

## CAPITULO IV. Solicitaciones en Edificios Altos

### *IV.1 Acciones*

Para el diseño de toda estructura es necesario considerar todas las acciones que se suponen van a actuar sobre ella, durante su vida útil, todo ello con cierta probabilidad de la posible falla. Aparentemente se puede decir que es un proceso sencillo, sin embargo este ofrece el inconveniente de la incertidumbre que se arroja en la determinación de estas.

Si recordamos que el diseño estructural consiste en un proceso de optimización, en las que intervienen una serie de variables aleatorias, como son lo que llamaremos acciones sobre la estructura, y las cuales se describirán más adelante.

#### *IV.1.1 Acciones Permanentes*

Son aquellas que obran en forma continua sobre la estructura, y que tanto su localización y magnitud no se modifican con el tiempo, y de entre las cuales podemos considerar las siguientes:

- ✚ Carga Muerta: Incluye el peso propio de la estructura y el de todos aquellos elementos que actúan de manera permanente sobre la misma, tal es el caso de muros divisorio, fachadas, etc.
- ✚ Empuje estático de tierras y líquidos.
- ✚ Desplazamientos impuestos a la estructura, no son las deformaciones propias de la estructura originadas por las acciones que se están mencionando, sino que se refiere a los desplazamientos que se transmiten a la estructura y que por sí mismo constituyen un tipo de acción de tipo permanente. Por ejemplo el caso de los desplazamientos diferenciales impuestos a la estructura por hundimientos de distinta magnitud en el suelo.

#### *IV.1.2 Acciones Variables*

- ✚ Carga Viva: se debe, fundamentalmente, al peso de personas, mobiliaria, maquinaria, etc., ya que siendo cargas gravitacionales, sus características mecánicas pueden variar durante la utilización de la estructura.
- ✚ Efectos por cambios de temperatura y contracciones.
- ✚ Efectos de operación de maquinaria y equipo. La operación de algunas máquinas o equipo origina acciones dinámicas que merecen ser consideradas para análisis en tales casos.

### IV.1.3 Acciones Accidentales

Las acciones accidentales se caracterizan porque se desconoce el momento en el que van a actuar en la estructura. La intensidad y magnitud de estas acciones pueden ser superiores a cualquier valor conocido o pensado. Estas acciones representan un accidente en la vida de las estructuras y su control queda fuera del proyectista, entre las principales acciones accidentales podemos mencionar las siguientes como más importantes y notorias en el diseño estructural de edificios.

- ✚ Efectos por Sismos: Son acciones dinámicas originadas por los sismos.
- ✚ Efectos por Viento: Son acciones estáticas o dinámicas que representan los efectos del viento sobre la estructura.

Se han mencionado cuales son las principales, sin embargo en algunos casos pueden ocurrir otros tipos de acciones accidentales, tales como explosiones, incendios, caída de granizo, impacto y otros.

### IV.2 Carga Muerta

Esta acción incluye el peso propio de los elementos estructurales o no, que van a actuar de manera permanente en la construcción y estructura. Tal es el caso de trabes, muros, losas, etc. Se considera el peso de todos los materiales que intervienen en la construcción. Comprende tanto el peso de la estructura en sí, como todos los acabados, tales como firmes, recubrimientos, plataformas, muros divisorios, etc.

En este concepto se pueden tener variaciones muy importantes con respecto a las cargas de diseño, debido fundamentalmente a variaciones de las dimensiones y también de los volúmenes y pesos de los materiales, o también debido a las modificaciones del proyecto que se traducen en la aplicación de cargas no consideradas originalmente. En estos casos la cimentación es el elemento estructural más afectado por la construcción.

Material	Peso Volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )	
	Máximo	Mínimo
1.- Piedras Naturales		
-Areniscas		
Secas	2.45	1.75
Saturadas	2.50	2.00
-Basaltos (piedra brazal)		
Secas	2.60	2.35
Saturadas	2.65	2.45
Granito	3.20	2.40

Mármol	2.60	2.55
-Pizarras		
Secas	2.80	2.30
Saturadas	2.85	2.35
-Tepetates		
Secas	1.60	0.75
Saturadas	1.95	1.30
-Tezontles		
Secas	1.25	0.65
Saturadas	1.55	1.15
2.- Suelos		
-Arenas		
Secas	1.75	1.40
Saturadas	2.10	1.85
-Arcillas del V. de M.	1.60	1.20
3.- Piedras artificiales, concretos y morteros		
-Concreto Simple con agregado de peso normal	2.20	2.00
-Concreto Reforzado	2.40	2.20
Mortero de cal y arena	1.50	1.40
-Mortero de cemento y arena	2.10	1.90
-Aplanado de yeso	1.50	1.10
-Tabique macizo hecho a mano	1.50	1.30
-Tabique macizo prensado	2.20	1.60
-Bloque hueco de concreto ligero	1.30	0.90
-Bloque hueco de concreto pesado	2.20	2.00
4.- Madera		
-Caoba		
Seca	0.65	0.55
Saturada	1.00	0.70
-Cedro		
Seca	0.55	0.40
Saturada	0.70	0.50
-Encino		
Seco	0.90	0.80
Saturada	1.00	0.80
-Pino		
Seco	0.65	0.45
Saturada	1.00	0.80

Tabla 2.- Pesos volumétricos de materiales comúnmente usados en la construcción de acuerdo al RCDF-2004.

### IV.3 Cargas Vivas

Las cargas vivas, son aquellas cargas gravitacionales que obran en una construcción y que a diferencia de las cargas muertas, no tienen un carácter permanente. Estas cargas son esencialmente variables como pueden ser, el peso de las personas que ocupan la construcción, los muebles, el equipo, maquinas, mercancías, etc. Como se puede apreciar una persona no ocupa un lugar determinado dentro de una habitación o bien los objetos que se almacenan pueden variar de magnitud y posición.

En estas circunstancias es imposible considerar una carga determinada y en un lugar dado, al mismo tiempo que no es económico y tampoco factible considerar todas las posibles condiciones de carga. En vista del carácter aleatorio de este tipo de carga, se ha recurrido a una solución probabilística para que se pueda definir una carga uniforme dentro de ciertos márgenes de seguridad, que sea equivalente a la esperanza de cargas concentradas o distribuidas aplicables a la estructura.

Por su manera de presentarse, la carga viva es peculiar del uso a que está destinada la construcción, y entonces con ello se puede distinguir tres grandes grupos de construcciones, para poder considerar su carga correspondiente: edificios, naves industriales y puentes. Y por ello en la práctica cada uno de estos casos se atiende por separado.

En la gran mayoría de los casos, las cargas vivas de diseño están especificadas en códigos o reglamentos, pero tienen una fijación básicamente subjetiva: es decir tratan de postular una condición de operación suficientemente desfavorable, para que la probabilidad de que se presente una situación más grave sea pequeña, y con ella determinar después una carga uniforme equivalente, cuyas acciones sean similares a los de la acción real.

Destino del Piso	México RCDF	USA ANSI-81	Japón AIJ	Alemania DIN-61
Habitación en casas y departamentos	190	195	180	150
Hoteles	190	195	180	150
Hospitales	190	195	180	-----
Oficinas	250	244	300	200
Escaleras	350	488	-----	-----
Lugares de reunión con asientos fijos	350	293	300	500
Lugares de reunión sin asientos fijos	450	488	360	500
Balcones y terrazas al exterior	300	488	300	500
Garajes para automóviles	250	244	550	350
Comercios	>350	488 (366)	500	500

Tabla 3.- Cargas vivas para edificios según diversos reglamentos (Ref. 5).

#### *IV.3.1 Reglamento de Construcciones del Distrito Federal*

El reglamento de Construcciones del DF especifica distintos valores de la carga viva para edificios según su destino y el área tributaria del elemento estructural que se diseñe, y por lo tanto se especifican los siguientes tipos:

##### *Carga Viva Máxima ( $W_m$ )*

Se considera en el diseño de estructuras por carga gravitacional. Para casas habitación, oficinas, laboratorios, etc., el valor de la carga viva máxima es:

$$W_m = 120 + \frac{420}{\sqrt{A}} \quad (\text{ec. 19})$$

En donde A, es el área tributaria del elemento que se analiza. De manera semejante se especifica la carga viva máxima para otros tipos de edificios. En el caso de azoteas en las que la influencia del área tributaria en la intensidad de la carga es menor, se especifica un solo valor que es independiente del área tributaria.

El valor de la carga viva máxima se emplea en el diseño de las cimentaciones, cuando se desean determinar los asentamientos inmediatos en el suelo debido al peso de la estructura.

##### *Carga Viva Instantánea ( $W_a$ )*

Se emplea en el diseño de estructuras ante las acciones accidentales. Es decir cuando se analizan las acciones del sismo o del viento, el área tributaria es la correspondiente a toda la estructura. Al aplicar la fórmula anterior de  $W_m$  podemos ver que para áreas muy grandes, la carga viva tiende a estabilizarse y por ello se suele manejar un solo valor de acuerdo al edificio y uso.

La carga viva instantánea también se emplea cuando se utilizan distribuciones de cargas más desfavorables que las correspondientes a cargas repartidas en toda la superficie.

##### *Carga Viva Media ( $W$ )*

Se emplea para el cálculo de los asentamientos diferidos en suelos poco permeables saturados. En estas condiciones los efectos por hundimientos diferenciales son muy importantes; cabe decir, cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en el caso de problemas de flotación, volteo y de succión por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área.

En el diseño de las estructuras también es necesario considerar las cargas vivas que se pueden presentar de manera temporal durante el proceso de construcción. Tal es el caso del peso de los materiales que se almacenan temporalmente durante la construcción, el de los vehículos y equipo de construcción, el de colado de plantas superiores que se apoyen en la planta que se analiza y del personal necesario, no siendo este último peso menor de 150 kg/m<sup>2</sup>.

