,656,342	5,798,815	6,842,633	34,213,166
5, e	315,910	338,164	516,201	738,747	2,519,114	197,192	985,961
$C_R$	363,349	390,147	604,529	872,507	3,016,331	2,214,849	11,074,247
$C_\theta$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_c = 20$	3,529,332	3,556,130	3,770,512	4,038,490	6,182,314		
$C, \alpha_c = 100$	12,388,730	12,415,527	12,629,910	12,897,888	15,041,711		

Tabla D.6.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	261,738	277,729	405,650	565,552	1,844,768	2,517,951	12,584,692
2, b	0	0	0	0	0	176	870
3, c	8,571	9,158	13,854	19,724	66,686	150	154
4, d	278,963	298,037	450,629	641,368	2,167,281	6,504,016	21,648,615
5, e	0	0	0	0	0	43,264	216,262
$C_R$	109,854	116,985	174,027	245,329	815,747	1,813,111	6,890,119
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,961,247	2,968,377	3,025,419	3,096,721	3,667,140		
$C, \alpha_c = 100$	8,038,254	8,045,384	8,102,426	8,173,729	8,744,147		

Tabla D.6.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	236,024	252,014	379,936	539,838	1,819,054	2,517,951	12,584,692
2, b	0	0	0	0	0	176	870
3, c	8,571	9,158	13,854	19,724	66,686	150	154
4, d	254,524	273,598	426,189	616,929	2,142,842	6,504,016	21,648,615
5, e	0	0	0	0	0	43,264	216,262
$C_R$	99,824	106,954	163,996	235,298	805,716	1,813,111	6,890,119
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	2,951,216	2,958,347	3,015,388	3,086,691	3,657,109		
$C, \alpha_c = 100$	8,028,224	8,035,354	8,092,396	8,163,698	8,734,116		

Tabla D.6.4 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	220,045	232,523	332,350	457,134	1,455,405	3,719,287	18,596,433
2, b	0	0	0	0	0	419	2,094
3, c	233,434	249,762	380,389	543,672	1,849,937	8,929	44,646
4, d	264,400	282,325	425,724	604,973	2,038,962	8,219,410	41,097,048
5, e	215,808	230,303	346,262	491,212	1,650,807	95,209	476,046
$C_R$	186,737	198,983	296,945	419,398	1,399,022	2,408,651	12,043,254
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	3,630,633	3,642,878	3,740,840	3,863,293	4,842,918		
$C, \alpha_C = 100$	13,265,236	13,277,481	13,375,443	13,497,896	14,477,521		

Tabla D.6.5 Marco  $f$  con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	188,539	201,017	300,844	425,628	1,423,899	3,719,287	18,596,433
2, b	0	0	0	0	0	419	2,094
3, c	233,434	249,762	380,389	543,672	1,849,937	8,929	44,646
4, d	239,961	257,886	401,285	580,534	2,014,523	8,219,410	41,097,048
5, e	215,808	230,303	346,262	491,212	1,650,807	95,209	476,046
$C_R$	175,548	187,794	285,756	408,209	1,387,833	2,408,651	12,043,254
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	3,619,444	3,631,689	3,729,651	3,852,104	4,831,729		
$C, \alpha_C = 100$	13,254,047	13,266,292	13,364,254	13,486,707	14,466,332		

Tabla D.6.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	201,685	217,931	347,903	510,368	1,810,087	6,271,816	31,359,078
2, b	70,470	76,339	123,290	181,979	651,489	31,253	156,265
3, c	8,750	9,369	14,326	20,521	70,082	7,170	35,848
4, d	587,240	632,666	996,074	1,450,333	5,084,411	8,731,910	43,659,549
5, e	264,593	283,278	432,752	619,595	2,114,337	746,591	3,732,957
$C_R$	226,548	243,917	382,869	556,559	1,946,081	3,157,748	15,788,740
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_C = 20$	4,362,739	4,380,108	4,519,060	4,692,751	6,082,273		
$C, \alpha_C = 100$	16,993,731	17,011,100	17,150,052	17,323,742	18,713,265		

Tabla D.6.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.04$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	201,685	217,931	347,903	510,368	1,810,087	6,271,816	31,359,078
2, b	70,470	76,339	123,290	181,979	651,489	31,253	156,265
3, c	8,750	9,369	14,326	20,521	70,082	7,170	35,848
4, d	587,240	632,666	996,074	1,450,333	5,084,411	8,731,910	43,659,549
5, e	264,593	283,278	432,752	619,595	2,114,337	746,591	3,732,957
$C_R$	226,548	243,917	382,869	556,559	1,946,081	3,157,748	15,788,740
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_C = 20$	4,362,739	4,380,108	4,519,060	4,692,751	6,082,273		
$C, \alpha_C = 100$	16,993,731	17,011,100	17,150,052	17,323,742	18,713,265		

Tabla D.7.1 Marco a con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_T = 1/2 (1 - \cos(\delta T))$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	886,146	950,862	1,468,591	2,115,753	7,293,049	424,374	2,121,870
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	0
3, c	10,471	11,240	17,391	25,079	86,585	1	7
4, d	895,515	963,972	1,511,634	2,196,211	7,672,829	1,268,175	6,340,875
5, e	320,979	343,591	524,485	750,602	2,559,541	777	3,884
$C_R$	437,496	469,830	728,497	1,051,831	3,638,505	338,665	1,693,327
$C_0$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_c = 20$	1,727,296	1,759,629	2,018,296	2,341,631	4,928,305		
$C, \alpha_c = 100$	3,081,957	3,114,291	3,372,958	3,696,292	6,282,966		



Tabla D.7.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	318,999	339,378	502,416	706,212	2,336,584	246,471	1,232,356
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	0	0
4, d	358,760	384,312	588,724	844,240	2,888,367	991,223	2,938,722
5, e	0	0	0	0	0	66	332
$C_R$	137,267	146,570	221,000	314,037	1,058,334	247,552	834,282
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	1,423,100	1,432,404	1,506,834	1,599,871	2,344,168		
$C, \alpha_c = 100$	2,009,830	2,019,134	2,093,563	2,186,601	2,930,898		

Tabla D.7.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	293,284	313,664	476,701	680,498	2,310,870	246,471	1,232,356
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	0	0
4, d	334,321	359,873	564,285	819,801	2,863,928	991,223	2,938,722
5, e	0	0	0	0	0	66	332
$C_R$	127,236	136,540	210,970	304,007	1,048,304	247,552	834,282
$C_D$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	1,413,069	1,422,373	1,496,803	1,589,840	2,334,137		
$C, \alpha_c = 100$	1,999,799	2,009,103	2,083,533	2,176,570	2,920,867		

Tabla D.7.4 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	282,906	300,414	440,482	615,567	2,016,247	586,078	2,930,388
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	233,666	250,011	380,767	544,213	1,851,777	7	34
4, d	348,693	373,462	571,614	819,305	2,800,831	1,334,824	6,674,122
5, e	217,707	232,330	349,310	495,536	1,665,338	138	689
$C_R$	216,594	231,243	348,435	494,924	1,666,839	384,209	1,921,046
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,636,048	1,650,697	1,767,889	1,914,378	3,086,293		
$C, \alpha_C = 100$	3,172,886	3,187,535	3,304,726	3,451,215	4,623,130		

