

## ESTRUCTURAS PARA SOPORTE Y SERVICIO DE EQUIPO

Fernando Rozado Pérez (I)

### RESUMEN

El propósito del artículo es presentar algunas particularidades frecuentes en estructuras industriales, desde el punto de vista del ingeniero civil.

Se muestran soluciones típicas en diferentes tipos de plantas industriales, se enuncian algunas características relevantes de estas instalaciones y se sugieren ciertos conceptos para su normalización.

Finalmente, se esbozan algunas reflexiones sobre los temas tratados y se mencionan algunos de los temas que requieren solución.

(I) FERMA, Ingenieros Consultores, S.A.

## I.- ELEMENTOS DE UNA PLANTA INDUSTRIAL

### A.- Conceptos generales.

Toda planta industrial presenta el siguiente modelo básico:

Fig.1.

Dependiendo del tipo de planta y de su tamaño, cada bloque de la figura 1 puede comprender algunas o todas las siguientes áreas:

Bloque A: Servicios generales a la planta.

- a.- camino de acceso
- b.- espuela de ferrocarril
- c.- obra de toma
- d.- obra de descarga
- e.- caseta de entrada
- f.- areas pavimentadas
- g.- sistemas de drenaje
- h.- líneas enterradas

Bloque B: Recepción y almacén de materia prima.

- a.- báscula de camiones
- b.- báscula de ferrocarril
- c.- casetas de básculas
- d.- descargaderas de camiones
- e.- descargaderas de ferrocarril
- f.- patios de almacenamiento de materia prima
- g.- bodegas de materia prima
- h.- tolvas, silos, tanques de almacenamiento
- i.- sistema de transportadores

Bloque C: Areas de proceso.

- a.- preparación de materia prima
- b.- distribución de materia prima
- c.- manufactura del producto
- d.- acabado del producto
- e.- empaçado y envasado del producto

Bloque D: Almacén de producto terminado.

- a.- patios de almacenamiento de producto terminado
- b.- bodegas de producto terminado
- c.- tolvas, silos, tanques de almacenamiento
- d.- sistema de transportadores

Bloque E: Servicios a la producción.

- a.- almacén de refacciones
- b.- taller de mantenimiento
- c.- laboratorio
- d.- casa de fuerza
- e.- area de combustible
- f.- subestación
- g.- cisterna
- h.- planta de tratamiento de desperdicios
- i.- planta de tratamiento de agua
- j.- torre de enfriamiento
- k.- sistema contra incendio
- l.- soportes de tubería
- m.- tiraderos

Bloque F: Servicios al personal.

- a.- oficinas
- b.- baños y vestidores
- c.- comedor
- d.- zona habitacional
- e.- clínica
- f.- central radiotelefónica
- g.- central de bomberos
- h.- areas verdes

#### B.- Equipo

Una de las características de toda planta industrial es la presencia de gran cantidad y variedad de equipo. Dicho equipo debe ser recibido en una estructura o en una cimentación.

Por cuanto a la complejidad del diseño civil, las cimentaciones de equipo pueden dividirse en cimentaciones bajo equipo estático y bajo equipo dinámico. La dinámica de los equipos cubre toda - la gama de posibilidades: rotatorio, reciprocante, de impacto.

Una breve lista de los posibles equipos sería la siguiente:

- a.- agitadores
- b.- básculas
- c.- bombas
- d.- calderas
- e.- columnas de proceso
- f.- compresores
- g.- cuchillas
- h.- cambiadores
- i.- desareadores
- j.- desobrecalentadores
- k.- evaporadores
- l.- eyectores
- m.- filtros
- n.- hornos
- o.- intercambiadores
- p.- máquina de papel
- q.- prensas
- r.- quebradoras
- s.- recipientes verticales y horizontales
- t.- reactores
- u.- turbos(generator, compresor, ventilador )
- v.- torres de enfriamiento
- x.- transportadores
- y.- ventiladores
- z.- etc.

### C.- Proyecto de una planta industrial.

Las etapas fundamentales del proyecto de una planta son:

1.- Ingeniería conceptual que representa la obtención de la información para los estudios de viabilidad. Incluye también, la elaboración de arreglos generales y el establecimiento de un orden de magnitud del costo de la planta.

2.- Ingeniería básica, que logra los arreglos y diagramas - que definen plenamente el proyecto. Su alcance incluye:

- a.- bases de diseño
- b.- descripción del proceso
- c.- diagramas de flujo
- d.- diagramas de control y de fuerza
- e.- arreglos generales
- f.- lista de equipo y motores principales, incluyendo sus especificaciones
- g.- lista de servicios
- h.- presupuesto desglosado

3.- Ingeniería de detalle, la cual genera toda la información que permite la construcción e instalación de edificios, equipos y - servicios, es decir planos constructivos y especificaciones de construcción.

Las empresas dedicadas al proyecto de plantas industriales son empresas de servicio, que manejan y transforman información entre - las diferentes disciplinas. La ingeniería civil es la primera en salir al campo, sin contar con suficiente información para ello. Frecuentemente, la ingeniería civil se realiza con información preliminar e incompleta.

El propósito básico de las obras civiles en una planta industrial es soportar y/o resguardar equipo y materiales.

La participación de la ingeniería civil de detalle en un proyecto industrial varía entre el 15 y el 60% de la ingeniería total, dependiendo del tipo de planta.

Por otro lado, el costo de la obra civil varía entre el 10 y el 30% del costo total de la planta.

## II.- ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS INDUSTRIALES

### A.- Introducción.

Durante los últimos 19 años hemos participado en más de 300 proyectos de plantas industriales, entre ellas:

- 1.- papeleras
- 2.- ingenios azucareros
- 3.- químicas
- 4.- petroquímicas ( básicas y secundarias )
- 5.- petroleras:
  - a.- plantas
  - b.- integraciones
- 6.- cerveceras
- 7.- malterías
- 8.- de fuerza
- 9.- mineras
- 10.- metalúrgicas
- 11.- manufactureras
- 12.- portuarias
- 13.- otras

En el desarrollo de estos proyectos, inicialmente se partió de la adaptación de los diferentes códigos y reglamentos urbanos ( nacionales y extranjeros ), a falta de lineamientos específicos aplicables a este tipo de estructuras. Poco a poco se fueron formulando y aplicando ciertos criterios especiales, hasta ahora no reglamentados.

El diseño de elementos estructurales, en acero o concreto, no plantea diferencias importantes cuando se aplica a obras urbanas o industriales. La diferencia fundamental se presenta en las consideraciones de análisis, sobre todo sísmico, que requiere este tipo de instalaciones. La gama de estructuraciones que presentan las plantas industriales en sus distintas áreas y su desviación con respecto a modelos convencionales ( urbanos ), impone una serie de complicaciones en el análisis sísmico de estos sistemas.

También incide en este tipo de particularidades el aspecto cualitativo y cuantitativo de las cargas y sus combinaciones ( con sus coeficientes de combinación ) a considerar en el análisis. En

este sentido resalta el monto de las cargas variables que debe utilizarse en el análisis sísmico.

Cabe mencionar, como ejemplo, el haberse utilizado en el análisis de cierto edificio industrial 12 condiciones de carga y 25 - combinaciones.

Otro aspecto que presenta el proyecto de estructuras industriales es que, en ocasiones, al considerar el costo de la estructura y el costo de la ingeniería que debiera aplicarse, resulta altamente conflictiva la relación con respecto a todo enfoque arancelario conocido. Ello, y algunas otras razones, obliga en ocasiones a utilizar simplificaciones técnicamente inconvenientes y poco convincentes.

#### B.- Ejemplos de estructuración.

En las figuras 2 a 3 se presentan algunos ejemplos de soluciones adoptadas en diferentes plantas industriales de las mencionadas en el capítulo anterior.

Sugiero observar:

- 1.- irregularidades geométricas y estructurales en planta y elevación.
- 2.- presencia o ausencia de diafragmas rígidos o flexibles y discontinuidades en los pisos de operación.

Lamentablemente no contamos con arreglos de equipo en los niveles de operación que permitan observar la distribución de masas y su variación con la altura de la estructura.