Destino del piso o cubierta	W	W <sub>a</sub>	W <sub>m</sub>
Habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	70	90	170
Oficinas, despachos y laboratorios	100	180	250
Aulas	100	180	250
Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasaje de acceso libre al público)	40	150	350
Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	40	350	450
Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas de juego y similares)	40	250	350
Comercios, fabricas y bodegas	0.8W <sub>m</sub>	0.9W <sub>m</sub>	W <sub>m</sub>
Azoteas con pendientes no mayor a 5%	15	70	100
Azoteas con pendientes mayor de 5%; otras cubiertas, cualquier pendiente	5	20	40
Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	15	70	300
Garajes y estacionamientos (exclusivamente para automóviles)	40	100	250

Tabla 4.- Cargas vivas unitarias en Kg/m<sup>2</sup> de acuerdo al RCDF-2004, en sus NTC sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, se recomienda ver la ref. 6 para obtener mayor información del uso de estas cargas vivas

#### *IV.4 Cargas Accidentales debidas a Sismo*

##### *IV.4.1 Origen de los sismos*

Para abordar el problema que pueden causar los fenómenos naturales como el caso de los sismos a una estructura, es necesario reconocer que los orígenes de ellos no se conocen exactamente, sino más bien los efectos que estos producen que las causas que lo provocan. De acuerdo a la teoría de tectónica de placas se describe que los temblores se deben a una acumulación de energía de deformación en los grandes bloques del interior de la corteza terrestre, provocado por distintas causas, tales como las contracciones térmicas, desplazamientos y otros. Sabemos también que las erupciones volcánicas pueden producir temblores; sin embargo, la energía liberada es menor que en el caso de los de origen tectónico. El movimiento de la superficie del terreno durante un sismo es debido a las ondas que se producen. La mayor parte de los sismos ocurren en zonas sísmicas actualmente definidas, por mencionar el Cinturón del Pacífico que forma un círculo casi continuo alrededor del pacífico.

El movimiento producido por un sismo origina ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las ondas de cuerpo pueden ser a su vez longitudinales y transversales. Las ondas longitudinales, también conocidas como ondas P (primarias), son las más rápidas, ya que son las primeras que se registran en los sismógrafos, estas ondas de esfuerzo se producen por el movimiento de partículas en el sentido de propagación de la onda, provocando esfuerzos normales en la roca. Las ondas transversales, también conocidas como ondas S (secundarias), son lentas y ocasionan vibraciones en un plano normal a su dirección de propagación, originan oscilaciones y distorsiones, sin cambio de volumen en las partículas que se encuentran en su trayectoria.

Se denominan en ocasiones también de cortante, para distinguirlas de las primeras o de compresión. Debido a las distintas capas del subsuelo, tanto las ondas P, como las ondas S, se reflejan o se refractan produciendo a su vez ondas de los dos tipos. Sí una partícula se encuentra en el camino de una onda transversal, esta puede oscilar en cualquier dirección en el plano normal al avance de la onda. Aunque son más lentas que las ondas P, pueden transferir más energía, por lo que son las que producen mayores daños a las estructuras. Se debe mencionar que existen otros tipos de ondas, pero estas dos son las más importantes. Cuando las ondas de cuerpo llegan a la superficie, se reflejan y provocan las llamadas ondas de superficie. Y un dato muy curioso es el siguiente, que la Velocidad con la que se transmiten las ondas a través de la corteza, dependerá siempre de las propiedades mecánicas del medio en que se desplace.

Todo sismo está asociado con un gran desprendimiento de energía a lo largo de una superficie de falla, esta energía bajo la forma de ondas sísmicas afecta grandes zonas de la superficie terrestre en la que producen movimiento del suelo, es importante por ello tener siempre de referencia algo con que compararlas, y por ello

hoy en día conocemos las dos escalas de uso frecuente: Para la Magnitud del sismo utilizamos la escala de Richter y para la intensidad la escala de Mercalli.

#### IV.4.1.1 Estudio Sísmico en la República Mexicana

La República Mexicana está situada en el cinturón circumpacífico, por lo que los efectos por sismo adquieren especial importancia. Y en la figura siguiente se observan las zonas en las cuales se ha dividido el país para su mejor estudio.



Fig. 22.- Regiones Sísmicas en México  
[http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/region\\_sismica\\_mx.jsp](http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp)

La República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas. Esto se realizó con fines de diseño antisísmico. Para realizar esta división (Figura 22) se utilizaron los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo, grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en este siglo. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo.

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia

de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones. El mapa que aparece en la Figura 22 se tomó del Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.

#### *IV.4.1.2 Análisis y Diseño Sísmico en México*

Las estructuras que se tengan que diseñar en la República Mexicana, deben de cumplir con ciertas condiciones de seguridad, servicio y costo, por lo cual se da mayor importancia al primer punto y con ello se ha tenido que recurrir al uso estadística y monitoreo de los lugares donde ocurren los sismos y su epicentro.

Por ello uno de los lineamientos más importantes para el diseño de estructuras antes sismos en el país lo ha realizado la Comisión Federal de Electricidad, la cual nos proporciona en el Manual de Diseño de Obras Civiles, en el tomo de Diseño por Sismo, como debemos nosotros de ver a una estructura, que características debe de cumplir, que solicitaciones debe satisfacer, y que tipo de material debemos emplear manteniéndonos dentro de un rango óptimo de seguridad, servicio y costo.

El diseño sísmico de las estructuras implica las siguientes características:

- ✚ La definición de la acción de Diseño; en esta parte los reglamentos especifican la intensidad que debe usarse en el diseño de los diversos tipos de estructuras, y toma en cuenta las características geológicas, topográficas y mecánicas del suelo en el sitio donde se vaya a desplantar.
- ✚ La selección de un sistema de estructuración adecuado; mediante una estructuración adecuada puede lograrse que las acciones sean menos desfavorables cuando haya que cubrir los efectos producidos por un sismo.
- ✚ Calculo de la respuesta estructural; en este punto es importante mencionar que los análisis sísmicos para las estructuras tienen variaciones dependiendo del nivel de sofisticación usada, desde el momento en que se empieza a suponer un sistema de fuerzas estáticas equivalentes, hasta el análisis dinámico ante los movimientos que se originaran en la base de la estructura.
- ✚ El dimensionamiento y detallado de la estructura; los criterios de diseño aceptan que la estructura entre en etapas inelásticas de comportamiento ante el sismo de diseño, es esencial que se eviten las fallas frágiles locales y que, en caso que ocurra un sismo de excepcional intensidad, se

logre la una disipación uniforme de la energía del sismo mediante la fluencia de un numero alto de secciones. Para lograr esto último debe cuidarse los detalles estructurales, a nivel de uniones y secciones y los elementos no estructurales.

Dentro de los criterios de diseño de estructuras para las acciones por sismo, se ve el imprevisto que si hacemos que las estructuras queden intactas ante estas acciones, el costo de estas se elevara y por tanto las dimensiones de los elementos aumentaran, entonces se dice que no es económicamente factible hacer esto, por tal motivo, nosotros debemos diseñar las construcciones para que no sufran daño con un sismo moderado, pero si tengan fallas que no provoquen el colapso o el caso de no dar seguridad en sismos fuertes.

Una de las definiciones que tiene una aceptación dentro del mundo del diseño sismo resistente, es la del Ing. Luis Esteva, “El arte del diseño contra los sismos no consiste en producir estructuras capaces de soportar conjuntos dados de fuerzas laterales, aunque esta capacidad es parte de un diseño sano. Implica producir sistemas que se caracterizan por una óptima combinación de propiedades tales como resistencia, rigidez, ductilidad y capacidad para disipar energía. El logro de estos objetivos implica mucho más que la aplicación de requisitos reglamentarios; exigen la comprensión de los factores básicos que determinan la respuesta sísmica de las estructuras, así como el ingenio necesario para producir sistemas que tengan las características adecuadas”.

#### *IV.4.1.3 Ductilidad*

Debido a que los reglamentos y normas mencionan en varias ocasiones la palabra de Ductilidad, definiremos esta como la capacidad que tiene una estructura a sufrir deformaciones por encima del límite elástico sin llegar a la falla. Esta puede hacerse ver a través de la aparición de grietas de tamaño grande, destrucción de elementos de albañilería o la destrucción total o parcial de algún elemento estructural.

El factor de ductilidad se define como la relación entre la deformación máxima que sufre una estructura sin llegar a la falla y la deformación correspondiente, al límite de fluencia. El aprovechamiento de la ductilidad de las estructuras constituye uno de los conceptos esenciales de la ingeniería sísmica moderna. Si una estructura es dúctil de un grado de libertad, (ver Fig. 23) se ve sometida a un movimiento en su base, y la máxima fuerza que podrá desarrollarse en el elemento resistente estará acotada por su capacidad lateral.

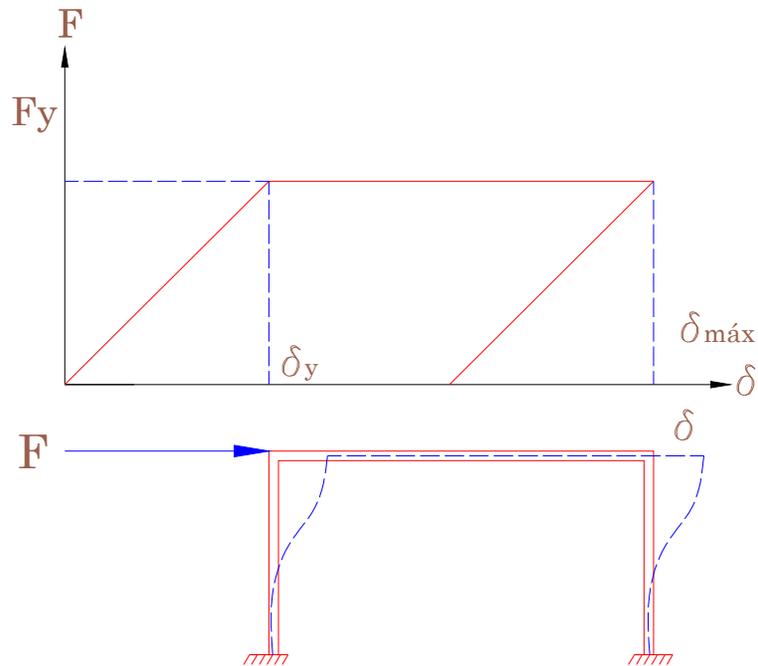


Fig. 23.- Relación Carga-Deformación

De acuerdo a la figura anterior se encuentra la siguiente relación para expresar el factor de ductilidad.

$$\mu = \frac{\delta_{m\acute{a}x}}{\delta_y} \quad (\text{ec. 20})$$

Tomando en cuenta que el factor de ductilidad depende del tipo de carga que se le aplique al elemento estructural y de la deformación que se utilice para definirlo. En el caso de estructuras de edificios sujetos a solicitaciones sísmicas, esta se define en función de las deformaciones producidas por las fuerzas transversales entre dos pisos consecutivos. Hoy en día el diseño está enfocado a brindar a las estructuras ductilidad y con ella se constituye uno de los conceptos de ingeniería moderno. Es necesario aclarar que de acuerdo a los materiales que se usan para edificios, se obtendrán diferentes ductilidades, por ejemplo el acero es más dúctil que el concreto, pero en última instancia, el hacer estructuras altas en zonas sísmicas, no presenta mucho problema con respecto a la ductilidad, sino más bien por el hecho que la estructura sea inestable (efectos de esbeltez), es por ello que en el diseño de estructuras de concreto, el acero de refuerzo que se emplea debe ser el adecuado para satisfacer las necesidades y solicitaciones del edificios, con fines de aprovechar la deformación del conjunto.