Tabla D.7.5 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_C$	$C_C$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_C = 20$	$\alpha_C = 100$
1, a	251,400	268,909	408,976	584,061	1,984,741	586,078	2,930,388
2, b	0	0	0	0	0	0	0
3, c	233,666	250,011	380,767	544,213	1,851,777	7	34
4, d	324,253	349,023	547,175	794,866	2,776,392	1,334,824	6,674,122
5, e	217,707	232,330	349,310	495,536	1,665,338	138	689
$C_R$	205,405	220,054	337,246	483,735	1,655,650	384,209	1,921,046
$C_D$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_C = 20$	1,624,859	1,639,508	1,756,700	1,903,189	3,075,104		
$C, \alpha_C = 100$	3,161,697	3,176,346	3,293,537	3,440,026	4,611,941		

Tabla D.7.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.5$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	284,767	307,838	492,407	723,118	2,568,811	1,205,141	6,025,704
2, b	71,664	77,633	125,379	185,062	662,528	7	33
3, c	8,918	9,549	14,601	20,915	71,429	22	112
4, d	849,420	914,625	1,436,263	2,088,311	7,304,690	1,731,150	8,655,751
5, e	282,891	302,867	462,678	662,441	2,260,549	8,299	41,495
$C_R$	299,532	322,502	506,266	735,970	2,573,601	588,924	2,944,619
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	1,866,899	1,889,870	2,073,633	2,303,337	4,140,969		
$C, \alpha_c = 100$	4,222,595	4,245,565	4,429,328	4,659,032	6,496,664		

Tabla D.7.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_1 = 1/2 (1 - \cos(\delta\pi))$ ,  $\delta_D = 0.75$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	284,767	307,838	492,407	723,118	2,568,811	1,205,141	6,025,704
2, b	71,664	77,633	125,379	185,062	662,528	7	33
3, c	8,918	9,549	14,601	20,915	71,429	22	112
4, d	849,420	914,625	1,436,263	2,088,311	7,304,690	1,731,150	8,655,751
5, e	282,891	302,867	462,678	662,441	2,260,549	8,299	41,495
$C_R$	299,532	322,502	506,266	735,970	2,573,601	588,924	2,944,619
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	1,866,899	1,889,870	2,073,633	2,303,337	4,140,969		
$C, \alpha_c = 100$	4,222,595	4,245,565	4,429,328	4,659,032	6,496,664		

Tabla D.8.1 Marco *a* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ 

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	865,710	928,912	1,434,530	2,066,553	7,122,733	944,896	4,724,482
2, b	74,370	79,483	120,384	171,511	580,522	0	0
3, c	10,471	11,240	17,390	25,078	86,583	8	42
4, d	892,434	960,633	1,506,230	2,188,226	7,644,194	1,339,186	6,695,929
5, e	320,834	343,436	524,248	750,263	2,558,382	4,560	22,802
$C_R$	432,764	464,741	720,556	1,040,326	3,598,483	457,730	2,288,651
$C_0$	951,134	951,134	951,134	951,134	951,134		
$C, \alpha_c = 20$	1,841,628	1,873,605	2,129,421	2,449,190	5,007,347		
$C, \alpha_c = 100$	3,672,549	3,704,526	3,960,341	4,280,111	6,838,268		

Tabla D.8.2 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	305,116	324,439	479,024	672,255	2,218,106	690,845	3,454,127
2, b	0	0	0	0	0	2	11
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	1	1
4, d	322,409	345,007	525,795	751,780	2,559,660	2,037,163	4,114,250
5, e	0	0	0	0	0	1,544	7,720
$C_R$	127,220	135,722	203,736	288,754	968,897	545,911	1,515,222
$C_0$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	1,711,412	1,719,914	1,787,928	1,872,946	2,553,090		
$C, \alpha_c = 100$	2,680,723	2,689,225	2,757,239	2,842,257	3,522,400		

Tabla D.8.3 Marco *d* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	279,402	298,725	453,310	646,541	2,192,392	690,845	3,454,127
2, b	0	0	0	0	0	2	11
3, c	8,575	9,162	13,861	19,734	66,721	1	1
4, d	297,970	320,568	501,356	727,341	2,535,221	2,037,163	4,114,250
5, e	0	0	0	0	0	1,544	7,720
$C_R$	117,189	125,691	193,705	278,723	958,867	545,911	1,515,222
$C_0$	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281	1,038,281		
$C, \alpha_c = 20$	1,701,381	1,709,883	1,777,898	1,862,916	2,543,059		
$C, \alpha_c = 100$	2,670,692	2,679,194	2,747,208	2,832,226	3,512,370		

Tabla D.8.4 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	261,242	277,018	403,227	560,988	1,823,078	1,428,768	7,143,839
2, b	0	0	0	0	0	8	41
3, c	233,665	250,010	380,765	544,210	1,851,768	51	257
4, d	308,745	330,269	502,465	717,710	2,439,669	2,579,718	12,898,588
5, e	217,648	232,267	349,215	495,401	1,664,887	2,604	13,022
$C_R$	204,260	217,913	327,135	463,662	1,555,880	802,230	4,011,149
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_c = 20$	2,041,735	2,055,387	2,164,609	2,301,136	3,393,355		
$C, \alpha_c = 100$	5,250,654	5,264,307	5,373,529	5,510,056	6,602,274		

Tabla D.8.5 Marco *f* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	229,736	245,512	371,721	529,482	1,791,572	1,428,768	7,143,839
2, b	0	0	0	0	0	8	41
3, c	233,665	250,010	380,765	544,210	1,851,768	51	257
4, d	284,305	305,830	478,026	693,271	2,415,230	2,579,718	12,898,588
5, e	217,648	232,267	349,215	495,401	1,664,887	2,604	13,022
$C_R$	193,071	206,724	315,946	452,473	1,544,691	802,230	4,011,149
$C_0$	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245	1,035,245		
$C, \alpha_c = 20$	2,030,546	2,044,198	2,153,420	2,289,947	3,382,166		
$C, \alpha_c = 100$	5,239,465	5,253,118	5,362,340	5,498,867	6,591,085		

Tabla D.8.6 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.5$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	256,355	277,060	442,700	649,749	2,306,148	2,481,738	12,408,690
2, b	71,480	77,433	125,057	184,587	660,824	4,723	23,615
3, c	8,912	9,543	14,592	20,902	71,385	199	994
4, d	843,168	907,852	1,425,324	2,072,163	7,246,877	1,881,471	9,407,355
5, e	280,740	300,565	459,161	657,406	2,243,365	73,612	368,060
$C_R$	292,131	314,491	493,366	716,961	2,505,720	888,349	4,441,743
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,158,923	2,181,283	2,360,159	2,583,753	4,372,512		
$C, \alpha_c = 100$	5,712,318	5,734,677	5,913,553	6,137,148	7,925,906		

Tabla D.8.7 Marco *i* con:  $\delta_R = 0.5$ ,  $\psi_C = 0.06$ ,  $\Delta = \Delta_2 = \text{sen}(1/2 \delta \pi)$ ,  $\delta_D = 0.75$

Realización, Historia sismos	$r_i$					$C_c$	$C_c$
	0.1	0.2	1	2	10	$\alpha_c = 20$	$\alpha_c = 100$
1, a	256,355	277,060	442,700	649,749	2,306,148	2,481,738	12,408,690
2, b	71,480	77,433	125,057	184,587	660,824	4,723	23,615
3, c	8,912	9,543	14,592	20,902	71,385	199	994
4, d	843,168	907,852	1,425,324	2,072,163	7,246,877	1,881,471	9,407,355
5, e	280,740	300,565	459,161	657,406	2,243,365	73,612	368,060
$C_R$	292,131	314,491	493,366	716,961	2,505,720	888,349	4,441,743
$C_D$	978,444	978,444	978,444	978,444	978,444		
$C, \alpha_c = 20$	2,158,923	2,181,283	2,360,159	2,583,753	4,372,512		
$C, \alpha_c = 100$	5,712,318	5,734,677	5,913,553	6,137,148	7,925,906		

# APÉNDICE E

## Evolución de los Índices de Confiabilidad a Largo Plazo

Se presenta, primero, el valor de los índices de confiabilidad de todos los marcos considerando que el daño inicial es nulo antes de cada sismo (ver Tabla E.1), de manera que se pueda aplicar la Ec. 8.15.