### III.- CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS INDUSTRIALES

#### A.- Descripción general.

De los ejemplos presentados en el capítulo anterior se observa que, a diferencia de las estructuras urbanas, en las estructuras industriales predominan las "irregularidades" que limitan la aplicación de los métodos simplificados de análisis.

A modo enunciativo, pero no limitativo, dichas irregularidades son:

- 1.- estructuración no uniforme en planta e irregularidades en las secciones estructurales.
- 2.- estructuración no uniforme en elevación: falta de algunos niveles en ciertas crujías, diferencias en alturas de entrepisos, etc.
- 3.- distribución no uniforme de masas en los pisos y en elevación.
- 4.- distribución no uniforme de rigideces horizontales en los entrepisos.
- 5.- variación brusca de rigideces horizontales en elevación, - debida a:
  - a.- presencia irregular de contraventeo vertical o muros.
  - b.- cambio en la posición del sistema de contraventeo vertical de entrepiso a entrepiso.
  - c.- cambio en la rigidez ( por geometría o sección ) del sistema de contraventeo vertical.
  - d.- rigidez horizontal " no infinita" de los pisos de operación.
  - e.- discontinuidades importantes ( huecos ) en los pisos de operación.
  - f.- cambios fuertes en la relación masa/ rigidez de entrepiso de nivel a nivel.

La presencia de estas irregularidades obedece a necesidades - del proceso y a los arreglos de equipo que de ello resultan, por lo que es imposible evitarlas, aunque podrían reducirse.



## B.- Resultados de un estudio paramétrico.

Una de las particularidades de las estructuras industriales es la presencia de grandes concentraciones de carga ( masa ), lo cual limita la aplicación de métodos simplificados de análisis bajo carga horizontal.

El estudio paramétrico realizado se limitó al análisis de modelos discretos de dos a cinco masas, consideradas con dos grados de libertad cada una ( lineal y cabeceo ). En cada caso se mantuvo constante la rigidez lineal de todos los entrepisos (  $K_L = 5000 \text{ T/M}$  ) y la rigidez de cabeceo (  $K_{\phi} = 400000 \text{ T.M/RAD}$  ) y se hizo variar una de las masas con relación a las demás en un rango de 0.1 a 10.

Cada modelo se analizó utilizando los métodos estático y dinámico, referidos en el Reglamento de Construcciones para el D.F., en los artículos 240 y 241, respectivamente.

En la tabla 1 se presentan los resultados como la relación entre el cortante obtenido por el método dinámico (  $V_D$  ) y el cortante obtenido por el método estático (  $V_E$  ), para los casos cubiertos.

De la tabla 1 se deduce lo siguiente:

- 1.- La relación promedio  $V_D/V_E$  para el caso de todas las masas iguales es la siguiente:
  - a.- 0.52 para el sistema con dos masas.
  - b.- 0.63 para el sistema con tres masas.
  - c.- 0.73 para el sistema con cuatro masas.
  - d.- 0.78 para el sistema con cinco masas.
- 2.- La relación entre  $V_D / V_E$  del caso de masa uniforme ( $M_1/M=1$ ) y  $V_D / V_E$  de los demás casos, para  $M_1/M = 0.1$  es:
  - a.- 1.00 - 0.60 para el sistema con dos masas.
  - b.- 0.89 - 0.67 para el sistema con tres masas.
  - c.- 0.97 - 0.81 para el sistema con cuatro masas.
  - d.- 1.07 - 0.88 para el sistema con cinco masas.
- 3.- La misma relación, para  $M_1/M = 10$  es:
  - a.- 1.86 - 0.98 para el sistema con dos masas.
  - b.- 2.30 - 1.03 para el sistema con tres masas.
  - c.- 2.27 - 1.03 para el sistema con cuatro masas.
  - d.- 2.22 - 0.95 para el sistema con cinco masas.

La diferencia mayor se presenta cuando la masa más grande se localiza en el primer nivel.

Estas diferencias son mayores en el entrepiso más alto que en el primer entrepiso.

4.- En todos los casos analizados, los factores de participación más altos corresponden al primer modo, aunque en varios casos la participación del segundo modo representó más del 50% de la participación del primer modo.

5.- Cuando la masa más grande se localiza en el último nivel, las relaciones  $V_D / V_E$  se aproximan al caso de masa uniforme.

En conclusión, los resultados anteriores permiten establecer relaciones aproximadas entre  $V_D / V_E$ , conocida la relación  $M_1/M$  y el modelo discreto. Además, un diseño preliminar sería suficiente para elegir el método de análisis y conocer, en forma aproximada, la diferencia en las respuestas entre un método y otro.

#### C.- Rigidez de pisos.

En los edificios industriales los pisos de operación no siempre son rígidos en su plano, ni tampoco continuos. Un ejemplo son los pisos de rejilla o placa antiderrapante, comunes en la industria. En estas circunstancias, los diafragmas en contadas ocasiones pueden considerarse rígidos, predominando los de tipo flexible. Este simple hecho, sin ninguna particularización adicional, hace difícil la aplicación del criterio descrito en el Folleto complementario (1) para la distribución de fuerzas horizontales y en particular sísmicas.

En estructuras sin diafragma la acción de las fuerzas laterales debe tomarse de manera que cada marco absorba las fuerzas correspondientes a su area tributaria.

Cuando se presentan concentraciones de cargas verticales o de rigideces transversales, es conveniente recurrir al uso de diafragmas flexibles, utilizando contraventeo horizontal donde se requiera. En estos casos se logran sistemas intermedios, entre aquellos con diafragma rígido ( común en obras urbanas ) y los sistemas sin diafragma ( muchas estructuras industriales ). El aprovechamiento racional de estos sistemas presenta ventajas importantes.

En estructuras con diafragmas flexibles, primero se hace un análisis del diafragma de cada nivel, aplicándole la fuerza total

de dicho nivel, distribuida en los nodos de manera que su resultante quede localizada en el centro de masas del nivel. Las reacciones en los "resortes" se aplican como cargas a los marcos correspondientes, analizados como estructuras planas.

Una aplicación puede ser el caso de naves industriales con grua, en los cuales el contraventeo de la cubierta sirve de diafragma flexible, si no se quiere utilizar armadura horizontal al nivel de la trabe carril. Al ignorar el efecto del diafragma, cada marco debe diseñarse bajo el efecto total ( vertical y horizontal ) de la grua en su condición más desfavorable. Sin embargo, al considerar la presencia del diafragma cada marco tomaría únicamente los porcentajes de la carga horizontal mostrados en la figura 4. La abscisa  $K_d / K_{mi}$  es la relación entre la rigidez del diafragma y la rigidez de entrepiso del marco; la ordenada es el % de la carga concentrada horizontal P que absorbe el marco. Las curvas corresponden a carga concentrada horizontal aplicada en el marco extremo o en el marco central de la nave. Un análisis detallado de este problema puede consultarse en la referencia (2).

#### IV.- ALGUNOS CONCEPTOS POR NORMALIZARSE

##### A.- Antecedentes.

Desconocemos la existencia en algún país de reglamentos, códigos, normas técnicas o recomendaciones específicas para el caso de plantas industriales. Es evidente que el problema no es sencillo.

##### B.- Sugerencias.

En este capítulo queremos presentar a nivel de discusión algunas sugerencias concretas, relacionadas con conceptos que estimamos merecen ser "normalizados".

##### 1.- Regionalización sísmica.

En la figura 5 se presenta la regionalización sísmica de la República Mexicana, propuesta por el Dr. Luis Esteva (3).

Consideramos importante insistir en su adopción para cualquier tipo de instalación dentro del país.

##### 2.- Clasificación de las estructuras según su uso.

La clasificación se basa en la importancia de la estructura en lo que se refiere al evento que quedara inoperable o inhabitable a consecuencia de un sismo de gran intensidad.

GRUPO A.1.- Construcciones urbanas importantes que, en caso de falla por sismo, causarían pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas, tales como: - centrales telefónicas, estaciones de bombeo y archivos, hospitales, escuelas, estadios, auditorios, templos, salas de espectáculo, estaciones terminales de transporte, monumentos y museos.

GRUPO A.2.- Construcciones industriales cuya falla por sismo causaría una contaminación ambiental tal que pondría en peligro la vida de los habitantes de la región, tales como: plantas que generan gases tóxicos como cloro, derivados clorados, insecticidas, anhídrido sulfúrico, etc.

