

PROYECTO DE NORMA DE CALCULO ANTISISMICO DE EDIFICIOS

Arturo ARIAS (*)

Raúl HUSID (*)

RESUMEN

Este proyecto de norma ha sido presentado a INDITECNOR para servir de base de discusión al comité respectivo con el fin de reemplazar a las normas actuales, vigentes desde 1939. Se ha tomado en cuenta, hasta donde es posible, toda la información existente sobre el cálculo antisísmico de edificios.

Se proponen dos métodos de cálculo, uno estático y otro dinámico, con las correspondientes limitaciones para su aplicación.

En el método estático se especifica una distribución del esfuerzo de corte basal en la altura, obtenida de un estudio dinámico que realizaron los autores sobre una serie de modelos matemáticos de estructuras discretas de 2, 3, 4 y 10 grados de libertad y dos estructuras continuas.

En el método dinámico se deja bastante libertad al calculista en la elección del procedimiento de análisis. En caso que elija el análisis modal, se da una forma de superponer los esfuerzos correspondientes a los distintos modos de oscilación considerados.

En el proyecto de norma se incluyen otras innovaciones, como tensiones admisibles y módulo de Young de algunos materiales, coeficientes sísmicos para estanques ubicados sobre edificios y la determinación del porcentaje del peso del agua sobre el cual se aplica el coeficiente sísmico.

Se dan recomendaciones sobre diseño estructural, determinación del período de edificios, disposiciones constructivas en el hormigón armado, etc.

INTRODUCCION

El presente proyecto de Norma de Cálculo Antisísmico de Edificios ha sido elaborado teniendo en cuenta los antecedentes que figuran en las publicaciones que se mencionan al final de este trabajo, en el párrafo

(*) Del Grupo de Ingeniería Antisísmica del IDIEM.

"Referencias".

En lo que atañe a la estructura de la norma propuesta, hemos tratado de ajustarnos a las prácticas seguidas por INDITECNOR y en ese sentido nos ha sido útil el proyecto del Ing. L. Bitrán^{9(*)} y las observaciones que él ha tenido a bien hacer a un primer borrador que fue sometido a su consideración.

Las normas extranjeras que mayor influencia han tenido en el presente proyecto son: "Reglamento de las Construcciones en el Distrito Federal" (México) (citado en Ref. 11); "Recommended Lateral Forces Requirements", Seismology Committee, Structural Engineers Association of California; "Los Angeles City Building Code", 1959; "San Francisco Building Code; Uniform Building Code, 1958, y "Building Standard Law", Japón (todas éstas contenidas en Ref. 7).

El proyecto de norma se refiere exclusivamente al cálculo antisísmico de edificios. Se ha omitido todo lo que tiene relación con otras obras civiles. Se ha procedido así por varias razones. Desde luego, la normalización del cálculo antisísmico de edificios es el asunto más urgente; ya INDITECNOR había proyectado dejar lo relativo a otras obras civiles para una norma futura. Los problemas que se presentan en otras obras son de índole muy diversa y en muchos aspectos, su investigación está menos adelantada.

Siguiendo el Reglamento de Ciudad de México, se han contemplado dos métodos de cálculo antisísmico; un método estático y un método dinámico. (El mencionado Reglamento contempla tres métodos). El método estático se funda principalmente en los estudios realizados por los autores sobre la repartición vertical de las fuerzas sísmicas y el valor de los esfuerzos en la base^{8,12}. Las proposiciones que aquí se hacen constituyen, tal vez, la innovación principal respecto de las normas vigentes en Chile y en otros países.

La clasificación de los edificios, así como los valores de los coeficientes correspondientes, son esencialmente los mismos que se habían propuesto en el proyecto de INDITECNOR.

La forma de considerar la torsión en el método estático es en esencia la misma del Reglamento mejicano.

(*) Los números colocados como exponentes corresponden a la lista de referencias al final del artículo.