Las Tablas E.2-E.5 permiten el cálculo de las Ecs. 8.13 y 8.14, mediante los ajustes presentados en las Figs. E.1-E.4, que permiten el cálculo del índice de confiabilidad  $\beta_0$  de la Ec. 8.12, el cual no incluye daño inicial antes de cada temblor.

Finalmente, se presentan un grupo de resultados (Tablas E.6-E.9) que corresponden al caso en que la distorsión de colapso es 0.04, el umbral de reparación es 0.2 y el factor reductivo considera el  $\Delta=\Delta_1$ . En estas tablas se aprecia tanto el índice de confiabilidad inicial, el daño alcanzado después de un temblor, el  $\Delta=\Delta_1$ , el índice de confiabilidad después del temblor y su correspondiente probabilidad de colapso  $p_c$ . Si el índice de daño supera el umbral de reparación, entonces se procede a reparar.

Para esta investigación fue necesario trabajar con todos los entrepisos y los disipadores de manera de evaluar los diferentes costos de reparación. En dichos cálculos se emplearon 8 grupo de tablas similares a las Tablas E.6-E.9.



**Tabla E.1 Distorsión máxima de los marcos con daño inicial cero antes de cada temblor.**

Historia de temblores	Sismo	Intensidad (cm/s <sup>2</sup> )	Marco <i>a</i>	Marco <i>d</i>	Marco <i>f</i>	Marco <i>i</i>	Ocurrencia (t años)
1	1	745	0.01473	0.01137	0.01217	0.01460	1.31
	3	1148	0.02157	0.01660	0.02057	0.02123	3.94
	5	528	0.01270	0.01190	0.01380	0.01490	16.76
	8	1250	0.04523	0.04160	0.04230	0.04580	23.94
	12	1568	0.04013	0.04090	0.04143	0.04230	53.79
	13	828	0.02043	0.01370	0.01547	0.02217	66.81
	14	1237	0.03013	0.02773	0.02750	0.03007	71.02
2	3	406	0.00970	0.00737	0.00667	0.00977	28.42
	5	607	0.01053	0.01043	0.01077	0.01040	40.06
	7	703	0.01667	0.01570	0.01520	0.01787	44.84
	8	541	0.01007	0.00737	0.00580	0.00997	47.36
	12	468	0.00887	0.00747	0.00737	0.00927	57.73
	16	427	0.00813	0.00547	0.00487	0.00827	72.64
	17	518	0.00857	0.00597	0.00597	0.00940	76.67
3	4	571	0.00900	0.00613	0.00647	0.01040	24.19
	8	732	0.01117	0.00873	0.00917	0.01137	28.68
	20	934	0.02807	0.02277	0.02410	0.03087	85.60
	21	429	0.00837	0.00583	0.00630	0.00833	88.68
4	1	1449	0.02250	0.01983	0.02053	0.02740	5.63
	2	594	0.00907	0.00753	0.00773	0.01053	6.67
	5	1284	0.04027	0.02823	0.02920	0.03697	16.19
	13	514	0.00943	0.00780	0.00813	0.01027	54.31
	15	1134	0.02397	0.01760	0.01980	0.02577	78.71
	18	1383	0.01930	0.01737	0.01930	0.02210	93.50
5	1	983	0.01193	0.01100	0.01300	0.01483	4.61
	5	979	0.02337	0.01917	0.02137	0.02800	16.45
	12	408	0.00953	0.00833	0.00860	0.01007	67.27
	14	438	0.00790	0.00680	0.00667	0.00850	82.78
	15	817	0.01417	0.01160	0.01233	0.01567	92.60

Tabla E.2 Distorsiones máximas y probabilidad de colapso para el Marco  $\alpha$  con daño inicial cero antes de cada temblor.

Historia	$y$ (cm/s <sup>2</sup> )	$\psi(y)$	$\ln \psi(y)$	$E[\ln \psi(y)]$	$[\ln-E[\ln]]^2$	$\text{Var}[\ln \psi(y)]$	$\beta(y) \{\psi_C = 0.06\}$	$p_C \{\psi_C = 0.06\}$	$\beta(y) \{\psi_C = 0.04\}$	$p_C \{\psi_C = 0.04\}$
1	745	0.01473	-4.21764	-4.29519	0.006014	0.052071	6.4936	0.000000	4.7167	0.000001
	1148	0.02157	-3.83661	-3.75316	0.006964	0.104058	2.9132	0.001789	1.6563	0.048834
	528	0.01270	-4.36615	-4.58706	0.048798	0.024078	11.4303	0.000000	8.8172	0.000000
	1250	0.04523	-3.09592	-3.61597	0.270446	0.117216	2.3441	0.009536	1.1598	0.123059
	1568	0.04013	-3.21555	-3.18826	0.000745	0.158238	0.9423	0.173016	-0.0770	0.530679
	828	0.02043	-3.89059	-4.18356	0.085830	0.062778	5.4684	0.000000	3.8502	0.000059
	1237	0.03013	-3.50212	-3.63345	0.017247	0.115539	2.4125	0.007921	1.2197	0.111297
2	406	0.00970	-4.63563	-4.75115	0.013344	0.00834	21.2183	0.000000	16.7785	0.000000
	607	0.01053	-4.55321	-4.48080	0.005243	0.034269	9.0071	0.000000	6.8168	0.000000
	703	0.01667	-4.09434	-4.35168	0.066222	0.046653	7.1218	0.000000	5.2446	0.000000
	541	0.01007	-4.59853	-4.56957	0.000838	0.025755	10.9429	0.000000	8.4164	0.000000
	468	0.00887	-4.72546	-4.66776	0.003329	0.016338	14.5074	0.000000	11.3353	0.000000
	427	0.00813	-4.81178	-4.72290	0.007900	0.011049	18.1659	0.000000	14.3085	0.000000
	518	0.00857	-4.75988	-4.60051	0.025399	0.022788	11.8384	0.000000	9.1525	0.000000
3	571	0.00900	-4.71053	-4.52922	0.032874	0.029625	9.9687	0.000000	7.6130	0.000000
	732	0.01117	-4.49482	-4.31268	0.033178	0.050394	6.6787	0.000000	4.8725	0.000001
	934	0.02807	-3.57317	-4.04099	0.218848	0.076452	4.4397	0.000005	2.9733	0.001473
	429	0.00837	-4.78350	-4.72021	0.004006	0.011307	17.9321	0.000000	14.1190	0.000000
4	1449	0.02250	-3.79424	-3.34831	0.198854	0.142887	1.4151	0.078525	0.3424	0.366019
	594	0.00907	-4.70315	-4.49829	0.041970	0.032592	9.3328	0.000000	7.0869	0.000000
	1284	0.04027	-3.21223	-3.57024	0.128167	0.121602	2.1703	0.014991	1.0076	0.156827
	514	0.00943	-4.66351	-4.60589	0.003320	0.022272	12.0108	0.000000	9.2939	0.000000
	1134	0.02397	-3.73109	-3.77199	0.001672	0.102252	2.9977	0.001360	1.7297	0.041840
	1383	0.01930	-3.94765	-3.43708	0.260682	0.134373	1.7014	0.044437	0.5953	0.275835
5	983	0.01193	-4.42842	-3.97508	0.205517	0.082773	4.0377	0.000027	2.6284	0.004289
	979	0.02337	-3.75644	-3.98046	0.050183	0.082257	4.0691	0.000024	2.6554	0.003961
	408	0.00953	-4.65296	-4.74846	0.009119	0.008598	20.8685	0.000000	16.4958	0.000000
	438	0.00790	-4.84089	-4.70811	0.017633	0.012468	16.9684	0.000000	13.3372	0.000000
	817	0.01417	-4.25686	-4.19835	0.003424	0.061359	5.5910	0.000000	3.9542	0.000038