GRUPO A.3.- Construcciones industriales cuya falla por sismo causaría un potencial de explosión y/o incendio, tales como refinerías.

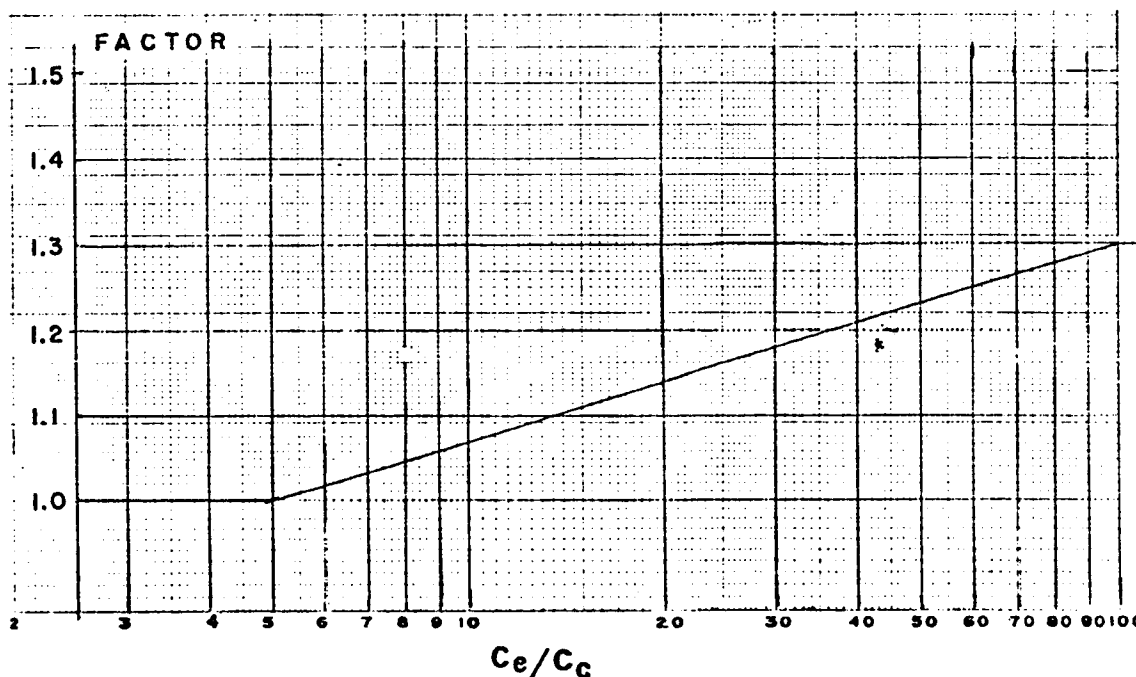
- GRUPO A.4.- Construcciones industriales cuya falla por sismo dejaría inoperantes plantas completas y complejos industriales, tales como: cuartos o edificios de control, subestaciones eléctricas, casas de fuerza.
- GRUPO B.1.- Construcciones urbanas que, en caso de falla por sismo, causarían pérdidas de magnitud intermedias, tales como: comercios, bancos, restaurantes, - casas habitación, edificios de departamentos y oficinas.
- GRUPO B.2.- Construcciones industriales no incluidas en los grupos A, cuya falla por sismo causaría una pérdida local, pero que pueden poner en peligro construcciones de los grupos A.2. a A.4.
- GRUPO B.3.- Construcciones industriales no incluidas en los grupos A, cuya falla por sismo causaría una pérdida local únicamente, tales como: edificios de proceso, bodegas, casetas de entrada e instalaciones exteriores aisladas.
- GRUPO C - Construcciones cuya falla por sismo implicaría un costo pequeño y no pueda causar daños a construcciones de los grupos A y B, tales como: bodegas provisionales, bardas con altura menor de 2.5 m.

Los coeficientes sísmicos especificados en la tabla de la figura 5 deberán ser multiplicados por los siguientes factores para las estructuras de cada uno de los grupos anteriores:

#### FACTORES MULTIPLICADORES DE ESPECTROS

GRUPO	FACTOR
A.1.	1.3
A.2.	1.5
A.3.	1.4
A.4.	1.3
B.1	1.0
B.2.	1.2
B.3.	≥ 1.0*
C	0.0

\* Para edificios de proceso el "factor" podrá ser mayor que uno (1.0), dependiendo de la relación costo del equipo - costo de la obra civil (  $C_e / C_c$  ), de acuerdo con la siguiente gráfica:



3.- Valores del factor de ductilidad Q en estructuras especiales.

DESCRIPCION	FACTOR DE DUCTILIDAD
a.- Chimeneas y torres de proceso de acero ( un solo elemento resistente ).....	2.0
b.- Chimeneas, silos, torres cilíndricas de concreto ( un solo elemento resistente ) .....	2.0
c.- Péndulos invertidos, cuya estructura de soporte está compuesta de:	

marcos de acero con o sin con	
traventeo .....	4.0
marcos de concreto .....	4.0
columnas aisladas .....	2.0
d.- Cimentación de recipientes ho	
rizontales, hornos rotatorios:	
dirección transversal	
muro $h/b \leq 7$ .....	2.0
muro $h/b > 7$ .....	3.0
muro con hueco .....	4.0
dirección longitudinal .....	4.0
e.- Pedestales de concreto de turbos .....	2.0
f.- Muros de piezas macizas, con-	
finados por castillos y dadas .....	2.0
g.- Muros de piezas huecas, confi	
nados o con refuerzo interior .....	1.5
h.- Esferas sobre columnas contra	
venteadas .....	1.5
i.- Calentadores horizontales ti-	
po caja .....	4.0
j.- Calentadores circulares verti	
cales sobre columnas de acero .....	3.0
k.- Torres de enfriamiento de ma-	
dera o concreto .....	2.5
l.- Soloaires sobre cimentación .....	4.0
m.- Calderas .....	4.0
n.- Soloaires sobre soporte de tu	
berías .....	3.0
o.- Marcos de concreto con concen	
traciones importantes de masas:	
- con sistema disipador, como	
mucha tubería entre niveles .....	4.0
- sin sistema disipador .....	3.0
p.- Marcos de acero con concentra	
ciones importantes de masas:	
- con sistema disipador, como	
muros de asbesto-cemento o	
mucha tubería entre niveles .....	4.0

- sin sistema disipador ..... 3.0
- q.- Estructura de acero totalmente  
contraventeada verticalmente:
  - con sistema disipador ..... 4.0
  - sin sistema disipador ..... 3.0
- r.- Estructuras elevadas que sopor  
tan recipientes verticales, co  
mo columna de vacío ..... 2.0

#### 4.- Elección del tipo de análisis.

A continuación se norman ciertos criterios para la elección del tipo de análisis, entre el estático y el dinámico.

- a.- En estructuras donde se tenga una distribución irregular de masas y/o rigideces de entrepiso con la altura y en todas aquellas donde exista la posibilidad de influencia elevada o predominio de otro modo de vibración diferente al fundamental flexionante, deberá utilizarse el análisis dinámico, independientemente de la altura de la estructura.
- b.- Chimeneas, torres de proceso y en general estructuras de este tipo, con masa distribuida aproximadamente uniforme:
  - con  $h/d \geq 15$  deberá emplearse el análisis dinámico.
  - con  $h/d < 15$  deberá emplearse el método estático.
 Cuando estas estructuras estén soportadas en cimentaciones profundas, deberá emplearse el análisis dinámico, incluyendo efectos de interacción.
- c.- Tanques elevados, en los que se tome en cuenta el efecto hidrodinámico, se deberá emplear el análisis dinámico.
- d.- Edificios de proceso y plataformas para soporte de equipo, se empleará el método estático, excepto aquellos casos en que se requiera efectuar un análisis dinámico. Algunos casos se resumen a continuación:
  - estructuración no uniforme en planta, como plantas en T, U, L, H, etc. e irregularidades en secciones estructurales.