En la actualidad el diseño sísmico de estructuras no se realiza todavía sobre la base de absorber toda la energía producida por el sismo, considerando la ductilidad de la estructura, pero tanto en el análisis estático como en el dinámico, tenemos que aplicar coeficientes en los que estén implícitos la ductilidad estructural, los cuales se definen de acuerdo a los reglamentos y al tipo de estructura a diseñar.

#### *IV.4.1.4 Influencia del Suelo de Cimentación*

Las ondas que se propagan por la acción del sismo tienden a atravesar las capas del subsuelo con características diferentes, es decir, se propagan de un suelo con módulo de elasticidad alto hacia otro módulo de elasticidad bajo, y por consiguiente la aceleración y los desplazamientos se amplifican. En el caso particular de la Ciudad de México, se obtuvo por observación y monitoreo que en suelos blandos la intensidad con que se siente un sismo es mayor que en un suelo firme, tal fenómeno fue apreciable en los sismos de julio de 1957.

En el caso de suelos blandos, además de los problemas causados por vibraciones excesivas, intervienen otros parámetros que no son importantes en el caso de un suelo rocoso. Por ejemplo, en un suelo compresible pueden ocurrir hundimientos o inclinaciones importantes causadas por el momento de volteo de la estructura. Y en materiales granulares pueden llegar a ocurrir el fenómeno de la licuefacción, y para este efecto es imposible diseñar una cimentación.

#### *IV.4.1.5 Espectros de Diseño*

En general no es práctico, para los fines de diseño, predecir el comportamiento sísmico de una estructura basándose en espectros de respuesta. Entonces cuando tenemos que diseñar algo, recurrimos a un espectro obtenido como una curva media o envolvente del teórico.

En una región con frecuentes temblores, cuyas medias tienen diferentes características, es razonable trazar la curva media de cada uno de ellos, reducir todos a una intensidad común, haciendo que el área bajo la curva del espectro medio de velocidades sea la misma, y adoptar para diseño la envolvente de todos los espectros medios reducidos, multiplicados por un valor que tome en cuenta la intensidad esperada, las consecuencias de la falla de la estructura, su importancia y otros.

Lo grato de esto es que al obtener las aceleraciones máximas de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno durante un sismo, es posible obtener la envolvente de los espectros de respuesta para distintos grados de amortiguamiento y de comportamientos elásticos e inelásticos. (Para mayor información sobre estos espectros se recomienda ver la Ref. 7).

#### *IV.4.1.6 Clasificación de las Estructuras según su Destino de Acuerdo Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Sismo 2008*

Grupo A+: Son las estructuras de “gran importancia”, en que se requiere un grado de seguridad extrema. Su falla es inadmisibles porque si se presenta,

conduciría a la pérdida de miles de vidas humana, a un grave daño ecológico, social o económico o bien, impediría el desarrollo nacional o cambiaría el rumbo del país. Son estructuras de importancia extrema como las grandes presas y las plantas nucleares.

Grupo A: Estructuras en que se requiere un grado de seguridad alto. Construcciones cuya falla estructural causaría la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales de magnitud intensa o excepcionalmente alta, o que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o inflamables, así como construcciones cuyo funcionamiento sea esencial a raíz de un sismo. Tal es el caso de puentes principales, sistemas de abastecimiento de agua potable, subestaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, estadios, entre otras.

Grupo B: Estructuras en que se requiere un grado de seguridad convencional, construcciones cuya falla estructural ocasionaría pérdidas moderadas o pondría en peligro otras construcciones de este grupo o del grupo A, tales como naves industriales, locales comerciales, estructuras comunes destinadas a vivienda u oficinas, sala de espectáculos, hoteles, depósitos y estructuras urbanas, muros de retención, bodegas ordinarias, y bardas.

#### *IV.4.1.7 Clasificación de Construcciones según su Estructuración de Acuerdo Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Sismo 2008*

Tipo 1: Estructuras de Edificios: Estructuras comunes tales como edificios urbanos, naves industriales típicas, salas de espectáculos y estructuras semejantes, en que las fuerzas laterales se resisten en cada nivel por marcos continuos contraventados o no, por diafragmas o muros o por la combinación de estos.

Tipo 2: Péndulos Invertidos y Apéndices. Péndulos invertidos o estructuras en que 50% o más de su masa se halle en el extremo superior y tenga un solo elemento en la dirección de análisis o una sola hilera de columnas perpendicular a esta. Apéndices o elementos cuya estructuración difiera radicalmente, tales como tanques, parapetos, pretilas, anuncios, ornamentos, ventanales, muros y revestimientos, entre otros.

Tipo 3: Muros de Retención: Estructuras que por su altura soportan grandes presiones debidas a rellenos que aumentan con la presencia del agua.

Tipo 4: Chimeneas, Silos y Similares: Chimeneas y silos o estructuras semejantes en que la masa y rigidez se encuentran distribuidas continuamente a lo largo de su altura y donde dominen las deformaciones por flexión.

Tipo 5: Tanques y depósitos similares: Tanques elevados y depósitos superficiales, o estructuras semejantes destinadas al almacenamiento de líquidos que originan importantes fuerzas hidrodinámicas sobre el recipiente.

Tipo 6: Estructuras Industriales: Estructuras fabriles en que se requieren grandes áreas libres de columnas y donde se permite casi siempre colocar columnas relativamente cercanas unas de las otras a lo largo de los ejes longitudinales, dejando entonces grandes claros libres entre esos ejes. Estas estructuras están formadas en la mayoría de los casos por una sucesión de marcos rígidos transversales, todos iguales o muy parecidos, ligados entre sí por elementos de contraventeo que soportan los largueros para la cubierta y los recubrimientos de las paredes.

Tipo 7: Puentes: Estructuras destinadas a cubrir grandes claros. Las fuerzas laterales son soportadas principalmente por columnas trabajando en cantiléver.

Tipo 8: Tuberías: Estructuras destinadas al transporte de materiales líquidos o gaseosos, que cubren grandes distancias. La masa y la rigidez se distribuyen uniformemente a lo largo de estas estructuras.

Tipo 9: Presas: Son estructuras formadas por grandes masas de material, cuya estabilidad se proporciona fundamentalmente por su peso propio. Se destinan para contener una gran cantidad de agua, lo cual genera altas presiones hidrodinámicas.

Tipo 10: Aislamiento Sísmico y Disipación de Energía: Son elementos estructurales que forman parte del sistema que soporta la carga gravitacional de cualquier tipo de estructura. Estos elementos generalmente se diseñan para proporcionar protección sísmica en las estructuras a base de aislamiento y disipación de energía.

Tipo 11: Torres de Telecomunicación: Es una estructura esbelta de soporte para equipos de telecomunicación. Estos sistemas generalmente están constituidos por estructuras de celosía y pueden ser autoportantes o constar con sistemas de arriostramiento.

Tipo 12: Túneles: Son estructuras subterráneas construidas para establecer una comunicación a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo similar.

Tipo 13: Cimentación: La cimentación constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que de una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad de portante del suelo, y que las deformaciones producidas en este sean admisibles para la estructura.

#### *IV.4.1.8 Factores de Comportamiento Sísmico “Q”*

Para estructuras tipo edificios se consideraran las reducciones por ductilidad, sobrerresistencia y redundancia, los posibles cambios por emplear amortiguamientos al 5%, así como modificaciones por interacción suelo-estructura. Se consideran amplificaciones para estructuras con comportamiento hysteretico degradante ubicadas en suelos blando. Para ello el Manual de Obras Civiles de la CFE en el capítulo 3 de Diseño por Sismo, expresa lo siguiente:

Para estructuras de edificios se recomienda la adopción de los siguientes factores de comportamiento sísmico.

Q=4 cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. La resistencia en todos los entrepisos es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de acero, concreto reforzado o compuestos de los dos materiales, o bien por marcos contraventeados o con muros de concreto reforzado o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, en los que en cada entrepiso los marcos son capaces de resistir, sin contar muros ni contravientos, cuando menos 50 por ciento de la fuerza sísmica actuante.
2. Si hay muros de mampostería divisorios, de fachada o de colindancia ligados a la estructura se deben considerar en el análisis pero su contribución a la resistencia ante las fuerzas laterales solo se tomara en cuenta si son de piezas macizas, y, además, si los marcos, sean o no, Contraventeados, y los muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuesto de los dos materiales, son capaces de resistir al menos el 80% de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.
3. El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entrepiso entre la acción de diseño no difiere en más de 35% del promedio de este cociente para todos los entrepiso. Para verificar el cumplimiento de este requisito, se calculara la capacidad resistente de cada entrepiso tomando en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, particularmente los muros de mampostería divisorios, de fachada o de colindancia.
4. Los marcos y muros de concreto reforzado cumplen con los requisitos que se fijan para marcos y muros dúctiles en las normas técnicas complementarios para estructuras de concreto vigente.
5. Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para marcos con ductilidad alta que se fijan en las normas técnicas complementarias para estructuras metálicas vigente o están provistas de contraventeo excéntrico con estas normas.