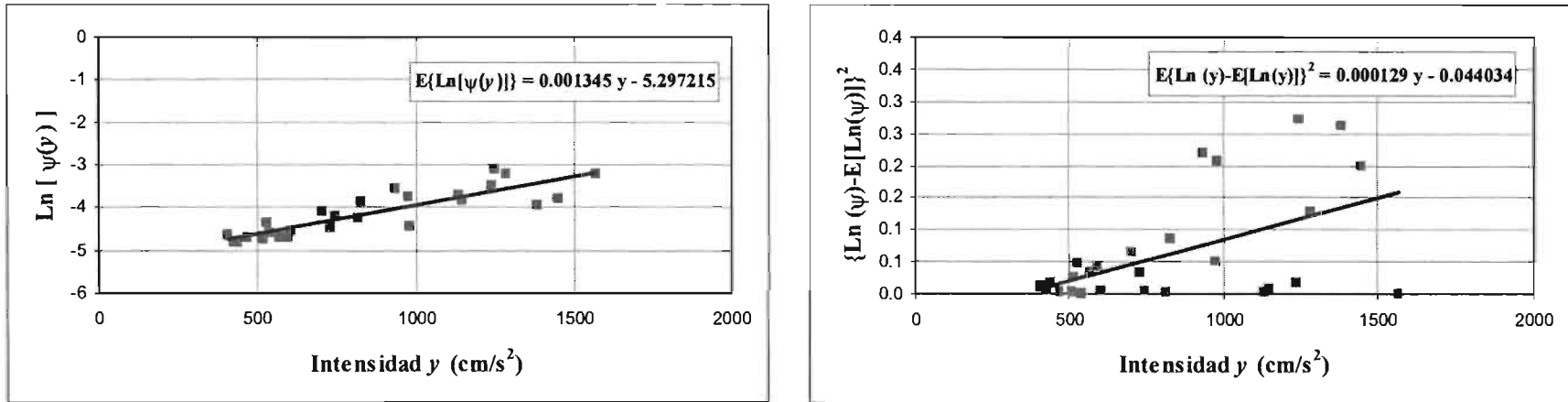


Figura E.1 Curvas de las expresiones (Ecs. 8.12-8.14) empleadas en el cálculo del índice de confiabilidad del marco  $\alpha$  con daño inicial cero antes de cada sismo.

Tabla E.3 Distorsiones máximas y probabilidad de colapso para el Marco *d* con daño inicial cero antes de cada temblor.

Historia	$y$ (cm/s <sup>2</sup> )	$\psi(y)$	$\text{Ln } \psi(y)$	$E[\text{Ln } \psi(y)]$	$[\text{Ln}-E[\text{Ln}]]^2$	$\text{Var}[\text{Ln } \psi(y)]$	$\beta(y) \{ \psi_C = 0.06 \}$	$p_C \{ \psi_C = 0.06 \}$	$\beta(y) \{ \psi_C = 0.04 \}$	$p_C \{ \psi_C = 0.04 \}$
1	745	0.01137	-4.47707	-4.50820	0.000969	0.064096	6.6942	0.000000	5.0927	0.000000
	1148	0.01660	-4.09835	-3.92103	0.031443	0.100366	3.4962	0.000236	2.2164	0.013333
	528	0.01190	-4.43122	-4.82437	0.154570	0.044566	9.5258	0.000000	7.6051	0.000000
	1250	0.04160	-3.17966	-3.77242	0.351367	0.109546	2.8975	0.001881	1.6724	0.047218
	1568	0.04090	-3.19663	-3.30909	0.012649	0.138166	1.3335	0.091180	0.2427	0.404117
	828	0.01370	-4.29036	-4.38727	0.009392	0.071566	5.8832	0.000000	4.3675	0.000006
	1237	0.02773	-3.58512	-3.79136	0.042534	0.108376	2.9706	0.001486	1.7390	0.041019
2	406	0.00737	-4.91079	-5.00213	0.008342	0.033586	11.9429	0.000000	9.7304	0.000000
	607	0.01043	-4.56275	-4.70927	0.021468	0.051676	8.3399	0.000000	6.5563	0.000000
	703	0.01570	-4.15409	-4.56940	0.172475	0.060316	7.1500	0.000000	5.4990	0.000000
	541	0.00737	-4.91079	-4.80543	0.011101	0.045736	9.3146	0.000000	7.4187	0.000000
	468	0.00747	-4.89731	-4.91179	0.000210	0.039166	10.6030	0.000000	8.5542	0.000000
	427	0.00547	-5.20909	-4.97153	0.056434	0.035476	11.4580	0.000000	9.3053	0.000000
	518	0.00597	-5.12157	-4.83894	0.079877	0.043666	9.6932	0.000000	7.7528	0.000000
3	571	0.00613	-5.09402	-4.76172	0.110421	0.048436	8.8527	0.000000	7.0103	0.000000
	732	0.00873	-4.74061	-4.52714	0.045567	0.062926	6.8317	0.000000	5.2153	0.000000
	934	0.02277	-3.78246	-4.23283	0.202834	0.081106	4.9841	0.000000	3.5603	0.000185
	429	0.00583	-5.14417	-4.96861	0.030819	0.035656	11.4136	0.000000	9.2663	0.000000
4	1449	0.01983	-3.92039	-3.48247	0.191772	0.127456	1.8741	0.030460	0.7383	0.230151
	594	0.00753	-4.88842	-4.72821	0.025667	0.050506	8.5202	0.000000	6.7160	0.000000
	1284	0.02823	-3.56725	-3.72288	0.024220	0.112606	2.7102	0.003362	1.5019	0.066556
	514	0.00780	-4.85363	-4.84477	0.000079	0.043306	9.7614	0.000000	7.8130	0.000000
	1134	0.01760	-4.03986	-3.94143	0.009688	0.099106	3.5832	0.000170	2.2952	0.010861
	1383	0.01737	-4.05320	-3.57864	0.225213	0.121516	2.1952	0.014075	1.0320	0.151027
5	983	0.01100	-4.50986	-4.16144	0.121399	0.085516	4.6097	0.000002	3.2232	0.000634
	979	0.01917	-3.95458	-4.16726	0.045233	0.085156	4.6394	0.000002	3.2500	0.000577
	408	0.00833	-4.78749	-4.99921	0.044825	0.033766	11.8952	0.000000	9.6886	0.000000
	438	0.00680	-4.99083	-4.95550	0.001248	0.036466	11.2174	0.000000	9.0941	0.000000
	817	0.01160	-4.45675	-4.40330	0.002857	0.070576	5.9846	0.000000	4.4584	0.000004