- estructuración no uniforme en elevación: falta de algunos niveles en ciertas crujiás ( torres ), diferencias en alturas de entrepisos, etc.
- distribución no uniforme de masas en los pisos ( excentricidad ) y en elevación.
- distribución no uniforme de rigideces horizontales en los entrepisos ( excentricidad ).
- variación brusca de rigideces horizontales en elevación, debida a:
  - a) presencia de contraventeo vertical o muros.
  - b) cambio en la posición del sistema de contraventeo de entepiso a entepiso.
  - c) cambio en la rigidez ( por geometría o sección ) - del sistema de contraventeo.
- rigidez horizontal insuficiente de los pisos de operación.
- discontinuidades importantes en los pisos de operación.
- cambios fuertes en la relación masa/rigidez horizontal de piso a piso.

#### 5.- Análisis dinámico.

- a.- Cuando se incluyan los efectos de interacción suelo-estructura, se deberá generar una familia de espectros para diferentes porcentajes de amortiguamiento utilizando los factores de amplificación de Newmark y considerando que el espectro básico de diseño contiene 5% del amortiguamiento crítico. Se procederá a obtener el amortiguamiento promedio pesado modo a modo para la obtención de la aceleración espectral correspondiente.

§ %	FACTOR DE AMPLIFICACION	
	NEWMARK (F)	NORMALIZADO (f)
0	6.4	2.46
0.5	5.8	2.23
1	5.2	2.00
2	4.3	1.65
<u>5</u>	<u>2.6</u>	<u>1.00</u>
7	1.9	0.73
10	1.5	0.58
20	1.2	0.46

b.- En el análisis dinámico es necesario considerar los valores máximo y mínimo de las cargas en la determinación de las frecuencias mínima y máxima.

6.- Distribución de cortantes sísmicos.

- a.- En estructuras cuyos sistemas de piso ( algunos o todos) no pueden considerarse como infinitamente rígidos, pero si cuentan con cierta rigidez a la flexión por medio de contraventeo horizontal, la distribución de cortantes sísmicos se efectuará forzando compatibilidad de desplazamientos laterales de marcos y de los sistemas de piso, por medio del análisis de cada sistema de piso flexible como un "marco" soportado en resortes elásticos, los cuales simulen la rigidez de entrepiso inmediatamente inferior al sistema de piso en consideración.
- b.- En estructuras cuyos sistemas de piso no cuentan con elementos en el plano horizontal que ayuden a la interacción entre ellos, se supondrá que cada marco absorbe las fuerzas laterales que le correspondan aisladamente ( por area tributaria ).

## V.- CONCLUSIONES

Con este trabajo iniciamos la presentación de una serie de inquietudes que han surgido durante los últimos años y que - abordamos de manera aislada. Dichas inquietudes pueden agruparse en tres grandes temas:

A.- métodos de análisis

B.- irregularidades estructurales

C.- niveles de carga variable en el análisis sísmico

A.- Métodos de análisis.

1.- En algunos países, la existencia de centros de procesamiento con carteras muy amplias de programas de cómputo, hace que todo análisis estructural se realice por computadora. En estos casos, realizar análisis sísmico estático o dinámico no presenta diferencias importantes en cuanto a tiempo y costo de la ingeniería. Ante cualquier duda técnica sobre el método de análisis por utilizar, - la decisión de usar el método dinámico se toma sin mayor problema.

En México carecemos de suficientes centros de procesamiento, de amplias bibliotecas de programas de cómputo y de suficiente personal capacitado en el desarrollo y - manejo de estas herramientas. Es por ello que muchos de los despachos e ingenieros civiles dedicados al proyecto ( y en particular al proyecto industrial ) todavía realizan análisis sísmicos estáticos e incluso "a mano". Para estos profesionistas resulta importante contar con métodos simplificados, como el estático.

2.- Pocas estructuras industriales pueden justificar técnicamente el uso del método estático de análisis sísmico, ni siquiera amparándose en el hecho de que éste, en muchas ocasiones, da por resultado diseños más conservadores. - La pregunta que se plantea es: ¿ hasta cuándo debemos seguir haciendo diseños extremadamente conservadores y desde cuándo y hasta dónde debemos racionalizar nuestra ingeniería?

Sin riesgo de caer en el academismo o purismo, creo

que debemos ofrecer cada día la mejor calidad técnica posible, entendiéndose que la ingeniería civil de diseño es una ciencia económica que día a día puede ofrecer mejores soluciones, técnica y económicamente hablando.

- 3.- Es posible caer en conclusiones opuestas, dependiendo del marco de referencia que se utilice, el económico o el técnico, al decidir la profundidad con que debe atacarse un problema específico.

Por ejemplo, si en ocasiones el costo de la obra civil representa del 1 al 3% del costo del equipo que soporta ( cimentación de torres de proceso, plataformas para soporte de equipo, etc.), podría pensarse que más vale hacer diseños conservadores ( que nos permitan dormir tranquilos ) y rápidos, puesto que cualquier incremento en el costo de la obra civil no afecta significativamente la inversión total y para el cliente un mes anticipado de producción de su planta paga con creces cualquier incremento en el costo de la obra civil.

El otro enfoque sería que, como ingenieros civiles responsables del diseño, la ética profesional nos obliga a dar la solución más económica y técnicamente segura. Para lograrlo debemos echar mano de los conocimientos más avanzados y frecuentemente más sofisticados de la ciencia, lo que reclama más trabajo y tiempo, que también es costo.

Considero que es nuestra responsabilidad encontrar el mecanismo que nos permita ejercer con ética profesional: la mejor calidad y al menor costo y tiempo.

#### B.- Irregularidades estructurales.

- 1.- En los capítulos III y IV se mencionaron algunas irregularidades posibles en estructuras industriales.

Existe un vacío en el conocimiento del efecto de estas irregularidades en el comportamiento de las estructuras bajo el efecto sísmico.

En el artículo III.B. se presentaron los resultados de un estudio paramétrico, limitado a una de las irregu-

laridades: la variación de la masa con la altura de la estructura. Es necesario contar con información que nos permita conocer el efecto de las demás irregularidades en el comportamiento de este tipo de estructuras.

- 2.- No conocemos la existencia de métodos prácticos de análisis de estructuras con diafragmas flexibles, en los que se considere el efecto de la torsión.

Los métodos aplicables a estructuras con diafragmas rígidos reportan un efecto no significativo de la torsión, cuando las excentricidades están dentro de los valores contemplados en los reglamentos urbanos.

No estamos seguros de que la torsión deba manejarse en la forma como lo establece el Reglamento del D.F., ante la presencia de las irregularidades mencionadas.

- 3.- En el capítulo IV estamos sugiriendo, entre otras cosas, factores de ductilidad para algunas instalaciones de tipo industrial. Consideramos necesario primero, discutir los valores propuestos y segundo, completar la lista para otras instalaciones.

Por otro lado, estimamos conveniente poder contar con información que relacione el factor de ductilidad, el % de amortiguamiento crítico y el nivel de daño esperado ante diferentes niveles y estados de esfuerzos. Estas correlaciones permitirían establecer los factores de ductilidad con mayor certeza.

- C.- Niveles de la carga variable en el análisis sísmico.

En el artículo 226 del Reglamento del D.F. se establece claramente la carga viva que debe utilizarse en el diseño estructural de obras urbanas. Dicha carga está definida en base a criterios probabilísticos, soportados en información estadística.

En el caso de plantas industriales, la carga variable en general, y la carga viva en particular, presenta un comportamiento totalmente distinto al de la carga viva en edificios urbanos. En ninguno de los proyectos en que hemos participado se pudo contar con estadística de la carga variable y en todos los casos los ciclos de dichas cargas fueron totalmente -

distintos.

La idea de considerar que cada carga tiene una media y una desviación estándar y combinarlas todas probabilísticamente al margen de seguridad global deseado, en estos casos no es el camino. Estimamos importante poder contar con criterios que nos permitan abordar este tema.

#### AGRADECIMIENTO


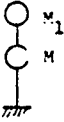
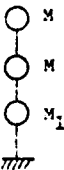
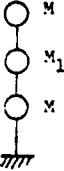
El autor quiere agradecer a:

Ing. Francisco O. Amavisca por la elaboración numérica del estudio paramétrico.

Ing. Mauricio Nanes, en especial, por sus comentarios durante la preparación del artículo y su revisión crítica final.