Q=3 cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. Se satisfagan las condiciones 2 y 4 ó 5 y en cualquier entrepiso dejan de satisfacer las condiciones 1 ó 3 especificadas para el caso de Q=4, pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, por marcos rígidos de acero, por marcos de concreto reforzado, por muros de concreto o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, por combinaciones de estos y marcos o por diafragmas de madera. Las estructuras con losas planas y las de madera deberán además satisfacer que sobre el particular marcan las normas técnicas complementarias para estructuras de concreto vigentes. Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos por ductilidad alta o están provistos de contraventeo concéntrico dúctil, de acuerdo con las normas correspondientes vigentes.

Q=2 cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de contraventeo con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo que se especifica para los caso Q=4 y Q=5 por muros de mampostería o piezas macizas confinados por castillos, dalas, columnas o travesaños de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las normas correspondientes vigentes. También se usara Q=2 cuando la resistencia es suministrada por elemento de concreto prefabricado o presforzado, con las excepciones que sobre el partículas marcan las normas técnicas correspondientes vigente, o cuando se trate de estructuras de madera con las características que se indican en las normas técnicas de estructuras de maderas vigentes, o de algunas estructuras de acero que se indican en las normas técnicas correspondientes vigentes.

Q=1.5 cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. La resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por muros de mamposterías de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior que satisfacen los requisitos de las normas técnicas para estructuras de mamposterías vigentes, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para los casos Q=3 y Q=2, o por marcos y armaduras de madera, o por algunas estructuras de acero que se indican en las normas correspondientes vigentes.

Q=1 cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. En estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada, al menos parcialmente, por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre que se puede emplear un valor más alto que el recomendado en este manual, también en algunas estructuras de acero como se indica en las normas técnicas vigentes.

#### *IV.4.2 Condiciones de Regularidad*

##### *IV.4.2.1 Estructuras Regulares*

1. La distribución en planta de masas, muros y otros elementos resistentes, es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Estos elementos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
2. La relación entre la altura y la dimensión menor de la base no es mayor que 2.5.
3. La relación entre largo y ancho de la base no excede de 2.5.
4. En planta no se tienen entrantes ni salientes, cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la entrante o saliente.
5. En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
6. En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso cuya dimensión exceda 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la abertura. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no exceda, en ningún nivel, 20% del área de la planta.
7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110% ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior, El ultimo nivel de la construcción está exento de condiciones de peso mínimo.
8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior. El último piso de la construcción está exento de condiciones de área mínima. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.
9. En todos los pisos, todas las columnas están restringidas en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
10. La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.

11. En cada entrepiso, la excentricidad torsional calculada, estáticamente no excede en más de su 10% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad torsional.

#### *IV.4.2 .2 Estructuras Irregulares*

Toda estructura que no satisfaga una o más de los requisitos descritos en la sección anterior, será considerada como estructura irregular.

#### *IV.4.2 .3 Estructuras Fuertemente Irregular*

Una estructura será considerada fuertemente irregular si se cumple alguna de las condiciones siguiente:

1. La excentricidad torsional calculada estáticamente en algún entrepiso excede en más de 20% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad.
2. La rigidez o resistencia al corte de algún entrepiso en más de 100% a la del piso inmediatamente inferior.
3. No cumple simultáneamente las condiciones 10 y 11 descritas en el punto IV.4.2.1.

#### *IV.4.3 Tipos de Análisis*

Existen diversos procedimientos para calcular las solicitaciones que el sismo de diseño introduce en la estructura. Los métodos aceptados por las normas tienen distinto nivel de refinamiento. Para el análisis de estructuras de edificios podemos recurrir a tres tipos de análisis.

- a) Método Simplificado
- b) Análisis Estático
- c) Análisis Dinámico

El método simplificado es el más simple de utilizar, sin embargo solo es aplicable a estructuras regulares con altura no mayor a 13 m, que cumplan simultáneamente con todos los requisitos indicados en su descripción. El método estático, es aplicable a edificios regulares cuya altura sea menor o igual que 30 m y estructuras irregulares con altura no mayor de 20 m. En terreno rocoso, estos límites se incrementan a 40 y 30 m, respectivamente. El análisis dinámico es aplicable en todos los casos, cuando no se cumplan los requisitos para emplear el método simplificado y análisis estático.

#### *IV.4.3.1 Método Simplificado de Análisis Sísmico*

El método simplificado solamente será aplicado al análisis de estructuras que cumplan simultáneamente con los tres requisitos siguientes:

1. En cada planta, al menos el 75% de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre si mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos Muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales y deberán satisfacer las condiciones que establecen las correspondientes normas técnicas complementarias vigentes para estructuras de mampostería, concreto estructuras metálicas y madera. Para que la distribución de elementos resistentes pueda considerarse sensiblemente simétrica, la excentricidad torsional en dos direcciones ortogonales, calculada estáticamente, no deberá exceder el 1% de la dimensión en planta del edificio, medida paralelamente a la excentricidad. Esta excentricidad se podrá estimar como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muro, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección del análisis.
2. La relación entre la longitud y ancho de la planta de la estructura no excederá de 2.0 a menos que, para fines de análisis sísmico, dicha planta se puede suponer dividida en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga esta restricción y la indicada en el inciso 1 y cada tramo resista la fuerza cortante que le corresponda calculada como se indicara al final de esta sección.
3. La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base de la estructura no excederá de 1.5 y la altura de la estructura no será mayor de 13 m.

Para aplicar este método se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, momentos torsionantes y momento de volteo. Únicamente será necesario verificar que en cada piso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectadas en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en el piso, empleando los coeficientes sísmicos reducidos por ductilidad, redundancia y sobrerresistencia.

#### *IV.4.3.2 Método de Análisis Estático*

El método estático es aplicable a edificios regulares cuya altura sea menor o igual que 30 m y estructuras irregulares con altura no mayor a 20m. En terreno rocoso, estos límites se incrementan a 40 y 30 m, respectivamente.

El método de Análisis Estático consta de los siguientes pasos:

1. Calcular fuerzas laterales aplicadas en los centros de masa de los pisos que produzcan efectos equivalentes a la acción sísmica.
2. Distribuir las fuerzas laterales del piso 1 y los momentos torsionantes asociados a estas fuerzas entre los sistemas resistentes a carga lateral que conforman la estructura, como son marcos, muros o combinaciones de estos.
3. Analizar cada sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan.

Las fuerzas equivalentes consideradas en un análisis estático no tienen relación directa con el comportamiento de la estructura ante un sismo. El objeto que se persigue, es el de obtener una determinada estructura con determinada resistencia lateral capaz de resistir un movimiento sísmico sin sufrir daños estructurales importantes.

#### *IV.4.3.2.1 Cálculo de las Fuerzas Sísmicas mediante un Análisis Estático*

En el análisis estático, para calcular las fuerzas cortantes de diseño a diferentes niveles de un edificio se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales que actúan en los puntos en los que se suponen concentradas las masas de las estructuras. Cada una de las fuerzas se obtiene con el producto de la masa correspondiente, por un coeficiente que varía linealmente desde un valor nulo en la base o nivel a partir del cual de las deformaciones de la estructura pueda ser apreciable, hasta un máximo en el extremo superior de tal modo que la relación  $V/Q$  en la base sea igual a " $C/Q$ ", pero no menor que " $a_0$ ".

Haremos la suposición empleando la fig. 24, es una estructura de varios niveles a las que aplicaremos el criterio de análisis sísmico estático.

La fuerza aplicada en un piso cualquiera "i", es

$$F_i = W_i \cdot a_i = W_i \cdot \frac{h_i}{H} a \quad (\text{ec. 21})$$

La fuerza aplicada en un piso cualquiera "i", es

$$V = \sum_{i=1}^n F_i = a \sum W_i \frac{h_i}{H}$$
$$V = \frac{C}{Q} W \quad (\text{ec. 22})$$

En donde

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (\text{ec. 23})$$

Igualando

$$V = \frac{a}{H} \sum_{i=1}^n W_i h_i$$

$$\frac{a}{H} = V \frac{1}{\sum W_i h_i}$$

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V$$

(ec. 24)