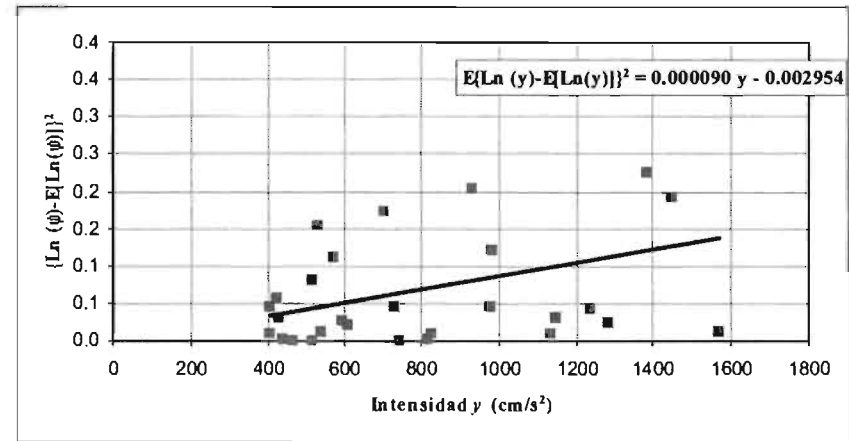
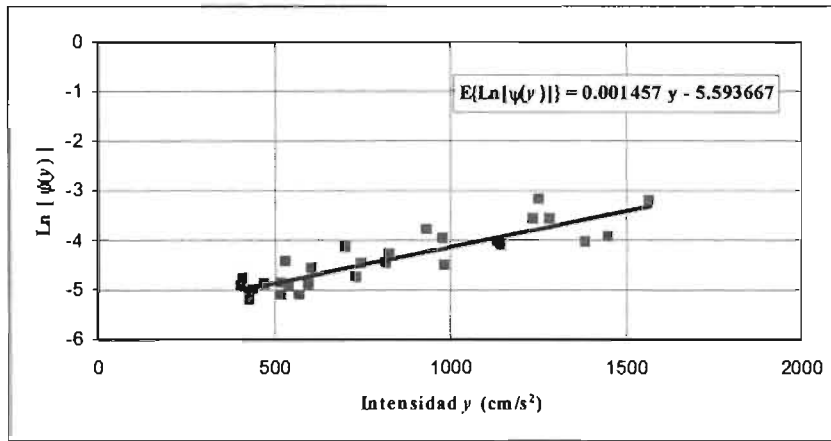


Figura E.2 Curvas de las expresiones (Ecs. 8.12-8.14) empleadas en el cálculo del índice de confiabilidad del marco  $d$  con daño inicial cero antes de cada sismo.

Tabla E.4 Distorsiones máximas y probabilidad de colapso para el Marco  $f$  con daño inicial cero antes de cada temblor.

Historia	$y$ (cm/s <sup>2</sup> )	$\psi(y)$	$\ln \psi(y)$	$E[\ln \psi(y)]$	$[\ln E[\ln]]^2$	$\text{Var}[\ln \psi(y)]$	$\beta(y) \{ \psi_c = 0.06 \}$	$p_c \{ \psi_c = 0.06 \}$	$\beta(y) \{ \psi_c = 0.04 \}$	$p_c \{ \psi_c = 0.04 \}$
1	745	0.01217	-4.40906	-4.47816	0.004776	0.069979	6.2931	0.000000	4.7604	0.000001
	1148	0.02057	-3.88408	-3.85593	0.000793	0.091338	3.4495	0.000281	2.1079	0.017520
	528	0.01380	-4.28309	-4.81321	0.281030	0.058478	8.2697	0.000000	6.5930	0.000000
	1250	0.04230	-3.16297	-3.69844	0.286731	0.096744	2.8454	0.002218	1.5418	0.061558
	1568	0.04143	-3.18367	-3.20745	0.000565	0.113598	1.1691	0.121181	-0.0339	0.513523
	828	0.01547	-4.16907	-4.35001	0.032740	0.074378	5.6343	0.000000	4.1475	0.000017
	1237	0.02750	-3.59357	-3.71851	0.015611	0.096055	2.9204	0.001748	1.6121	0.053469
2	406	0.00667	-5.01064	-5.00158	0.000082	0.052012	9.5946	0.000000	7.8168	0.000000
	607	0.01077	-4.53130	-4.69123	0.025578	0.062665	7.5014	0.000000	5.8817	0.000000
	703	0.01520	-4.18646	-4.54301	0.127127	0.067753	6.6448	0.000000	5.0871	0.000000
	541	0.00580	-5.14990	-4.79314	0.127278	0.059167	8.1389	0.000000	6.4720	0.000000
	468	0.00737	-4.91079	-4.90585	0.000024	0.055298	8.8981	0.000000	7.1739	0.000000
	427	0.00487	-5.32535	-4.96915	0.126873	0.053125	9.3529	0.000000	7.5938	0.000000
	518	0.00597	-5.12157	-4.82865	0.085801	0.057948	8.3716	0.000000	6.6872	0.000000
3	571	0.00647	-5.04109	-4.74682	0.086599	0.060757	7.8438	0.000000	6.1988	0.000000
	732	0.00917	-4.69218	-4.49823	0.037616	0.06929	6.4006	0.000000	4.8602	0.000001
	934	0.02410	-3.72554	-4.18635	0.212338	0.079996	4.8542	0.000001	3.4206	0.000312
	429	0.00630	-5.06721	-4.96607	0.010229	0.053231	9.3302	0.000000	7.5728	0.000000
4	1449	0.02053	-3.88571	-3.39119	0.244551	0.107291	1.7639	0.038873	0.5260	0.299427
	594	0.00773	-4.86222	-4.71131	0.022774	0.061976	7.6236	0.000000	5.9949	0.000000
	1284	0.02920	-3.53359	-3.64595	0.012624	0.098546	2.6521	0.004000	1.3604	0.086846
	514	0.00813	-4.81178	-4.83483	0.000531	0.057736	8.4126	0.000000	6.7252	0.000000
	1134	0.01980	-3.92207	-3.87755	0.001983	0.090596	3.5354	0.000204	2.1883	0.014323
	1383	0.01930	-3.94765	-3.49309	0.206626	0.103793	2.1097	0.017442	0.8511	0.197344
5	983	0.01300	-4.34281	-4.11069	0.053878	0.082593	4.5140	0.000003	3.1031	0.000957
	979	0.02137	-3.84592	-4.11687	0.073409	0.082381	4.5413	0.000003	3.1287	0.000878
	408	0.00860	-4.75599	-4.99849	0.058804	0.052118	9.5713	0.000000	7.7953	0.000000
	438	0.00667	-5.01064	-4.95217	0.003418	0.053708	9.2287	0.000000	7.4792	0.000000
	817	0.01233	-4.39545	-4.36699	0.000810	0.073795	5.7190	0.000000	4.2264	0.000012