#### REFERENCIAS

- 1.- Rosenblueth E. y Esteva L.: Diseño sísmico de edificios, Folleto Complementario al Reglamento de Construcciones para el D.F., México D.F., 1962.
- 2.- M.Nanes: Análisis de estructuras con sistema de piso con traventados, considerados como diafragmas flexibles. - Primer Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, SMIE, 1979.
- 3.- CFE: Manual de Diseño de Obras Civiles, 1981.

MODELO	ENTRE- PISO	RELACION $V_D / V_E$		
		$M_1 / M = 1$	$M_1 / M = 0.1$	$M_1 / M = 10$
	2	0.52	0.52	0.28
	1	0.53	0.53	0.44
	2	0.52	0.54	0.53
	1	0.53	0.89	0.52
	3	0.62	0.93	0.27
	2	0.63	0.94	0.30
	1	0.63	0.94	0.45
	3	0.62	0.80	0.43
	2	0.63	0.79	0.54
	1	0.63	0.79	0.54


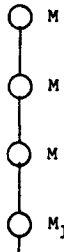



	3	0.62	0.70	0.62
	2	0.63	0.88	0.62
	4	0.75	0.92	0.33
	3	0.74	0.90	0.34
	2	0.73	0.89	0.35
	1	0.72	0.89	0.42
	4	0.75	0.81	0.44
	3	0.74	0.79	0.46
	2	0.73	0.79	0.56
	1	0.72	0.79	0.56

TABLA 1

	4	0.75	0.79	0.59	
				0.95	1.27
	3	0.74	0.78	0.64	
				0.95	1.16
	2	0.73	0.75	0.64	
			0.97	1.14	
	1	0.72	0.76	0.63	
			0.95	1.14	
	4	0.75	0.78	0.71	
				0.96	1.06
	3	0.74	0.84	0.71	
				0.88	1.04
	2	0.73	0.84	0.71	
			0.87	1.03	
	1	0.72	0.85	0.70	
			0.85	1.03	

	5	0.81	0.92	0.37	
				0.89	2.22
	4	0.80	0.89	0.36	
				0.90	2.22
	3	0.78	0.86	0.35	
			0.88	2.17	
	2	0.77	0.85	0.35	
			0.91	2.20	
	1	0.75	0.85	0.38	
			0.88	1.97	
	5	0.81	0.84	0.50	
				0.98	1.64
	4	0.80	0.80	0.51	
				1.00	1.57
	3	0.78	0.79	0.51	
			0.99	1.53	
	2	0.77	0.79	0.56	
			0.97	1.38	
	1	0.75	0.78	0.56	
			0.96	1.34	

TABLA 1



	5	0.81	0.79	0.61
			1.04	1.34
	4	0.80	0.75	0.63
			1.07	1.27
	3	0.78	0.75	0.66
			1.04	1.18
2	0.77	0.73	0.66	
		1.05	1.17	
1	0.75	0.75	0.66	
		1.00	1.14	
	5	0.81	0.80	0.73
			1.03	1.12
	4	0.80	0.79	0.74
			1.01	1.08
	3	0.78	0.74	0.74
			1.05	1.05
2	0.77	0.73	0.73	
		1.05	1.05	
1	0.75	0.74	0.73	
		1.01	1.03	

	5	0.81	0.84	0.82
			0.96	0.99
	4	0.80	0.83	0.81
			0.96	0.99
	3	0.78	0.81	0.81
			0.96	0.96
2	0.77	0.80	0.80	
		0.96	0.96	
1	0.75	0.80	0.79	
		0.94	0.95	

En la esquina inferior derecha de cada caso se presenta el valor de la relación entre  $V_D / V_E$  del caso de masa uniforme - ( $M_1 / M = 1$ ) y  $V_D / V_E$  del caso correspondiente.