Los valores del módulo de Young y de las tensiones admisibles en muros de albañilería se basan en experiencias realizadas en el IDIEM^{14, 15, 16}. Asimismo, se basa en experiencias realizadas en el IDIEM, la tensión admisible en losas de albañilería armada.

El cálculo de las fuerzas que actúan sobre estanques en edificios tiene su fundamento en los resultados obtenidos en 1948 por uno de los autores².

La manera de superponer los modos de vibrar con el método dinámico se ha obtenido analizando los resultados obtenidos por N. Newmark⁶.

Las recomendaciones referentes al cálculo de períodos en edificios de hormigón armado con muros de rigidez son el fruto de un análisis de resultados obtenidos en Japón y en los EE. UU.¹³ y de medidas efectuadas por el Grupo de Ingeniería Antisísmica del IDIEM, en Santiago.

Los Autores agradecen a los Srs. Leonardo Bitrán, Atilano Lamana, Ernesto Gómez y Luis Jorquera las observaciones y críticas hechas al borrador que se sometió a su consideración.

Algunas de las recomendaciones sobre estructuración han sido inspiradas por conversaciones de uno de los autores con el Sr. Kazuo Minami, durante su estadía en Chile.

Los autores aprovechan la oportunidad de agradecer al Sr. Minami.

Este proyecto ha sido presentado oficialmente por el IDIEM al INDITEC-NOR como base de discusión. Los autores agradecerán a los lectores que dirijan sus observaciones al segundo de los Institutos nombrados y a la Revista del IDIEM.

En próximos números de esta Revista se publicará in extenso la justificación de los puntos más importantes de la norma propuesta.

A) DEFINICION DE ESTA NORMA

Artículo 1º

Esta norma establece valores mínimos para las sollicitaciones sísmicas en edificios y procedimientos para el cálculo de las mismas. Incluye además, prescripciones relativas a la estructuración antisísmica de los edificios y a las tensiones admisibles en los elementos y materiales que se consideran.

B) CAMPO DE APLICACION

Artículo 2º

1. Las prescripciones de esta norma se aplicarán al cálculo antisísmico

de edificios de todo tipo, con las excepciones que expresamente se indican en ella.

2. Estas prescripciones no son aplicables al cálculo de otras obras civiles.

C) TERMINOLOGIA Y NOTACIONES

Artículo 3º

Para los efectos de la aplicación de la presente norma, las expresiones siguientes tienen los significados que se indica a continuación:

1. *Marco espacial*: Estructura tridimensional compuesta de piezas interconectadas de tal manera que funcionan como una sola unidad, y cuyo desplazamiento lateral, al ser solicitada por fuerzas horizontales, proviene fundamentalmente de las deformaciones de flexión de las piezas que la componen.
2. *Base*: Nivel de la planta baja de un edificio con las siguientes excepciones y aclaraciones: a) si el edificio posee subterráneos cuyos muros exteriores no estén confinados lateralmente en toda su altura y perímetro, la base será el nivel del piso inmediatamente inferior a aquel nivel en que se produce dicho confinamiento; b) si el edificio está construido en terreno con pendiente, la base será el nivel de la planta baja inferior.
3. *Esfuerzo de corte basal*: Esfuerzo de corte producido por la acción sísmica en la base del edificio.
4. *Albañilería armada*: Es aquella que lleva incluidos refuerzos de acero en el mortero y para la cual puede considerarse en el cálculo que el mortero, los ladrillos o bloques, y el acero resisten en conjunto las solicitaciones.
5. *Albañilería reforzada*: Es aquella que está rodeada por pilares y cadenas de hormigón armado. No lleva armadura incluida.

Artículo 4º

1. Los símbolos empleados en esta norma tienen el siguiente significado:
 α = coeficiente sísmico usado en el método dinámico de análisis, sus valores se dan en Tabla IV;
 β = coeficiente utilizado en la superposición de modos en el método dinámico. (Art. 24º);
 γ = densidad de muros (ver anexo);
 δ = flecha al nivel del cielo del piso superior, provocada por fuerzas horizontales iguales a los pesos tributarios de los diferentes pisos, aplicadas en el nivel respectivo. (ver anexo).