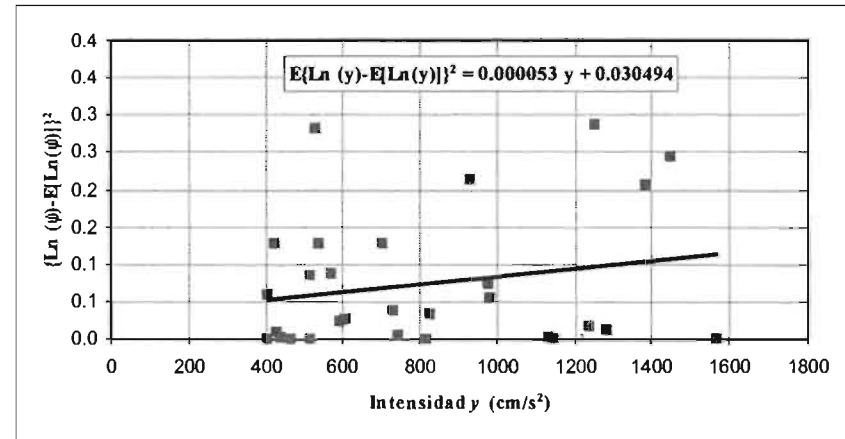
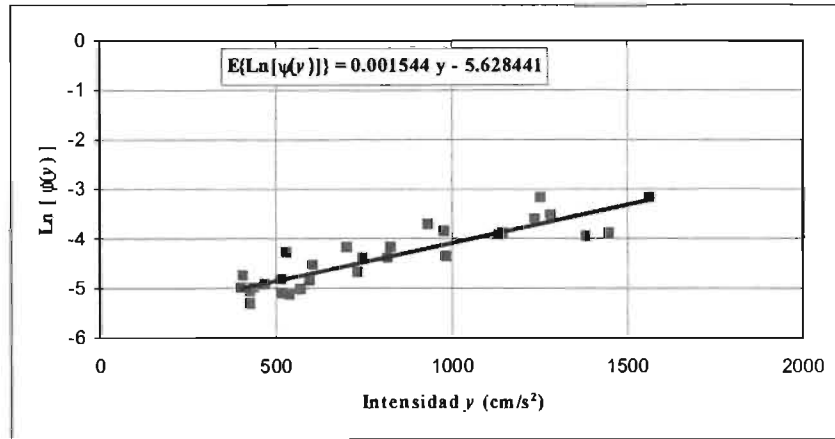


Figura E.3 Curvas de las expresiones (Ecs. 8.12-8.14) empleadas en el cálculo del índice de confiabilidad del marco  $f$  con daño inicial cero antes de cada sismo.

Tabla E.5 Distorsiones máximas y probabilidad de colapso para el Marco  $i$  con daño inicial cero antes de cada temblor.

Historia	$y$ (cm/s <sup>2</sup> )	$\psi(y)$	$\text{Ln } \psi(y)$	$E[\text{Ln } \psi(y)]$	$[\text{Ln}-E[\text{Ln}]]^2$	$\text{Var}[\text{Ln } \psi(y)]$	$\beta(y) \{ \psi_c = 0.06 \}$	$p_c \{ \psi_c = 0.06 \}$	$\beta(y) \{ \psi_c = 0.04 \}$	$p_c \{ \psi_c = 0.04 \}$
1	745	0.01460	-4.22673	-4.23004	0.000011	0.073302	5.2324	0.000000	3.7348	0.000094
	1148	0.02123	-3.85218	-3.68115	0.029252	0.105542	2.6710	0.003781	1.4229	0.077377
	528	0.01490	-4.20639	-4.52559	0.101886	0.055942	7.2390	0.000000	5.5247	0.000000
	1250	0.04580	-3.08347	-3.54223	0.210456	0.113702	2.1614	0.015333	0.9589	0.168796
	1568	0.04230	-3.16297	-3.10911	0.002901	0.139142	0.7927	0.213970	-0.2943	0.615722
	828	0.02217	-3.80917	-4.11699	0.094756	0.079942	4.6105	0.000002	3.1765	0.000745
	1237	0.03007	-3.50434	-3.55993	0.003091	0.112662	2.2241	0.013071	1.0161	0.154790
2	406	0.00977	-4.62878	-4.69175	0.003966	0.046182	8.7405	0.000000	6.8538	0.000000
	607	0.01040	-4.56595	-4.41799	0.021891	0.062262	6.4306	0.000000	4.8056	0.000001
	703	0.01787	-4.02482	-4.28724	0.068865	0.069942	5.5729	0.000000	4.0397	0.000027
	541	0.00997	-4.60851	-4.50788	0.010125	0.056982	7.0985	0.000000	5.3999	0.000000
	468	0.00927	-4.68133	-4.60731	0.005479	0.051142	7.9325	0.000000	6.1395	0.000000
	427	0.00827	-4.79552	-4.66315	0.017522	0.047862	8.4550	0.000000	6.6017	0.000000
	518	0.00940	-4.66705	-4.53921	0.016342	0.055142	7.3494	0.000000	5.6227	0.000000
3	571	0.01040	-4.56595	-4.46702	0.009786	0.059382	6.7859	0.000000	5.1220	0.000000
	732	0.01137	-4.47707	-4.24774	0.052591	0.072262	5.3357	0.000000	3.8274	0.000065
	934	0.03087	-3.47808	-3.97262	0.244569	0.088422	3.8984	0.000048	2.5348	0.005626
	429	0.00833	-4.78749	-4.66043	0.016145	0.048022	8.4285	0.000000	6.5782	0.000000
4	1449	0.02740	-3.59721	-3.27119	0.106292	0.129622	1.2715	0.101776	0.1453	0.442237
	594	0.01053	-4.55321	-4.43570	0.013809	0.061222	6.5565	0.000000	4.9178	0.000000
	1284	0.03697	-3.29774	-3.49592	0.039275	0.116422	2.0003	0.022735	0.8119	0.208411
	514	0.01027	-4.57885	-4.54466	0.001169	0.054822	7.3940	0.000000	5.6623	0.000000
	1134	0.02577	-3.65867	-3.70022	0.001726	0.104422	2.7443	0.003032	1.4896	0.068170
	1383	0.02210	-3.81218	-3.36108	0.203489	0.124342	1.5531	0.060195	0.4033	0.343372
5	983	0.01483	-4.21088	-3.90588	0.093024	0.092342	3.5951	0.000162	2.2608	0.011886
	979	0.02800	-3.57555	-3.91133	0.112746	0.092022	3.6193	0.000148	2.2827	0.011225
	408	0.01007	-4.59853	-4.68903	0.008191	0.046342	8.7128	0.000000	6.8293	0.000000
	438	0.00850	-4.76769	-4.64817	0.014285	0.048742	8.3105	0.000000	6.4740	0.000000
	817	0.01567	-4.15622	-4.13197	0.000588	0.079062	4.6894	0.000001	3.2474	0.000582