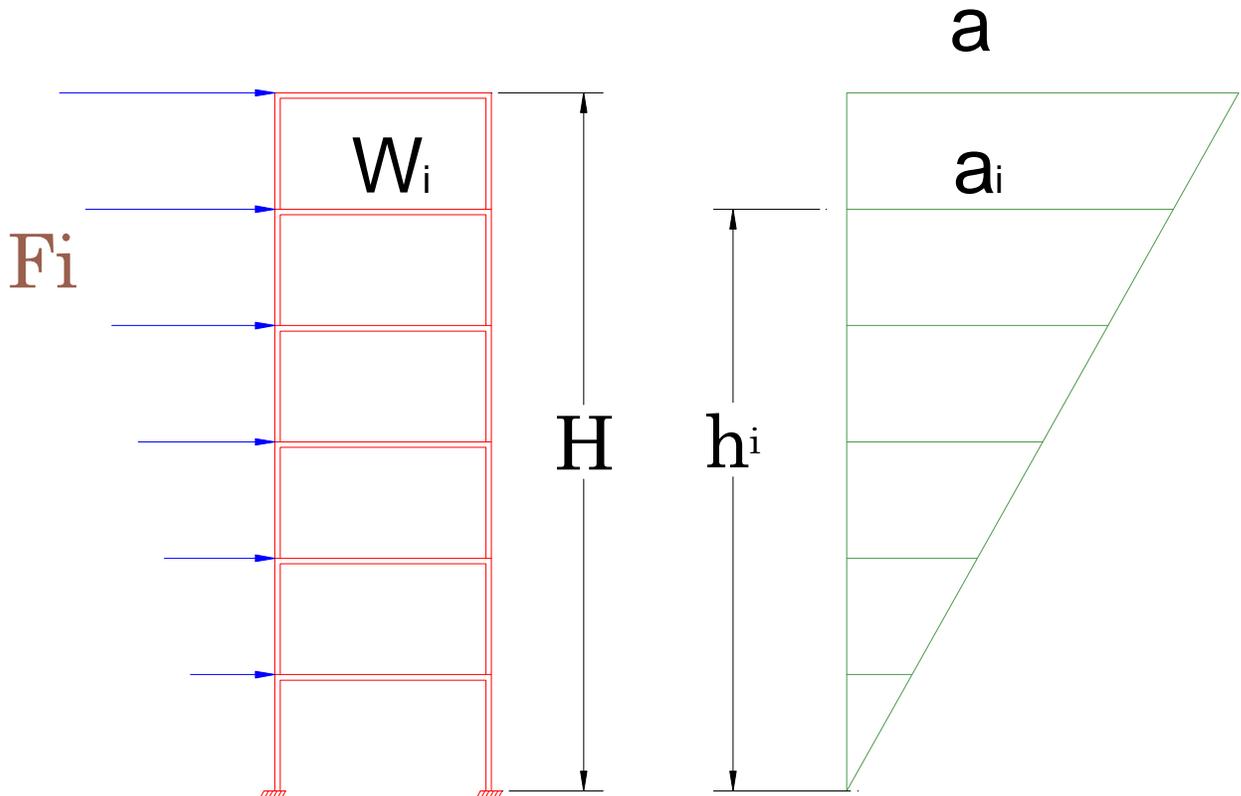


Fig. 24.- Representación del modelo de análisis sísmico estático

Algunos reglamentos admiten unas reducciones en las fuerzas cortantes dependiendo del periodo fundamental de la estructura. Para su determinación debería realizarse estrictamente, un análisis dinámico de la misma, pero para estructuras regulares son admisibles, estimaciones aproximadas del periodo. Y este tipo de procedimientos se mencionan a continuación, donde  $C_s$  que es el coeficiente de cortante basal, tendrá por medio de este análisis a ser reducido por medio del cálculo de espectro debido a la ductilidad de la estructura.

Cuando la rigidez a las cargas laterales es proporcionada exclusivamente por marcos rígidos de concreto o acero:

$$T = C_T H^{0.75} \quad (\text{ec. 25})$$

En que  $C_T$  es una constante que vale 0.08 para marcos de concreto y 0.06 para marcos de acero.  $H$ , es la altura total de la estructura en metros.

Cuando en la rigidez a cargas laterales participan otros elementos diferentes a marcos rígidos, como muros o arriostramientos de acuerdo al RCDF-2004:

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{L}} \quad (\text{ec. 26})$$

En que  $L$  es la longitud total del edificio en la dirección considerada en m.

Una forma más precisa para la determinación del periodo fundamental es la que recomienda el RCDF-2004.

$$T = 2\pi \left[ \frac{1}{g} \sum \frac{W_i x_i^2}{F_i x_i} \right]^{1/2} \quad (\text{ec. 27})$$

Donde  $W_i$ , es el peso de la masa ubicada en el nivel  $i$ ,  $F_i$  la fuerza que según el análisis estático debe aplicarse en el nivel  $i$  y  $x_i$  es el desplazamiento lateral que las fuerzas producen en el nivel en cuestión.

Una vez calculado el valor de  $T$  y según su situación en el espectro de diseño, se aplicaran diversos coeficientes para calcular la fuerza por sismo aplicadas en la estructura.

Sí

$$T < T_1 \quad C' = \frac{[a_0 + (C - a_0)] T}{Q' T_1}$$

$$T_1 < T < T_2 \quad \text{No se permite reducción al valor de } C$$

$$T > T_2 \quad F_i = [K_1 h + k_2 h^2] * \frac{C}{Q} W_i$$

$$K_1 = \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} * \left[ \frac{T_2}{T_1} \right]^r$$

$$K_2 = 0.5r \left[ 1 - \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^r \right] * \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}$$

(ecs. 28,29 y 30)

Es importante no olvidar, que para el cálculo de las deformaciones de la estructura no deben reducirse los coeficientes sísmicos, por concepto de ductilidad.

#### IV.4.3.2 Momento de Volteo

Es necesario revisar las condiciones de estabilidad en que se encuentra una estructura y tomar las previsiones necesarias en lo referente al volteo e la misma debido a las fuerzas sísmicas. En este análisis, se supone que la estructura esta empotrada en el suelo mientras que esta libre en el otro extremo a semejanza de una viga en voladizo. Teniendo en cuenta los valores conservadores de las fuerzas sísmicas obtenidas a partir del método estático, es conveniente reducir el valor del momento de volteo obtenido a través de estas fuerzas. El momento de volteo reducido no podrá ser menos que el producto de la fuerza cortante en el nivel n multiplicado por su distancia al centro de gravedad de la parte de la estructura que se encuentra por encima del nivel analizado.

#### IV.4.3.3 Momento Torsionante

En general en un nivel cualquiera, no coincidirá la resultante de las fuerzas producidas por el sismo con la resultante de las fuerzas resistentes del entrepiso. La fuerza sísmica actúa en el centro de las masas de cada piso, mientras la fuerza resistente pasa por el centro de torsión o centroide de rigidez de los elementos resistentes en el sentido del sismo. Esto produce un par de torsión de magnitud igual al producto de la fuerza cortante por su distancia al centro de torsión o punto por el que debe pasar la fuerza sísmica con objeto de que el movimiento relativo entre dos niveles, sea de traslación exclusivamente. El centro de torsión es un cociente de la suma del producto de las rigideces de los elementos, por su distancia entre la suma de las rigideces del eje perpendicular a este.

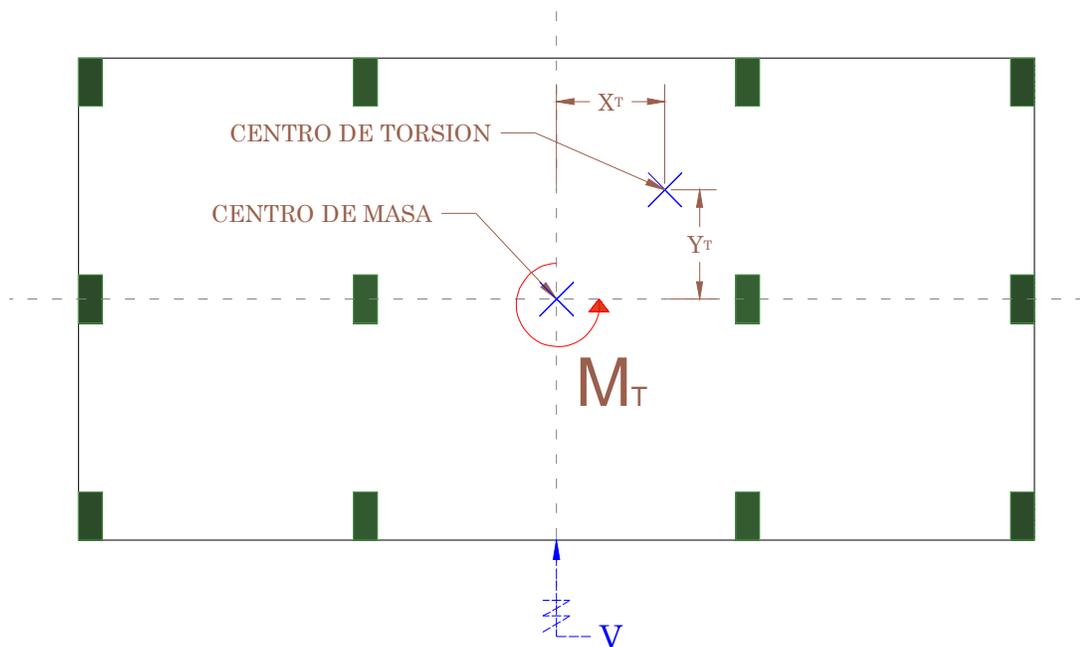


Fig. 25.- Ejemplo de la ubicación del Centro de Torsión y Centro de Masas.

*IV.4.3.3 Método de Análisis Dinámico*

En los métodos dinámicos se realiza una idealización de la estructura a base de masas y resortes como se muestra en la fig. 26. El método de análisis dinámico consta de los mismos pasos básicos que el método de análisis estático, con la diferencia de que las respuestas laterales aplicadas en los centros de masa de los pisos se determinan a partir de la respuesta dinámica de la estructura. Pueden emplearse como métodos dinámicos el Análisis Modal Espectral y el Análisis Paso a Paso, o cálculo de respuestas ante registros de aceleraciones específicos.

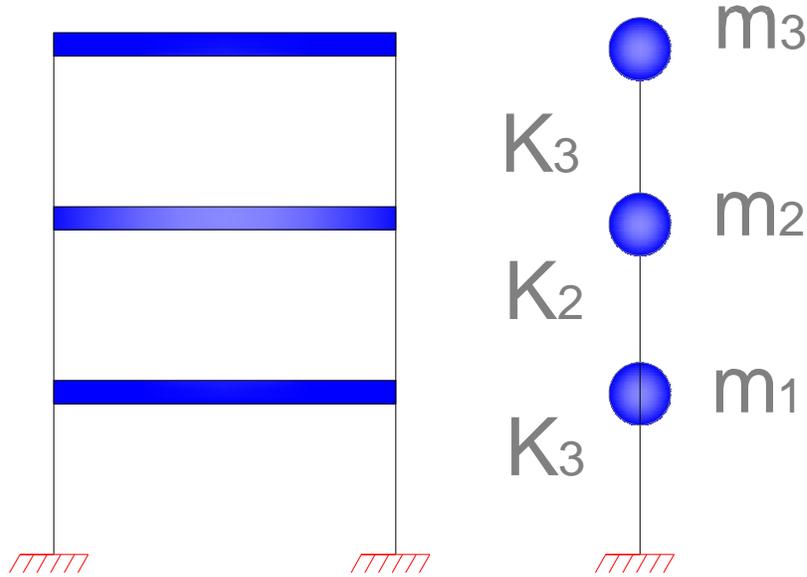


Fig. 26.- Representación de un edificio por medio de masas y constantes de rigidez, comúnmente llamado “sistema de varios grados de libertad”.