- a = ordenada del espectro de aceleración usada en el método dinámico de análisis.
- b_x = dimensión en planta del piso o cubierta en el nivel de altura x , medida en la dirección perpendicular a Q_x ;
- C = coeficiente dinámico usado en el método estático. (Art. 9°);
- C_p = coeficiente sísmico para el cálculo de partes de edificios. (Art. 42°);
- D = diámetro interior de cuba de estanque, o dimensión de la cuba en el sentido de aplicación de las fuerzas sísmicas (Art. 9°);
- E = Módulo de Young;
- e_x = distancia entre el centro de rigideces y el centro de masas en el nivel x ;
- F_k = fuerza sísmica aplicada al nivel del piso o cubierta de orden k ; método estático. (Art. 13°);
- g = aceleración debida a la gravedad;
- G = módulo de elasticidad transversal;
- h = profundidad del líquido en cuba de estanque cuando éste se encuentra lleno. (Art. 9°).
- H = altura total del edificio sobre la base;
- i = número de orden del modo de vibrar;
- k = número de orden del piso o cubierta, contado desde la base, que llevará el número de orden cero;
- K_1 = coeficiente relativo al uso del edificio usado en el método estático, sus valores se dan en Tabla I;
- K_2 = coeficiente relativo a la forma estructural usado en el método estático, sus valores se dan en Tabla II;
- $M_{t,x}$ = momento de torsión en el nivel de altura x , aplicable en el método estático. (Art. 18°);
- N = número total de entrepisos sobre la base;
- P = peso total del edificio sobre la base, (Art. 9°).
- Q_0 = esfuerzo de corte basal;
- Q_x = esfuerzo de corte al nivel de altura x ;
- $(Q_x)_{\min.}$ = valor mínimo del esfuerzo de corte en el nivel de altura x (método dinámico). (Art. 29°).
- S = sollicitación (esfuerzo de corte, momento volcante, etc.) obtenida por superposición de las respuestas modales (Art. 24°).
- S_i = sollicitación (esfuerzo de corte, momento volcante, etc.) correspondiente al modo i ;
- T = período natural del edificio en su modo fundamental, expresado en

segundos;

W_p = peso de una parte de un edificio, o de una estructura menor ligada a él;

X = altura de un nivel cualquiera sobre la base

X_k = altura del piso o cubierta de orden k sobre la base;

2. *Excentricidad de cálculo*: Se llama excentricidad de cálculo para el nivel de altura x a la expresión:

$$1,5 e_x + 0,05 b_x$$

D) PRESCRIPCIONES

1. DISPOSICIONES DE APLICACION GENERAL

Artículo 5º

Todo edificio, y cada una de sus partes, deberá ser proyectado y construído para resistir las solicitaciones sísmicas calculadas en la forma prescrita en la presente norma.

Artículo 6º

1. La presente norma establece dos métodos para el cálculo de las solicitaciones sísmicas en edificios: un método estático y un método dinámico.

2. En el método estático, las solicitaciones sísmicas se asimilarán a cargas estáticas representadas por fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada piso y que actúan con un valor fijo, todas en una misma dirección y sentido. Al analizar la estructura por el método estático, las fuerzas sísmicas se supondrán actuando en una dirección cualquiera; en todo caso, la estructura deberá analizarse y calcularse, por lo menos, para dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares.

3. Es admisible el empleo de cualquier procedimiento de análisis que esté basado en las ecuaciones generales de la dinámica siempre que el cálculo satisfaga las restricciones impuestas en el Título IV de la presente norma. Al analizar la estructura por el método dinámico se supondrá que el temblor consiste en un movimiento rectilíneo horizontal de la fundación en una dirección cualquiera. En todo caso, las estructuras deberán analizarse y calcularse para movimientos sísmicos en dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares.