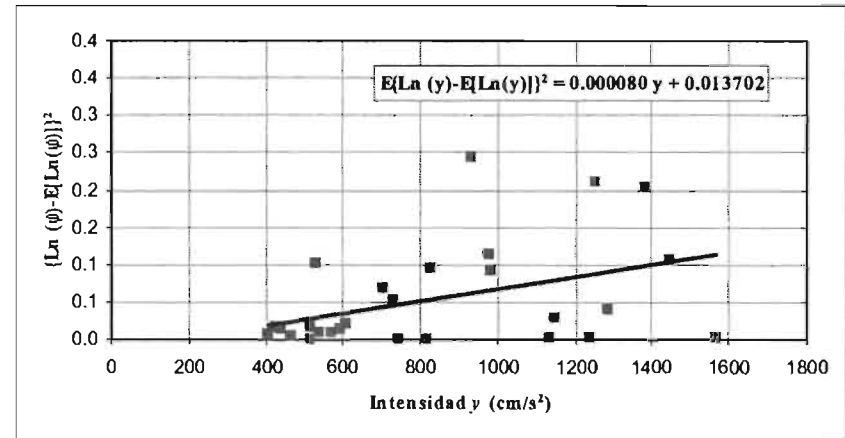
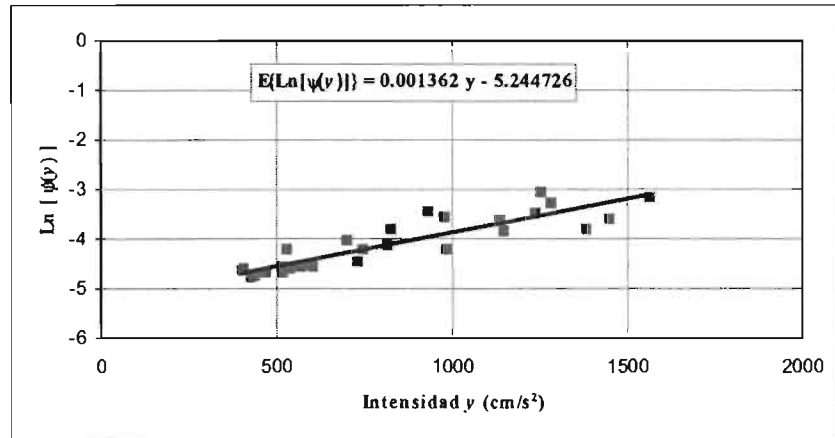


Figura E.4 Curvas de las expresiones (Ecs. 8.12-8.14) empleadas en el cálculo del índice de confiabilidad del marco  $i$  con daño inicial cero antes de cada sismo.

Tabla E.6 Índice de confiabilidad y probabilidad de falla del marco  $\alpha$  con daño inicial distinto de cero dependiendo si hay reparación o no, para la distorsión de colapso de 0.04 ( $\psi_c=0.04$  y  $\Delta_t$ ).

Historia de temblores	$\beta(y)$	$\alpha(y)$ inicial	$\Delta_t$	Tienen en cuenta el daño inicial antes del temblor		
				$\beta_{\Delta t}(y)$	$p_{c1}$	$1-p_{c1}$
1	4.7167	0	0.000000	4.7167	1.19974E-06	9.99999E-01
	1.6563	0	0.000000	1.6563	4.88338E-02	9.51166E-01
	8.8172	0	0.000000	8.8172	0.00000E+00	1.00000E+00
	1.1598	0.145041	0.051015	1.1007	1.35522E-01	8.64478E-01
	-0.0770	0	0.000000	-0.0770	5.30679E-01	4.69321E-01
	3.8502	0	0.000000	3.8502	5.90412E-05	9.99941E-01
	1.2197	0	0.000000	1.2197	1.11297E-01	8.88703E-01
2	16.7785	0	0.000000	16.7785	0.00000E+00	1.00000E+00
	6.8168	0.06838	0.011493	6.7385	8.04756E-12	1.00000E+00
	5.2446	0.12513	0.038139	5.0446	2.27602E-07	1.00000E+00
	8.4164	0	0.000000	8.4164	0.00000E+00	1.00000E+00
	11.3353	0.07597	0.014174	11.1746	0.00000E+00	1.00000E+00
	14.3085	0.08945	0.019615	14.0278	0.00000E+00	1.00000E+00
	9.1525	0.08945	0.019615	8.9729	0.00000E+00	1.00000E+00
3	7.6130	0	0.000000	7.6130	1.35447E-14	1.00000E+00
	4.8725	0.05522	0.007505	4.8359	6.63639E-07	9.99999E-01
	2.9733	0.06316	0.009811	2.9441	1.61953E-03	9.98380E-01
	14.1190	0	0.000000	14.1190	0.00000E+00	1.00000E+00
4	0.3424	0	0.000000	0.3424	3.66019E-01	6.33981E-01
	7.0869	0.00000	0.000000	7.0869	6.90559E-13	1.00000E+00
	1.0076	0.05640	0.007828	0.9997	1.58729E-01	8.41271E-01
	9.2939	0	0.000000	9.2939	0.00000E+00	1.00000E+00
	1.7297	0.06316	0.009811	1.7127	4.33796E-02	9.56620E-01
	0.5953	0.00000	0.000000	0.5953	2.75835E-01	7.24165E-01
5	2.6284	0	0.000000	2.6284	4.28917E-03	9.95711E-01
	2.6554	0.12229	0.036445	2.5586	5.25426E-03	9.94746E-01
	16.4958	0.00000	0.000000	16.4958	0.00000E+00	1.00000E+00
	13.3372	0.0650896	0.010417	13.1982	0.00000E+00	1.00000E+00
	3.9542	0.06509	0.010417	3.9130	4.56034E-05	9.99954E-01

Tabla E.7 Índice de confiabilidad y probabilidad de falla del marco  $d$  con daño inicial distinto de cero dependiendo si hay reparación o no, para la distorsión de colapso de 0.04 ( $\psi_c=0.04$  y  $\Delta_i$ ).

Historia de temblores	$\beta(y)$	$\delta y$ inicial	$\Delta_i$	Tienen en cuenta el daño inicial antes del temblor		
				$\beta_{\Delta_i}(y)$	$p_{CI}$	$1-p_{CI}$
1	5.0927	0	0.000000	5.0927	1.76813E-07	1.00000E+00
	2.2164	0.10686	0.027913	2.1545	1.56007E-02	9.84399E-01
	7.6051	0.00000	0.000000	7.6051	1.43219E-14	1.00000E+00
	1.6724	0.121345	0.035894	1.6124	5.34359E-02	9.46564E-01
	0.2427	0.00000	0.000000	0.2427	4.04117E-01	5.95883E-01
	4.3675	0.00000	0.000000	4.3675	6.28775E-06	9.99994E-01
	1.7390	0.17792	0.076092	1.6067	5.40644E-02	9.45936E-01
2	9.7304	0	0.000000	9.7304	0.00000E+00	1.00000E+00
	6.5563	0.03099	0.002368	6.5407	3.07638E-11	1.00000E+00
	5.4990	0.09183	0.020663	5.3854	3.62255E-08	1.00000E+00
	7.4187	0	0.000000	7.4187	5.96190E-14	1.00000E+00
	8.5542	0.03099	0.002368	8.5340	0.00000E+00	1.00000E+00
	9.3053	0.03612	0.003216	9.2753	0.00000E+00	1.00000E+00
	7.7528	0.03612	0.003216	7.7279	5.55112E-15	1.00000E+00
3	7.0103	0	0.000000	7.0103	1.19660E-12	1.00000E+00
	5.2153	0.01818	0.000815	5.2111	9.40572E-08	1.00000E+00
	3.5603	0.05010	0.006181	3.5383	2.01374E-04	9.99799E-01
	9.2663	0	0.000000	9.2663	0.00000E+00	1.00000E+00
4	0.7383	0	0.000000	0.7383	2.30151E-01	7.69849E-01
	6.7160	0.00000	0.000000	6.7160	9.38816E-12	1.00000E+00
	1.5019	0.03307	0.002696	1.4979	6.70809E-02	9.32919E-01
	7.8130	0	0.000000	7.8130	2.77556E-15	1.00000E+00
	2.2952	0.03657	0.003297	2.2876	1.10795E-02	9.88920E-01
	1.0320	0.00000	0.000000	1.0320	1.51027E-01	8.48973E-01
5	3.2232	0	0.000000	3.2232	6.33928E-04	9.99366E-01
	3.2500	0.09752	0.023281	3.1743	7.51054E-04	9.99249E-01
	9.6886	0.00000	0.000000	9.6886	0.00000E+00	1.00000E+00
	9.0941	0.044268	0.004827	9.0502	0.00000E+00	1.00000E+00
	4.4584	0.04427	0.004827	4.4369	4.56778E-06	9.99995E-01