*IV.4.3.3.1 Análisis Modal Espectral*

Cuando se usa el análisis modal espectral, si en el análisis se desprecia el acoplamiento entre los grados de libertad de traslación horizontal y de rotación respecto a un eje vertical, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.4 seg, pero en cualquier caso se deberán considerar al menos los tres primeros modos de traslación en cada dirección de análisis. Cuando se reconozca explícitamente este acoplamiento, deberá incluirse el efecto de los modos naturales que, ordenados según valores decrecientes de sus valores de vibración sean necesarios para que la suma de sus pesos efectivos sea mayor o igual que el 90% del peso total de la estructura. El peso efectivo de un modo “n” se determina de la siguiente manera:

$$W_{cn} = \frac{(Z_n^T M_e J)^2}{Z_n^T M_e Z_n} g \tag{ec. 31}$$

Donde

$M_e$  es la matriz de masas de la estructura

$Z_n$  es el n-ésimo modo natural de vibración, formados por los desplazamientos de la estructura con base indeformable

$J$  es un vector con componentes iguales a 1.0

Puede despreciarse el efecto dinámico torsional de excentricidades estáticas. En tal caso, la influencia de las excentricidades estática y accidental se calculara como se especificó en el análisis estático.

Dado que las respuestas modales no ocurren simultáneamente, la superposición directa de ellas es una cota superior de la respuesta total de la estructura. Por ellos las respuestas modales  $S_n$ , donde  $S_n$  puede ser fuerza cortante, desplazamiento lateral, momento de volteo, etc., se combinaran para calcular las respuestas totales  $S$  de acuerdo con el criterio probabilista de la suma de los cuadrados, siempre que los periodos naturales difieran al menos 10% entre sí.

$$S = \sum_{n=1}^{N_e} S_n^2 \quad (\text{ec. 32})$$

#### *IV.5 Cargas Accidentales debidas a Viento*

##### *IV.5.1 Diseño por Viento*

Esencialmente el viento es un aire en movimiento y al igual que cualquier otro fluido, produce distintas presiones sobre los objetos que se le interponen. Cuando un sólido está colocado en la corriente de un fluido, las partículas de este último desvían su camino y pasan rozando la superficie del sólido. Si la velocidad es muy pequeña envuelve prácticamente al sólido. Al aumentar la velocidad del aire, sus partículas envuelven al sólido en la cara frontal o también llamado “barlovento”, mientras que en la zona de atrás o “sotavento” las partículas se separan violentamente, creando una serie de alteraciones que se traducen en cambios de velocidad y por lo tanto de presión con el tiempo.

Todas las fuerzas debidas al viento son dinámicas en el sentido de que son producidas por un fluido en movimiento. Bajo determinadas circunstancias un cuerpo sumergido en un fluido con velocidad constante experimenta fuerzas que se puedan denominar estáticas. En la realidad, no suele presentarse este fenómeno, ya que como se ha explicado, generalmente existen variaciones en la velocidad de un fluido o bien se presentan determinadas características locales o de geometría de la estructura que producen variaciones en el tiempo de las presiones ejercidas sobre el sólido. Estas variaciones pueden ser tanto en la magnitud como en la ley de distribución de fuerzas. En algunos casos se puede representar la acción del viento como una fuerza estática de determinadas características. En otros casos esto no será suficiente y habrá que tomar en cuenta, además, los efectos dinámicos

producidos en el sólido, por una fuerza que es función del tiempo. En algunas estructuras se podrán predecir los efectos dinámicos del viento, pero en otras será necesario realizar pruebas experimentales con modelos físicos o en un túnel de viento.

En las diferentes regiones de la República Mexicana existen diferentes probabilidades de que se presente la acción de vientos extraordinarios, dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones topográficas locales. Por ejemplo, las costas del Golfo de México son afectadas en el verano y el otoño por los huracanes que transitan de sur a norte y provocan vientos de muy altas velocidades, pero al penetrar estos huracanes tierra adentro pierden rápidamente su potencia; por lo tanto, la probabilidad de que se presenten vientos de muy altas velocidades es mucho menor en el interior del país que en las costas.

El flujo del aire de estos fenómenos no es uniforme, los gradientes de temperatura y la rugosidad de la superficie del terreno causan turbulencias. En un huracán el movimiento de las masas de aire se ve restringido por la fricción con la superficie del terreno, que hace que la velocidad sea prácticamente nula en contacto con el terreno y crezca con la altura hasta alcanzar la llamada velocidad gradiente.

En muchas partes del mundo podemos encontrar fallas estructurales debidas a las fuerzas del viento. Existen fracasos en puente como fueron el “Brighton Chain Pier Bridge” (1836, Brighton, Inglaterra), el “Tacoma Narrows Bridge” (1854, Washington, EUA), el “Chester Bridge” (1944, Illinois, EUA), además existen ejemplos de falla en edificaciones debidas al viento, por ejemplo el colapso del edificio “Unión Carbide” en Toronto, Canadá en 1958. En la República Mexicana se han tenido problemas con muchas estructuras sobre todo en torres para líneas de transmisión, torres para antenas, estructura para anuncios y naves industriales.

Debido a que nuestra dirección en el desarrollo de la tesis apunta hacia el diseño de edificios altos, es importante mencionar, que en este tipo los empujes debidos al viento se hacen considerables y las fuerzas internas por este efecto rigen el dimensionamiento de los elementos de la estructura principalmente, a menos que resulten más críticos los efectos debidos al sismo.

#### *IV.5.1.1 Clasificación de las Estructuras según su Destino y por las Características de su Respuesta ante la Acción del Viento de Acuerdo Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Viento*

De acuerdo a su destino e importancia las construcciones se clasifican igual que para el caso de diseño sísmico, teniendo en cuenta la importancia y la consecuencia de la falla.

De acuerdo a su respuesta ante la acción del viento:

- a) Tipo 1: Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas, techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varié esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones cuya relación entre la altura y dimensión menor en planta es mayor que 5 o cuyo periodo natural de vibración excede de 1 segundo. Se excluyen también las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de presfuerzo u otra medida, se logre limitar la respuesta estructural dinámica.
- b) Tipo 2: Comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas de su sección transversal las hace especialmente sensible a las ráfagas de corta duración, y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes. Se cuenta en este tipo, los edificios con esbeltez, definida como la relación entre la altura y la mínima dimensión en planta, mayor que 5, o con un periodo fundamental mayor que 1 segundo.
- c) Tipo 3: Comprende estructuras como las definidas en el Tipo 2 en que además de la sección transversal propicia la generación periódica de vórtices o remolinos de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura.
- d) Tipo 4: Comprende las estructuras que por su forma o por lo largo de sus periodos de vibración presentan problemas aerodinámicos especiales, entre ella están las cubiertas colgantes que no pueden incluirse en el Tipo 1.

*IV.5.1.2 Requisitos Generales para el Análisis y Diseño Estructural por Viento de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Viento*

Las variables que deben considerarse como requisitos, para resistir la acción del viento son:

1. Dirección de Análisis: Las construcciones se analizaran de manera que el viento pueda actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí. Se elegirán aquellas que representen las condiciones más desfavorables para la estabilidad de la estructura, o parte de la misma en estudio, tomando en cuenta la rugosidad del terreno según la dirección del viento. Para definir la rugosidad del terreno alrededor del sitio de desplante, deben considerarse los obstáculos y construcciones de los alrededores.
2. Factores de Carga y Resistencia: Se tomaran los lineamientos establecidos en el manual de diseño por viento de la CFE, actualizados.

3. Seguridad contra el Volteo: Debe verificarse la seguridad de las construcciones sin considerar las cargas vivas que contribuyen a disminuir el volteo. Para las estructuras pertenecientes a los Grupos B y C, la relación entre el momento estabilizados y el actuante no deberá ser menos que 1.5 y, para las del grupo A, no deberá ser menor que 2.
4. Seguridad contra el Deslizamiento: Al analizar la posibilidad, debe considerarse nulas todas las cargas vivas, la relación entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza que provoca el desplazamiento horizontal, será por lo menos igual que 1.5 para las estructuras de los Grupos B y C, para las del grupo A, la relación deberá ser por lo menos igual que 2.
5. Seguridad contra el Levantamiento: Las estructuras ligeras o provisionales, así como techos y recubrimientos de construcción, pueden presentar problemas al generarse fuerzas de levantamiento debidas al viento. Al analizar esta posibilidad, se consideran nulas las cargas vivas que disminuyan el efecto del levantamiento.
6. Presiones Interiores: Se presentan en estructuras permeables, que son aquellas con ventanas, ventilas o puertas que permiten la entrada y salida del aire de la construcción. El efecto de estas presiones se combinara con el de las presiones exteriores, de manera que el diseño considere los efectos más desfavorables.
7. Seguridad durante la Construcción: En esta etapa es necesario establecer las medidas necesarias para garantizar la seguridad de las estructuras bajo la acción del viento. En esta condición, las estructuras se consideran del Grupo C al que corresponde una velocidad de diseño con un periodo de retorno de diez años. Esta condición aplicara también a estructuras provisionales que permanezcan durante un periodo menor o igual que seis meses, siendo también pertenecientes al Grupo C.
8. Efectos de Grupo debido a Condiciones Vecinas: En este se acepta que la respuesta de la estructura en estudio es independiente de la influencia, favorable o desfavorable, que otras construcciones cercanas provoquen al aparecer la acción del viento. La proximidad y disposición de ellas pueden generar presiones locales adversas ocasionar el colapso de una o varias estructuras del grupo.
9. Análisis Estructural: Se pueden aplicar los criterios generales de análisis que se describirán más adelante.
10. Interacción suelo-estructura: Cuando el suelo del sitio de desplante sea blando o compresible, debe considerarse los efectos que en respuesta ante la acción del viento, pueda provocar la interacción entre el suelo y la construcción. Al considerar la interacción del suelo-estructura se deben seguir los lineamientos del manual de Diseño por Sismo.

*IV.5.1.3 Acciones del Viento que deben considerarse de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Viento*

Acción 1. Empujes Medios: Son causados por presiones y succiones del flujo medio del viento, tanto exteriores como interiores y generan presiones globales (para el diseño de la estructura en conjunto) y locales (para el diseño de un elemento estructural o de recubrimiento en particular). Se considera que estos empujes no varían con el tiempo.

Acción 2. Vibraciones Generadas por Ráfagas en la Dirección del Viento: Las generan fuerzas variables, paralelas al flujo medio, causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye en la respuesta estructural.