Artículo 7º

1. El método dinámico se podrá aplicar a todo tipo de edificios.

2. El método estático no podrá usarse: a) cuando el edificio es de más

de 45 m de altura, contados desde la base; b) cuando sea aplicable lo dispuesto en el Artículo 19º.

II. CLASIFICACIONES DE LOS EDIFICIOS

Artículo 8º

1. Para los efectos de la aplicación de la presente norma los edificios se clasificarán en seis grupos, como se indica en los incisos siguientes.
2. Atendiendo a su uso.
 - A) Edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública (como correos, plantas de bombeo, centrales eléctricas y telefónicas, cuarteles de bomberos, cuarteles de policía, etc.); aquellos cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofes (como hospitales, postas de primeros auxilios, etc.); aquellos cuyo contenido es de gran valor (como bibliotecas, museos, etc.), y aquellos donde existe frecuente aglomeración de personas (como escuelas, estadios, salas de espectáculos, templos, estaciones terminales de comunicación, etc.)
 - B) Edificios destinados a la habitación privada o al uso público, pero en donde no es usual la aglomeración de personas (como viviendas, edificios de departamentos o de oficinas, hoteles, restaurantes, etc.); plantas o instalaciones industriales, bodegas para materiales o equipo, cercas o muros aislados cuya altura sea superior a 2,5 m, y edificios cuya falla pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo o del grupo (A).
 - C) Construcciones aisladas no clasificables según (A) o (B), (como establos, graneros, etc.) y cuya falla no pueda causar daños a edificios de los grupos (A) o (B).
3. Atendiendo a su forma estructural.
 - D) Estructuras que presentan todas las siguientes características:
 - a) Al nivel de todos los pisos o cubiertas existen elementos horizontales lo suficientemente rígidos y resistentes como para distribuir las fuerzas sísmicas entre los elementos verticales.
 - b) La deformación producida por la acción de cargas horizontales es debida esencialmente a la flexión de elementos estructurales.
 - c) Existen marcos espaciales que, si se les supone actuando independientemente de todo otro elemento destinado a resistir las fuerzas sísmicas (como muros y elementos diagonales), son capaces de sopor-

tar, en todos los niveles, a lo menos el 50 % de las fuerzas horizontales calculadas, en conformidad con la presente norma.

- E) Estructuras con alguna de las siguientes características:
- a) No existen al nivel de todos los pisos o cubiertas elementos suficientemente rígidos y resistentes como para distribuir las fuerzas sísmicas entre los elementos verticales.
 - b) La deformación producida por la acción de cargas horizontales es debida esencialmente al esfuerzo de corte o al esfuerzo axial en los elementos estructurales.
 - c) No existen marcos espaciales, o si existen, no son capaces de soportar en todos los niveles el 25% de las fuerzas horizontales prescritas, cuando se les supone actuando independientemente de todo otro elemento destinado a resistir fuerzas sísmicas (como muros y elementos diagonales).
- F) Estructuras no clasificables según (D) o (E).

III. METODO ESTATICO DE ANALISIS

Artículo 9º

1. El esfuerzo de corte basal se determinará en conformidad con la fórmula siguiente:

$$Q_0 = K_1 K_2 CP$$

en donde:

Q_0 = esfuerzo sísmico de corte en la base de la estructura.

K_1 = coeficiente relativo al uso del edificio; sus valores se dan en la Tabla I.

K_2 = coeficiente relativo a la forma estructural; sus valores se dan en la Tabla II.

C = Coeficiente expresado por la fórmula:

$$C = \frac{0,04}{T} \text{ para } T > 0,5 \text{ seg.}$$

$$C = 0,08 \text{ para } T \leq 0,5 \text{ seg}$$

en donde

T = período fundamental del edificio en la dirección considerada, expresado en segundos.