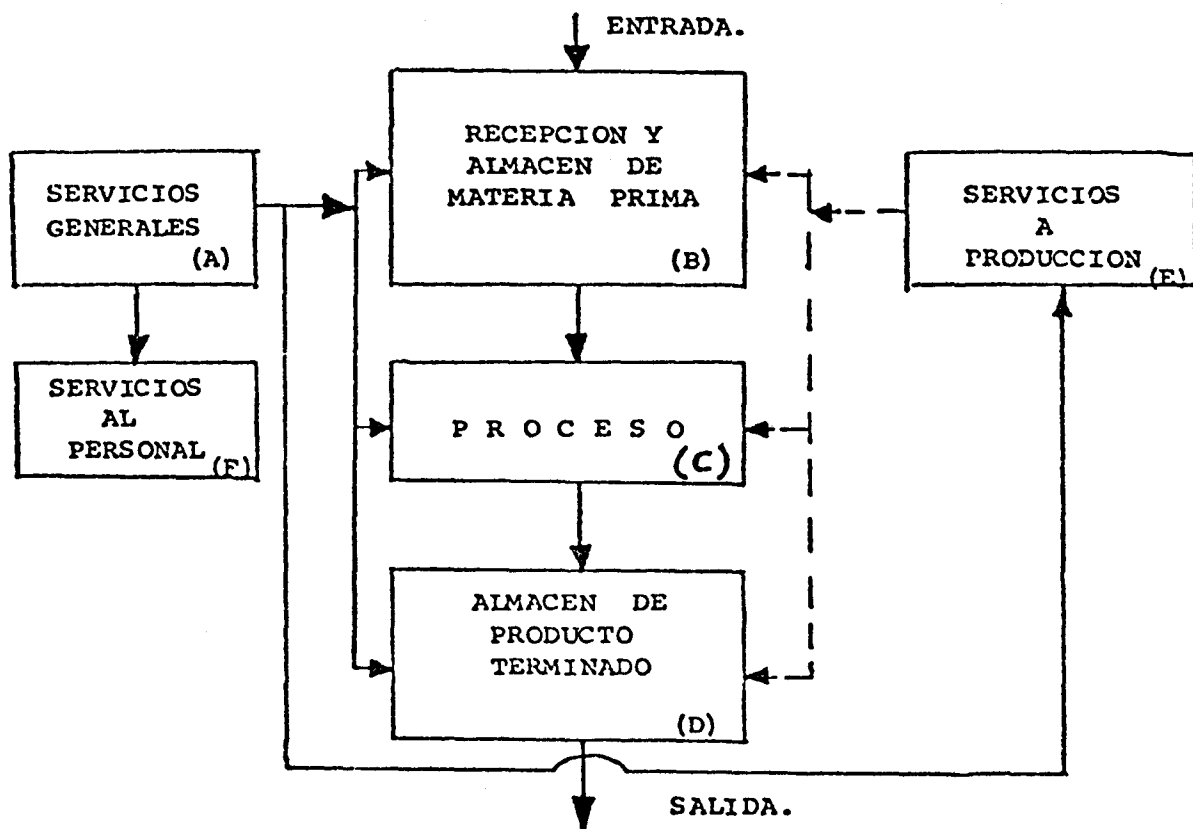


Fig 1. Modelo básico de una planta

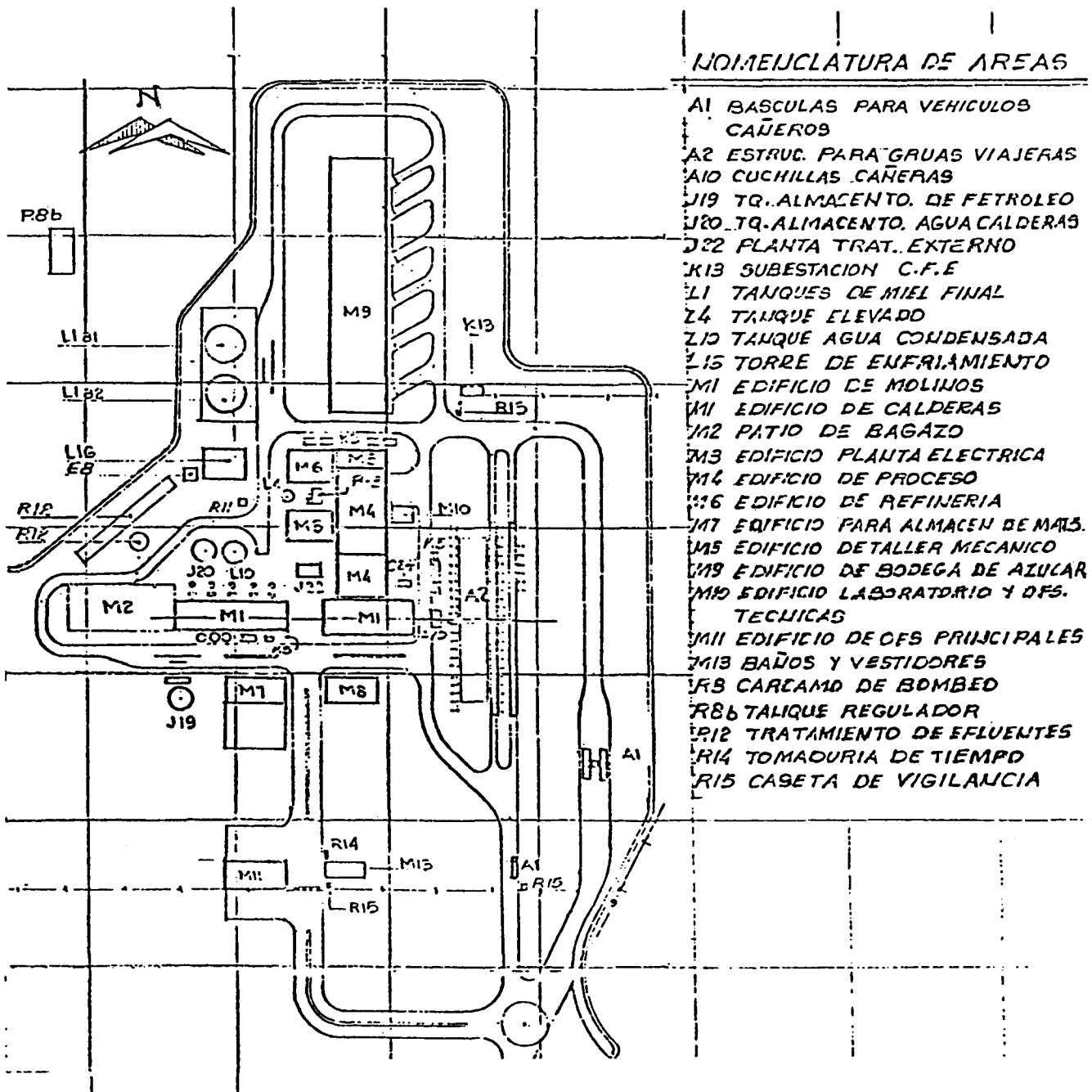


Fig 2.1 Ingenio azucarero. Arreglo general

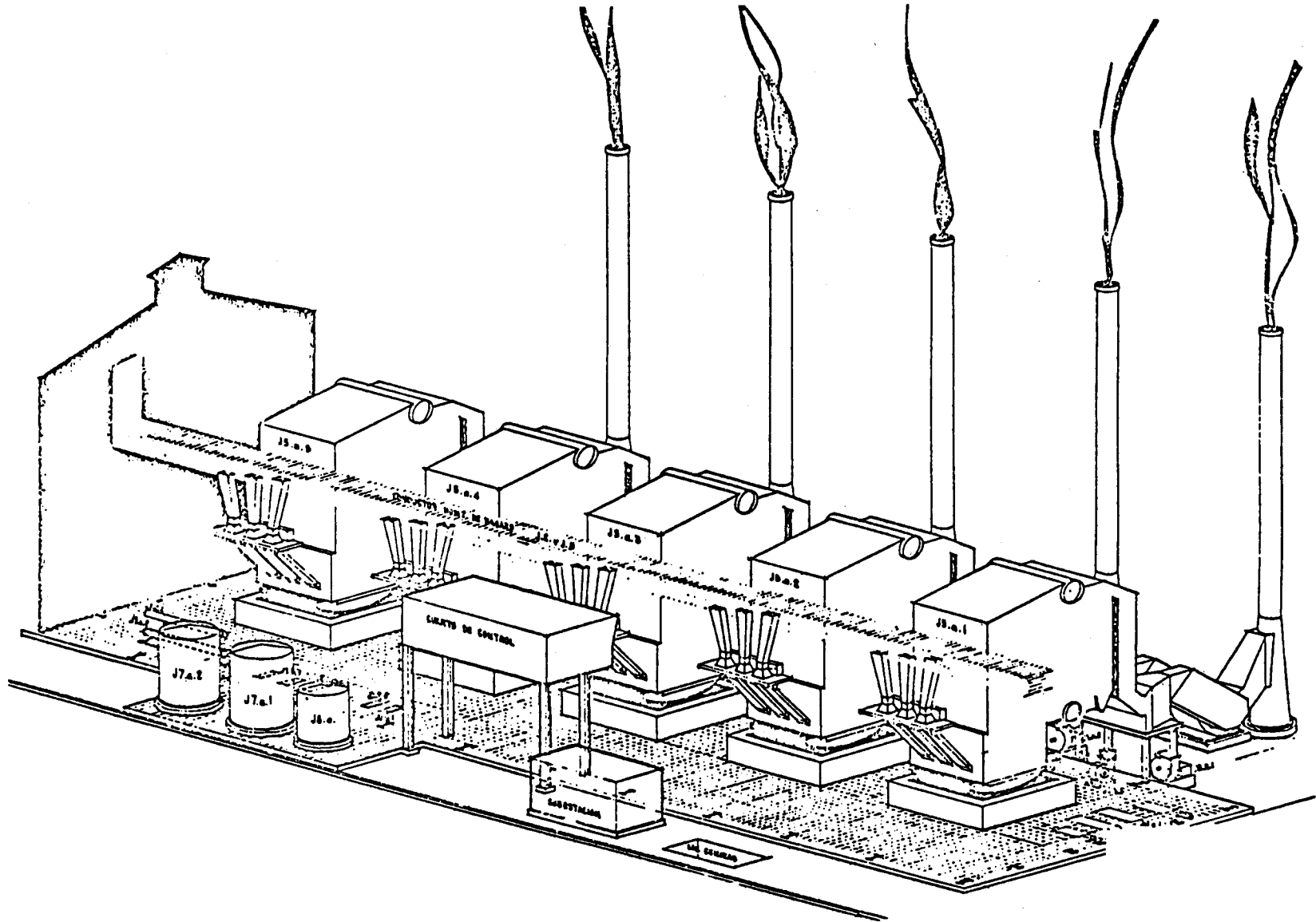


Fig 2.2 Ingenio azucarero. Edificio de caldera

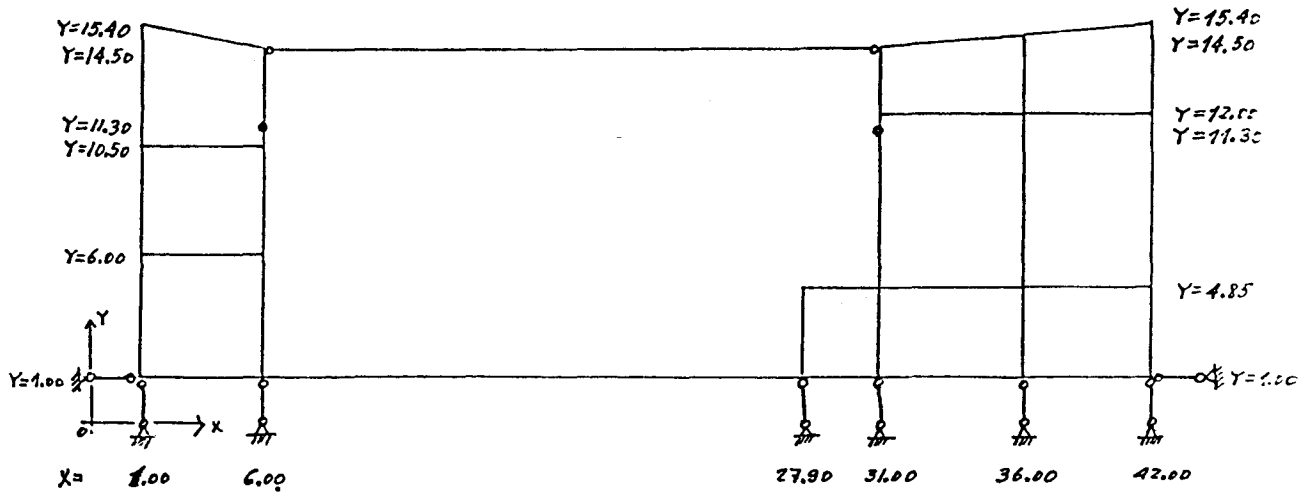


Fig 3.1

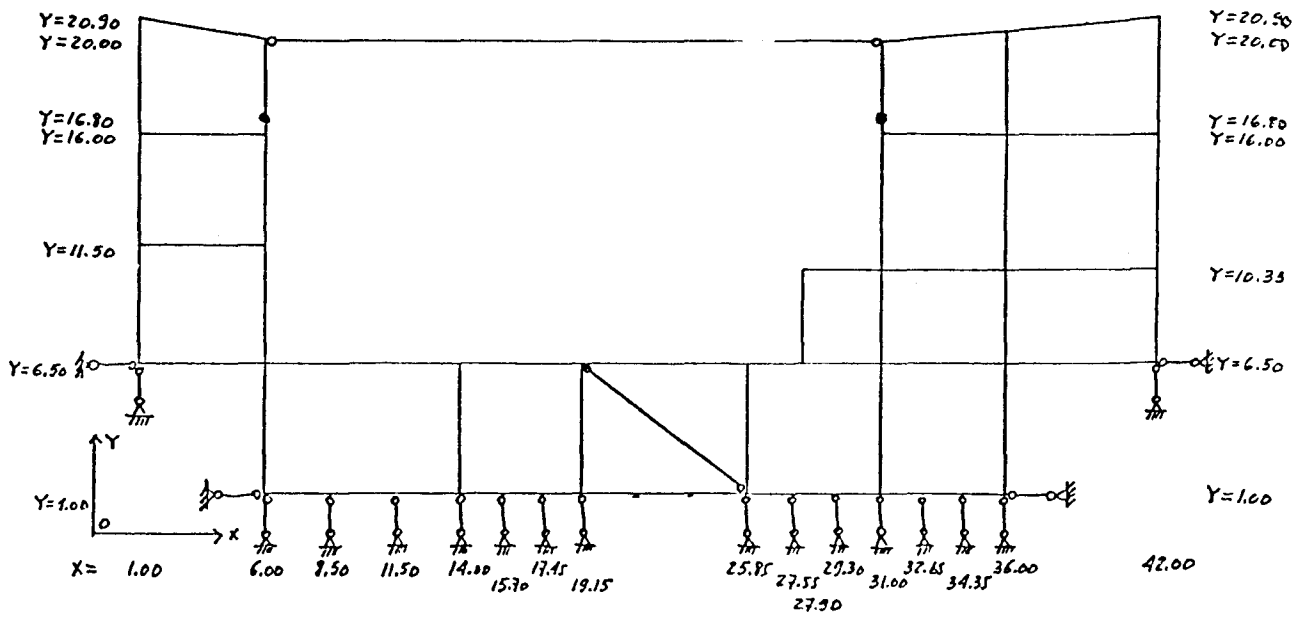


Fig 3.2

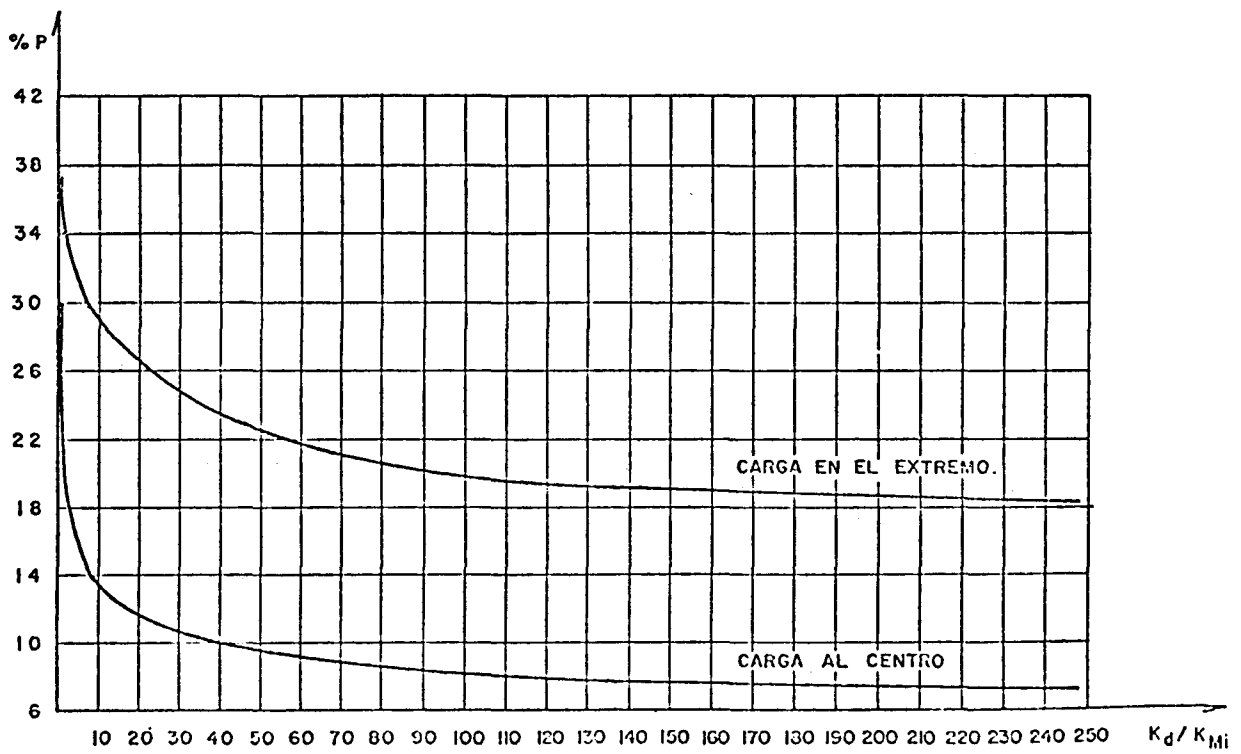


Fig 4. Porcentaje de la carga concentrada que absorbe el marco cargado final

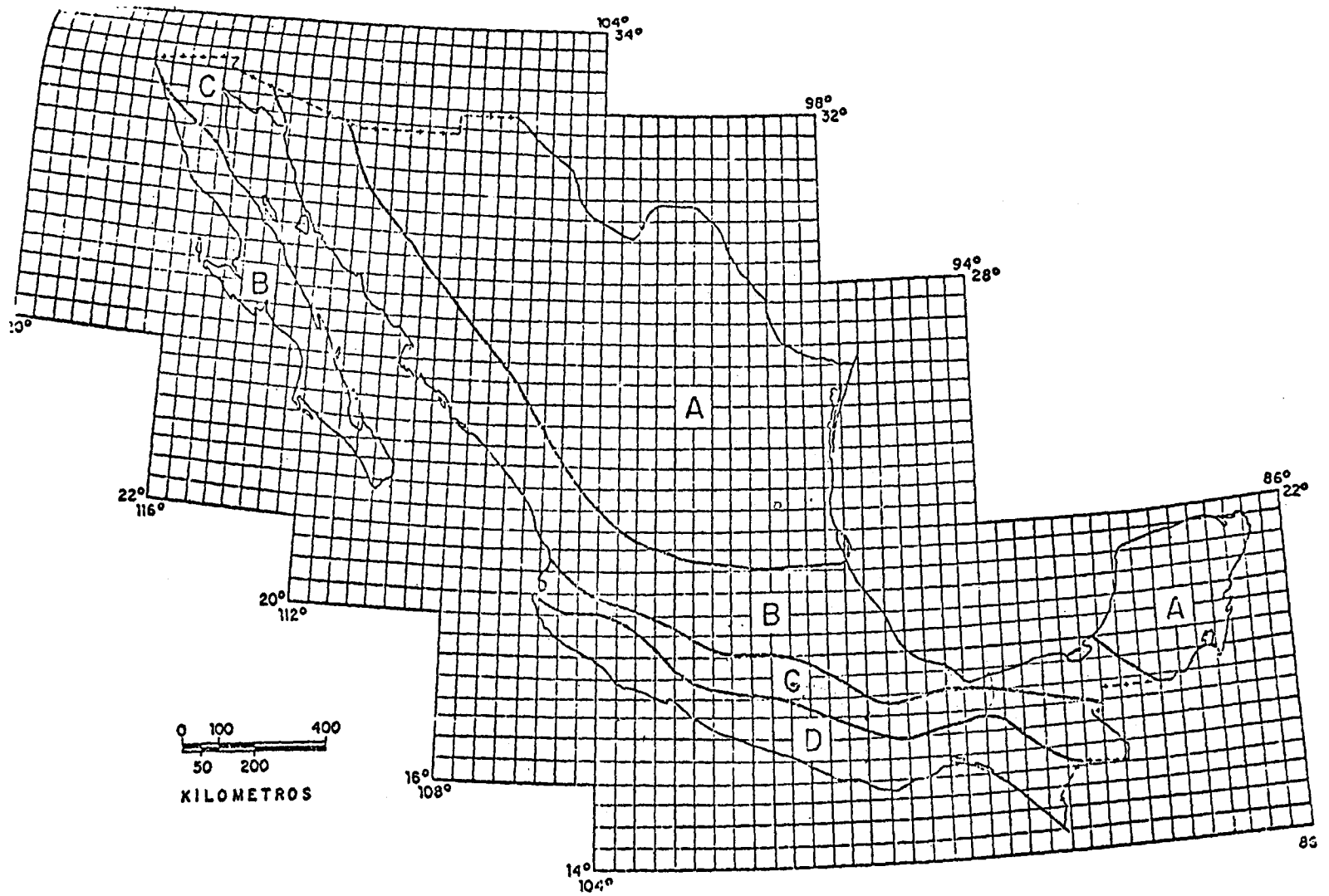