Acción 3. Vibraciones transversales al Flujo y Torsión: La presencia de estructuras cilíndricas o prismáticas dentro del flujo del viento, genera desprendimiento de vórtices alternantes que provocan fuerzas y vibraciones transversales en dirección del flujo. Por otro lado la posible distribución asimétrica de presiones en las estructuras puede ocasionar fuerzas de torsión sobre estas.

Acción 4. Inestabilidad Aerodinámica: Es generada por la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por: la geometría de la construcción, los distintos ángulos de incidencia del viento, las propiedades dinámicas de la estructura y el cambio de amortiguamiento aerodinámico.

*IV.5.2 Procedimiento para Evaluar las Acciones Generadas por Viento*

Para evaluar las fuerzas inducidas sobre las estructuras al paso del flujo del viento, se proponen principalmente dos métodos analíticos en modelos representativos: el Análisis Estático y el Análisis Dinámico.

El Análisis Estático: se aplica para estructuras o elemento estructurales suficientemente rígidos del Tipo 1 como son los edificios de baja y mediana altura, asimismo este procedimiento debe aplicarse para el diseño de recubrimientos, tales como cancelerías y de los elementos de soporte, que formen parte de la fachada de cualquier tipo de estructura.

El Análisis Dinámico: este procedimiento permite evaluar las cargas por viento considerando la respuesta amplificada por la interacción dinámica entre el flujo del viento y la estructura, particularmente amplificada por la interacción dinámica entre el flujo del viento y la estructura particularmente de aquellas estructuras altas y esbeltas con amortiguamiento bajo.

Cabe mencionar que existe un tercer método, en la cual es necesario acudir a un experto en la materia “El Túnel de Viento”, este procedimiento se usa para

evaluar la acción del viento en construcciones mayores a los 200 m o en claros mayores de 100 m, o en ocasiones cuando no exista información disponible en reglamentos o en literatura técnica.

#### *IV.5.3 Análisis Estático de Acuerdo al Manual de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Viento*

Para aplicar este método no es necesario tener un conocimiento detallado de las propiedades dinámicas de las construcciones, ya que la contribución de las presiones medias (estáticas) producidas por el viento es la de mayor trascendencia. Aun cuando se hayan dado recomendaciones para ciertos tipos de estructuras en los que no es necesario calcular el periodo fundamental, es deseable que, en la medida de lo posible, se determine este, para seleccionar en forma más precisa el procedimiento de obtención de cargas (estático o dinámico), debido a que en ocasiones pueden resultar inconveniente el usar este método en construcciones de baja altura y muy flexibles, debido a que pueden haber problemas de resonancia.

- a) Este método se aplica cuando la relación  $H/D \leq 5$  en donde H es la altura de la construcción y D es la dimensión mínima de la base.
- b) El periodo fundamental de la estructura es menor o igual a un segundo.

Para construcciones cerradas, techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumpla con lo siguiente:

- c) La altura de la construcción es menor o igual que 15 metros.
- d) La estructura no está expuesta extraordinariamente a ninguna dirección del viento, es decir no se encuentre en un terraplén.
- e) La planta de la estructura es regular o formada por una combinación de rectángulos
- f) La relación H/D es menor que cuatro para construcciones cerradas y menor que uno, para techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes en voladizo.
- g) Para construcciones cerradas y techos aislados, la pendiente de sus techos inclinados o a dos aguas, no exceda los 20°, y en techos de claros múltiples deberá ser menor que 60°, para toldos y cubiertas adyacentes la pendiente no será mayor que 5°.

##### *IV.5.3.1 Cálculo de las fuerzas sobre construcciones cerradas o edificios*

Una estructura cerrada es la que se compone de muros y techos, dispuestos de tal manera que forman una construcción prismática; dichos techos y muros no necesariamente son impermeables, pueden tener aberturas, tales como ventanas o puertas, por donde el flujo del viento puede penetrar y generar presiones interiores.

Así mismo, una estructura de planta regular en la que uno de sus lados está completamente abierto se considera como cerrada con una abertura dominante en ese lado.

Las fuerzas estáticas que se ejercen sobre los muros y techos de estructuras cerradas, serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores y deben calcularse con la siguiente ecuación.

$$F_{es} = p_z A_z \quad (\text{ec. 33})$$

Con:

$$p_z = (p_e - p_i) \quad \text{para construcciones cerradas}$$

Ó

$$p_z = p_n \quad \text{para el caso en el que aplique la presión neta}$$

En donde:

$F_{es}$  es la fuerza estática resultante del viento que actúa perpendicularmente sobre las superficies o elementos estructurales, en N.

$p_z$  es la presión de diseño a la altura  $z$ , en Pa

$p_e$  es la presión exterior, en Pa

$p_i$  es la presión interior, en Pa

$p_n$  es la presión neta, en Pa

$A_z$  el área de la estructura o parte de ella, en  $m^2$ , a la altura  $Z$ , sobre la que actúa la presión de diseño,  $p$ , ella corresponderá:

- a) A una parte de alguna de las superficies de la construcción; la presión de diseño que corresponde a una velocidad y dirección del viento dada, se verá afectada por el coeficiente de presión exterior o interior, el cual a su vez depende de la forma de la estructura.
- b) A la superficie de la construcción o de un elemento estructural proyectada sobre un plano normal al flujo del viento; la presión de diseño se verá afectada por el coeficiente de arrastre,  $C_a$ , según la forma de la construcción o del elemento estructural.
- c) A las superficies que se indiquen en incisos correspondientes, cuando se empleen coeficiente de fuerzas,  $C_f$ , o coeficiente de presión neta, para evaluar la fuerza total de diseño.

Las fuerzas y los momentos de volteo totales que actúan sobre una construcción deberán obtenerse sumando los efectos de las presiones exteriores e interiores, o de las presiones netas, que se presentan sobre sus superficies. La convención de los signos para presiones exteriores e interiores que aquí se adopta, es que éstas serán positivas cuando ejerzan empuje y negativas cuando ejerzan una succión en la superficie sobre la que actúa.

La figura 27 ilustra la convención de signos adoptada, la cual ya está considerada en los valores de los coeficientes de presión definidos por este manual de diseño por viento.

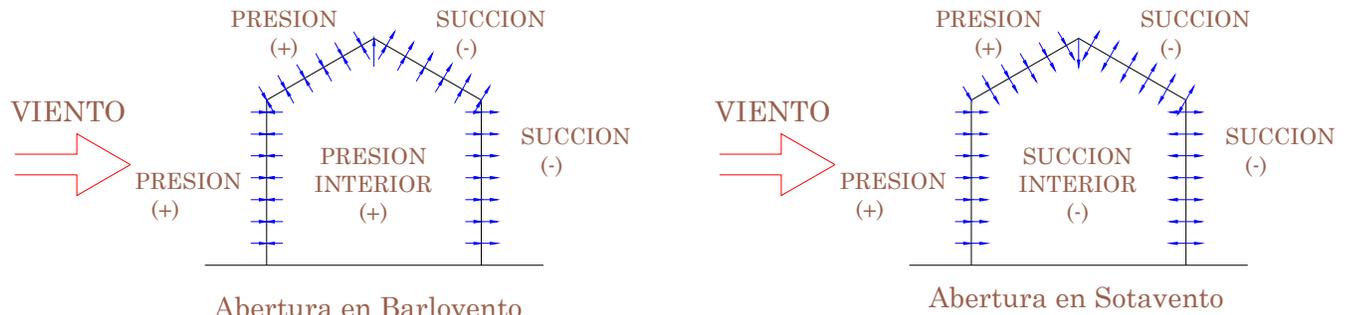


Fig. 27.- Convención de Signos para las Presiones ejercidas por el Viento en una Edificación con abertura en Barlovento o Sotavento.

La presión exterior,  $p_e$  sobre una de las superficies de una construcción cerrada se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$p_e = C_{pe} K_A K_L q_z \quad (\text{ec. 34})$$

En donde

- $p_a$  es la presión, en Pa
- $C_{pe}$  es el coeficiente de presión exterior, adimensional
- $K_A$  es el factor de reducción de presión por tamaño de área, adimensional
- $K_L$  es el factor de presión local y adimensional
- $q_z$  la presión dinámica de base del viento, en Pa

Debido a que son muchos los coeficientes que se deben tomar en cuenta, solamente daré la descripción de cada uno de ellos y para mayor información se deberá consultar el manual referente de la CFE.

- 1) Coeficiente de presión exterior y coeficiente de presión interior: estos coeficientes se definen sobre las superficies de muros y techos de construcciones cerradas. Las presiones que se obtienen al aplicarlos, corresponden a cada una de las superficies de la estructura.
- 2) Coeficiente de presión neta: Se aplica a techos aislados y a letreros de baja altura, obteniéndose la presión total sobre estos, es decir, incluye los efectos de empuje y succión simultaneo.
- 3) Coeficiente de arrastre: Al aplicar este coeficiente se obtiene la presión total, en la dirección del flujo del viento, sobre una construcción determinada; tal es el caso, por ejemplo de chimeneas y torres de celosía.
- 4) Coeficiente de Fuerza: Se emplea principalmente en los elementos estructurales aislados (ángulos, perfiles estructurales, etc.) para

obtener las fuerzas en dos direcciones ortogonales definidas por los ejes de la sección transversal del elemento, el eje x,  $F_x$ , y el eje Y,  $F_y$ . Dichos ejes no coinciden necesariamente con la dirección del flujo de viento.

Un aspecto que adquiere importancia para los edificios altos, es relativo a los efectos del momento de volteo que corresponde a las fuerzas horizontales producidas por el viento, debido a la cual se generan fuerzas axiales en las columnas y podría llegarse a presentar el volteo global de la construcción. El momento de volteo se calcula a partir de la resultante de las fuerzas del viento y es necesario considerar una excentricidad accidental para tomar en cuenta la posibilidad de que la distribución de los empujes con la altura sea más desfavorable que la especificada por el código. La fig. 28 hace mención a lo que expresa el RCDF-2004.