Tabla E.8 Índice de confiabilidad y probabilidad de falla del marco  $f$  con daño inicial distinto de cero dependiendo si hay reparación o no, para la distorsión de colapso de 0.04 ( $\psi_c=0.04$  y  $\Delta_I$ ).

Historia de temblores	$\beta(y)$	$\delta(y)$ inicial	$\Delta_I$	Tienen en cuenta el daño inicial antes del temblor		
				$\beta_{\Delta I}(y)$	$p_{CI}$	$1-p_{CI}$
1	4.7604	0	0.000000	4.7604	9.67414E-07	9.99999E-01
	2.1079	0.12898	0.040490	2.0226	2.15597E-02	9.78440E-01
	6.5930	0.00000	0.000000	6.5930	2.16640E-11	1.00000E+00
	1.5418	0.181399	0.079018	1.4200	7.78046E-02	9.22195E-01
	-0.0339	0.00000	0.000000	-0.0339	5.13523E-01	4.86477E-01
	4.1475	0.00000	0.000000	4.1475	1.68125E-05	9.99983E-01
	1.6121	0.00000	0.000000	1.6121	5.34690E-02	9.46531E-01
2	7.8168	0	0.000000	7.8168	2.77556E-15	1.00000E+00
	5.8817	0.02319	0.001326	5.8739	2.13565E-09	1.00000E+00
	5.0871	0.09024	0.019959	4.9855	3.09441E-07	1.00000E+00
	6.4720	0	0.000000	6.4720	4.85986E-11	1.00000E+00
	7.1739	0.01544	0.000588	7.1696	3.78586E-13	1.00000E+00
	7.5938	0.02939	0.002130	7.5776	1.77636E-14	1.00000E+00
	6.6872	0.02939	0.002130	6.6730	1.26020E-11	1.00000E+00
3	6.1988	0	0.000000	6.1988	2.85618E-10	1.00000E+00
	4.8602	0.02122	0.001110	4.8548	6.03274E-07	9.99999E-01
	3.4206	0.06127	0.009234	3.3890	3.50769E-04	9.99649E-01
	7.5728	0	0.000000	7.5728	1.84297E-14	1.00000E+00
4	0.5260	0	0.000000	0.5260	2.99427E-01	7.00573E-01
	5.9949	0.00000	0.000000	5.9949	1.02169E-09	1.00000E+00
	1.3604	0.03568	0.003137	1.3562	8.75227E-02	9.12477E-01
	6.7252	0	0.000000	6.7252	8.81750E-12	1.00000E+00
	2.1883	0.04127	0.004197	2.1791	1.46604E-02	9.85340E-01
	0.8511	0.00000	0.000000	0.8511	1.97344E-01	8.02656E-01
5	3.1031	0	0.000000	3.1031	9.57442E-04	9.99043E-01
	3.1287	0.15453	0.057771	2.9479	1.59973E-03	9.98400E-01
	7.7953	0.00000	0.000000	7.7953	3.21965E-15	1.00000E+00
	7.4792	0.154529	0.057771	7.0471	9.19709E-13	1.00000E+00
	4.2264	0.04847	0.005785	4.2020	1.32383E-05	9.99987E-01

Tabla E.9 Índice de confiabilidad y probabilidad de falla del marco  $i$  con daño inicial distinto de cero dependiendo si hay reparación o no, para la distorsión de colapso de 0.04 ( $\psi_c=0.04$  y  $\Delta_i$ ).

Historia de temblores	$\beta(y)$	$\delta(y)$ inicial	$\Delta_i$	Tienen en cuenta el daño inicial antes del temblor		
				$\beta_{\Delta i}(y)$	$p_{c1}$	$1-p_{c1}$
1	3.7348	0	0.000000	3.7348	9.39775E-05	9.99906E-01
	1.4229	0.00000	0.000000	1.4229	7.73766E-02	9.22623E-01
	5.5247	0.00000	0.000000	5.5247	1.65405E-08	1.00000E+00
	0.9589	0	0.000000	0.9589	1.68796E-01	8.31204E-01
	-0.2943	0.00000	0.000000	-0.2943	6.15722E-01	3.84278E-01
	3.1765	0.00000	0.000000	3.1765	7.45475E-04	9.99255E-01
	1.0161	0.00000	0.000000	1.0161	1.54790E-01	8.45210E-01
2	6.8538	0	0.000000	6.8538	3.61766E-12	1.00000E+00
	4.8056	0.06973	0.011948	4.7482	1.02739E-06	9.99999E-01
	4.0397	0.10002	0.024480	3.9408	4.06189E-05	9.99959E-01
	5.3999	0	0.000000	5.3999	3.34122E-08	1.00000E+00
	6.1395	0.07385	0.013398	6.0573	6.94745E-10	1.00000E+00
	6.6017	0.07456	0.013653	6.5116	3.73733E-11	1.00000E+00
	5.6227	0.07456	0.013653	5.5459	1.46593E-08	1.00000E+00
3	5.1220	0	0.000000	5.1220	1.51432E-07	1.00000E+00
	3.8274	0.08330	0.017023	3.7622	8.42241E-05	9.99916E-01
	2.5348	0.11579	0.032718	2.4519	7.10599E-03	9.92894E-01
	6.5782	0	0.000000	6.5782	2.39240E-11	1.00000E+00
4	0.1453	0	0.000000	0.1453	4.42237E-01	5.57763E-01
	4.9178	0.00000	0.000000	4.9178	4.38186E-07	1.00000E+00
	0.8119	0.08634	0.018283	0.7971	2.12695E-01	7.87305E-01
	5.6623	0	0.000000	5.6623	7.48774E-09	1.00000E+00
	1.4896	0.08032	0.015834	1.4660	7.13277E-02	9.28672E-01
	0.4033	0.00000	0.000000	0.4033	3.43372E-01	6.56628E-01
5	2.2608	0	0.000000	2.2608	1.18862E-02	9.88114E-01
	2.2827	0.00000	0.000000	2.2827	1.12247E-02	9.88775E-01
	6.8293	0.00000	0.000000	6.8293	4.29212E-12	1.00000E+00
	6.4740	0.0759732	0.014174	6.3822	8.76839E-11	1.00000E+00
	3.2474	0.07597	0.014174	3.2013	6.83996E-04	9.99316E-01