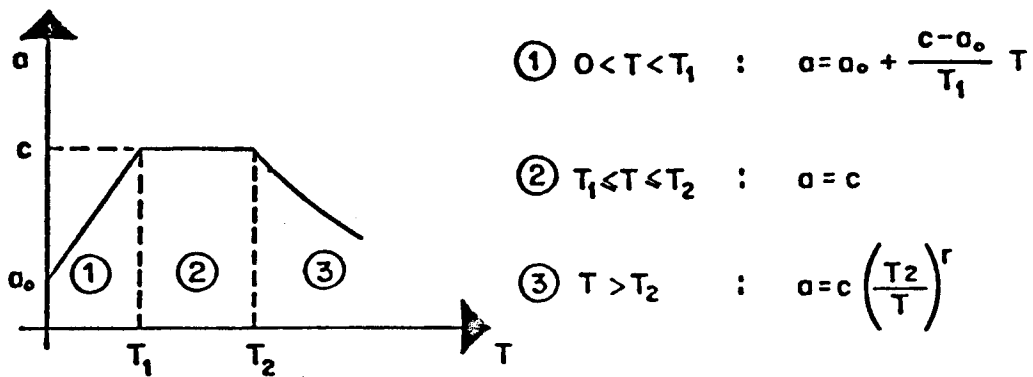


Fig 5.1 Regionalización sísmica de México



donde:  $a$  : ordenada espectral  
 $a_0$  : ordenada espectral para  $T = 0$   
 $c$  : coeficiente sísmico básico  
 $r$  : exponente adimensional  
 $T$  : período natural de la estructura o uno de sus modos, en segundos  
 $T_1$   $T_2$  : períodos naturales que definen la forma del espectro, en segundos

ZONA SISMICA DE LA REPUBLICA	TIPO DE SUELO	c	$a_0$	$T_1$	$T_2$	r
A	I	0.08	0.03	0.30	0.8	1/2
	II	0.12	0.045	0.55	2.0	2/3
	III	0.16	0.06	0.75	3.3	1