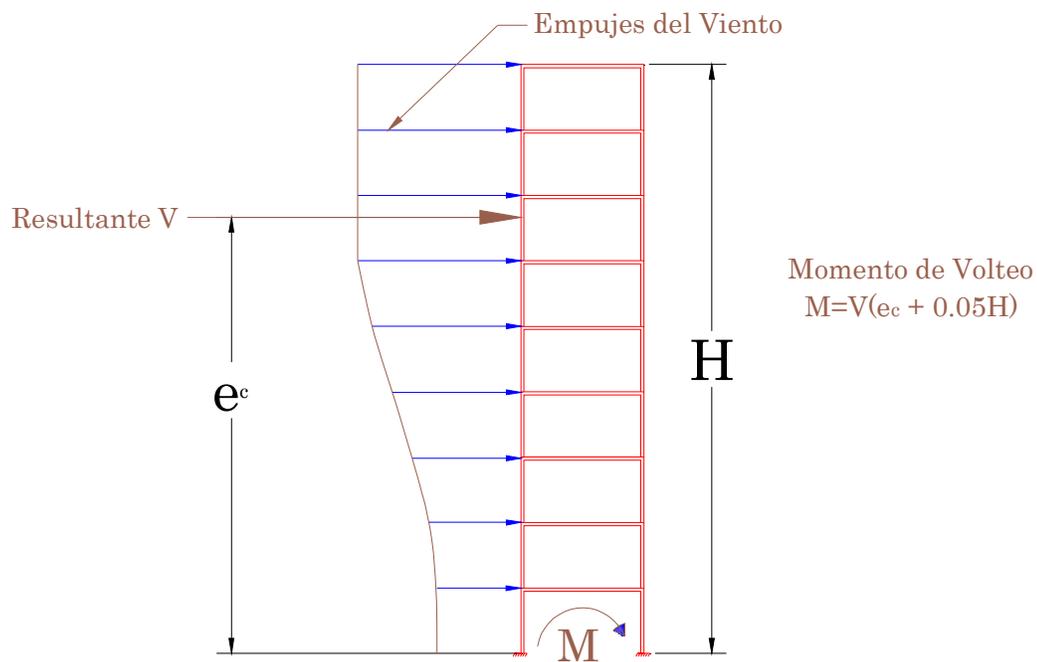


Fig. 28.- Momento de Volteo en un edificio por las fuerzas laterales debidas al viento.

#### *IV.5.4 Análisis Dinámico de Acuerdo al Manual de Obras Civiles de la CFE para el Diseño por Viento*

Para determinar los efectos del viento utilizando el método dinámico debe tomarse en cuenta las características tanto de la turbulencia en el aire para el sitio de interés, que a su vez, está en función de la altura sobre el nivel del suelo y de la rugosidad de la superficie del terreno circundante, como las de la construcción, tales como la altura, ancho, frecuencia natural de vibración y amortiguamiento. A través de diversos estudios se ha establecido que una estructura dinámicamente sensible al viento, será la que tenga un periodo natural mayor que 1.0 seg.

Este tipo de estructuras presentan una combinación importante en la respuesta dinámica resonante. Asimismo se ha planteado y observado que la respuesta máxima o pico de la estructura, paralela al flujo del viento, puede descomponerse en dos componentes, una llamada respuesta de fondo, debida al flujo medio del viento y otra llamada respuesta resonantes, debido a las fluctuaciones del viento causadas por la turbulencia en el flujo y a las propiedades aerodinámicas de la estructura.

El procedimiento de análisis dinámico que se explica a continuación, se explicara para calcular las cargas equivalentes por viento que actúan sobre las estructuras sensibles a los efectos dinámicos producidos por la turbulencia del viento, en el cual se denota que las estructuras tienen un comportamiento elástico lineal.

Para hacer uso y aplicación del método de análisis dinámico, se recomienda que la estructura cumpla con alguno de los puntos siguientes:

- ✚ Si el periodo de la estructura es mayor que cinco segundos, este procedimiento no es aplicable y deberá consultarse a un experto en la materia.
- ✚ La relación  $H/D > 5$ , en donde H es la altura de la construcción y D la dimensión mínima de la base, ambas en m
- ✚ El periodo fundamental de las estructura es mayor que un segundo y menor igual a cinco segundos.

#### *IV.5.4.1 Determinación de la Velocidad Media de Diseño, $V'_D$*

Debido a que la formulación de la respuesta dinámica planteada por diversos códigos internacionales en términos de la velocidad asociada a un tiempo de promediación de diez minutos, los efectos de la interacción dinámica entre el flujo del viento y una estructura se evalúan a partir de la velocidad media de diseño  $V'_D$  en m/s. Por simplicidad práctica, se presenta la siguiente ecuación, la cual transforma la velocidad regional de ráfaga,  $V_R$ , en la velocidad de diseño con tiempo de promediación de diez minutos. El factor donde se realiza esta transformación esta dado por el factor de exposición para la velocidad media,  $F'_{rz}$ , que a continuación se presenta.

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_R}{3.6} \quad (\text{ec. 35})$$

En donde:

$V_R$  es la velocidad regional de ráfaga establecida en las recomendaciones del manual de obras civiles de la CFE, en el diseño por viento.

$F_T$  el factor de topografía definido por el sitio donde se desplantara la estructura.

$F'_{rz}$  el factor de exposición para la velocidad media, se explicara en seguida.

*IV.5.4.2 Factor de exposición para la velocidad media,  $F'_{rz}$*

El factor de exposición para la velocidad media, considera el efecto combinado de las características de rugosidad local y de la variación de la velocidad con la altura; se define como:

$$F'_{rz}=0.702\underline{b} \quad \text{Sí} \quad Z \leq 10 \quad (\text{ec. 36})$$

$$F'_{rz}=0.702\underline{b} (0.10Z)^{\alpha'} \quad \text{Sí} \quad 10 < Z \leq 200 \quad (\text{ec. 37})$$

En donde

Z es la altura medida a partir del nivel medio del terreno, en la cual se desea calcular la velocidad media del viento, en m.

$\underline{b}$  un coeficiente, adimensional obtenido de una tabla del M.O.C. de la CFE  
 $\alpha'$  el exponente, adimensional, de la variación de la velocidad con la altura, para categoría de rugosidad del terreno; corresponde a un intervalo de promediación de diez minutos. Cuando la altura sea mayor que 200 m, deberán realizarse otros estudios especificados avalados por expertos de la materia.

*IV.5.4.3 Presión Actuante Sobre Estructuras,  $p_z$*

La presión actuante sobre la estructura,  $p_z$ , en Pa, se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$p_z = C_p q_z \quad (\text{ec. 38})$$

En donde:

$C_p$  es el coeficiente de presión, adimensional, que depende de la forma de la estructura

$q_z$  es la presión dinámica de base, en Pa, a una altura Z sobre el nivel del terreno

**IV.5.3.4 Fuerza Dinámica Equivalente en la Dirección del Viento,  $F_{eq}$ , para Estructuras Prismáticas y Cilíndricas**

La fuerza dinámica equivalente  $F_{eq}$  en N, se obtiene para una altura sobre el nivel del terreno Z, en m, con la siguiente expresión

$$F_{eq}(Z) = p_z A_{exp} F_{AD} \quad (\text{ec. 39})$$

En donde

$p_z$  es la presión actuante sobre la estructura

$A_{exp}$  es el área expuesta proyectada en un plano perpendicular a la dirección del viento en  $m^2$

$F_{AD}$  es el factor de ampliación dinámica, adimensional, obtenido para cada estructura en particular.

El factor de amplificación dinámica proporciona la fuerza máxima producida por los efectos de la turbulencia del viento y las características dinámicas de la estructura. Considera dos contribuciones en la respuesta estructural, la parte Cuasi-estática o de fondo y la de resonancia.

Debido a que el método de análisis dinámico, maneja información abundante, se hará hincapié que para mayor información del mismo, se consulte el Manual de Obras Civiles de la CFE, en el Diseño por Viento en su edición 2008.

#### *IV.6 Otras Solicitaciones*

##### *IV.6.1 Solicitaciones debidas a Cambios de Temperatura y Volumétricos*

Existen otras solicitaciones que son propiamente fuerzas, las cuales, originan acciones internas (momento, carga axial, fuerzas cortantes y torsión) en las estructuras. Solicitaciones de esta naturaleza, son por ejemplo los cambios volumétricos que ceden fundamentalmente a dos causas fundamentales: las variaciones de temperatura y la contracción.

*Efectos debidos a Variaciones de la Temperatura:* Casi todos los materiales se dilatan cuando se eleva la temperatura y se contraen cuando se están enfriando. Dentro de un intervalo de temperatura bastante amplio esta contracción o dilatación es proporcional a la variación térmica. La proporcionalidad se expresa por medio del coeficiente de expansión térmica  $\alpha$ , y se define como el cambio de longitud que sufre una barra cuando su temperatura varía en un grado.

$$\alpha = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta T} \quad (\text{ec. 40})$$

En Edificios Altos, cuando las columnas están expuestas en la fachada, la variación de la temperatura causa acortamiento y alargamiento de las columnas que pueden ocasionar esfuerzos, y por lo tanto en ocasiones se tiene la ruptura de vidrios y elementos no estructurales.

*Efectos de la Contracción:* Algunos materiales cambian significativamente de volumen al ser sujetos a variaciones de humedad; entre estos figuran especialmente la madera, algunos tipos de mampostería y el concreto. En este último suele ser muy importantes las contracciones que sufre al secarse durante el proceso de fraguado.

La magnitud de estas contracciones depende de diversos factores, principalmente entre ellos, la cantidad de agua en la mezcla, la forma de curado, la humedad del ambiente y la cantidad de refuerzo.

Las deformaciones por contracción ocurren en forma bastante lenta con el tiempo. Por lo tanto las estructuras de concreto tradicional tienden a disipar buena parte de sus efectos al deformarse por flujo plástico.

Debido a que este trabajo está orientado hacia el uso de Concreto de Alta Resistencia en el Diseño de Edificios Altos, es importante mencionar que con este tipo de material, las contracciones por cambios de temperatura y volumétrico se han minimizado y como resultado la relación entre usar concreto normal y uno de alta resistencia es menor del 30%, y por lo tanto podemos mencionar que el problema de acortamiento se ve minimizado y con ello el del flujo plástico. Como se ha visto anteriormente el usar este tipo de material de alta resistencia a compresión el módulo de elasticidad tiende a aumentar y por lo tanto disminuyen los desplazamientos laterales debido a fuerzas de viento o sismo.