B	I	0.16	0.03	0.30	0.8	1/2
	II	0.20	0.045	0.50	2.0	2/3
	III	0.24	0.06	0.80	3.3	1
C	I	0.24	0.05	0.25	0.67	1/2
	II	0.30	0.08	0.45	1.6	2/3
	III	0.36	0.10	0.60	2.9	1
D	I	0.48	0.09	0.15	0.55	1/2
	II	0.56	0.14	0.30	1.4	2/3
	III	0.64	0.18	0.45	2.7	1

**NOTA:**

Las ordenadas espectrales que se obtienen son para estructuras del grupo B. Estas deberán multiplicarse por 1.3 en el caso de estructuras del grupo A.

Fig 5.2 Espectros de diseño



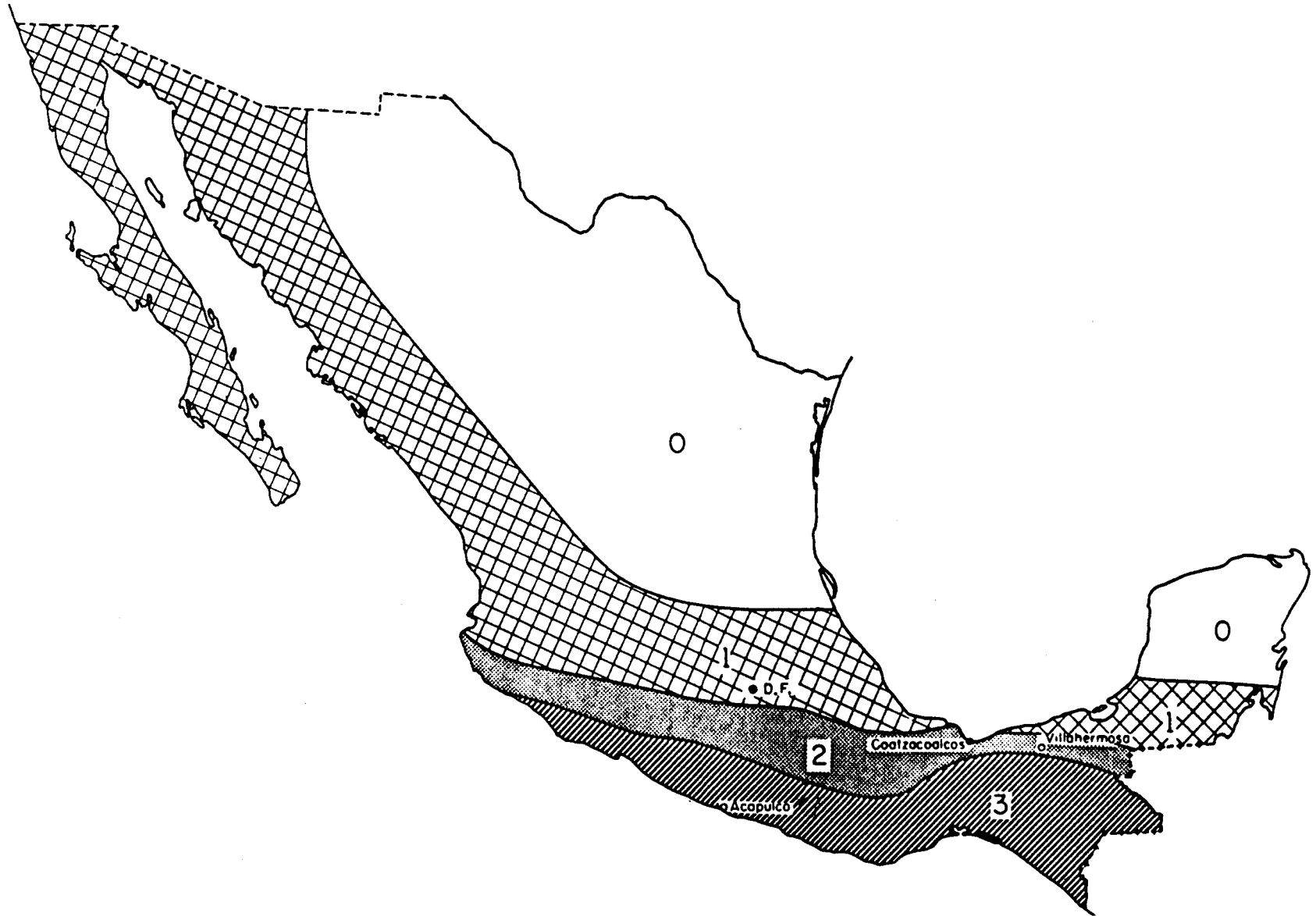


Fig 6. Regionalización sísmica de México