P = peso total del edificio sobre la base. Este peso será igual a la suma del peso propio de la parte del edificio que queda sobre la base más el porcentaje de la sobrecarga de cálculo que se indica a continuación: 25% en construcciones destinadas a la habitación privada o al uso público, pero en donde no es usual la aglomeración de personas o cosas, (como viviendas, edificios de departamentos o de oficinas, hoteles, restaurantes, etc.); 50% en construcciones donde es frecuente la aglomeración de personas o cosas (como museos, bibliotecas, tribunas, teatros, archivos, almacenes, bodegas, edificios industriales y otros similares); 0% en techos y terrazas. En estanques dentro o sobre edificios, se considerará un porcentaje del peso del líquido correspondiente al estanque lleno, dado por la expresión

$$100 \left\{ 1 - \left(\frac{2}{\pi} \right)^3 \frac{D}{h} \operatorname{tgh} \frac{\pi h}{D} \right\}$$

siendo

h = profundidad del líquido para estanque lleno, cuando el fondo es un plano horizontal, o bien la altura media del líquido para estanque lleno, si el fondo no es un plano horizontal;

D = diámetro interior de la cuba o dimensión horizontal en el sentido de la aplicación de las fuerzas sísmicas.

2. En edificios de un piso, el esfuerzo de corte basal no podrá ser inferior a 0,10 P. En edificios de varios pisos el esfuerzo de corte basal no

TABLA I

VALORES DEL COEFICIENTE K₁

Uso o destino de la estructura	K ₁
A	1,2
B	1,0
C	0,8

TABLA II

VALORES DEL COEFICIENTE K₂

Forma estructural	K ₂
D	0,7
E	1,3
F	1,0

podrá ser inferior a 0,05 P y los valores de las fuerzas sísmicas en los distintos niveles deberán calcularse de modo que se satisfaga esta condición.

3. El período fundamental, T, deberá ser calculado teórica o experimentalmente, en cada caso, mediante procedimiento estimado aceptable. (Ver anexo 16 - 19).

Artículo 10º

Los edificios con pisos recogidos cuyas dimensiones en planta, en cada dirección, no son inferiores a las tres cuartas partes de la correspondiente dimensión de la planta baja, se pueden considerar, para el propósito de determinar las solicitaciones sísmicas, como edificios uniformes, sin pisos recogidos.

Artículo 11º

1. Cuando no se cumplan las limitaciones señaladas en el artículo anterior, los pisos recogidos se proyectarán como un edificio aparte.

Se tomará como esfuerzo de corte en el nivel donde se produce la disminución de área en planta, el mayor de los valores que resulten de considerar la parte superior separadamente con su propia altura o como parte de la estructura total.

2. El esfuerzo de corte a que se refiere el inciso anterior se aplicará en el extremo superior de la parte inmediatamente inferior del edificio y se sumará a los esfuerzos de corte determinados para esta última parte, considerada separadamente con su propia altura.

Artículo 12º

Las prescripciones de los artículos 10º y 11º son aplicables a edificios en que las disminuciones de dimensiones en planta se producen en más de un nivel.

DISTRIBUCION VERTICAL DE LAS FUERZAS SISMICAS**Artículo 13º**

1. El esfuerzo de corte en un nivel cualquiera se calculará por la fórmula:

$$Q_x = Q_0 \sqrt{1 - \frac{x}{H}}$$

en que:

Q_x = esfuerzo de corte al nivel de altura x sobre la base;

Q_0 = esfuerzo de corte basal;

x = altura del nivel en que se calcula el esfuerzo de corte, contada desde la base;

H = altura del edificio sobre la base.

2. Los esfuerzos de corte, calculados como se indica en el inciso 1 conducen a las siguientes fuerzas horizontales aplicadas al nivel de cada piso:

$$F_k = Q_0 \left\{ \sqrt{1 - \frac{x_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{x_k}{H}} \right\}; F_0 = 0$$

en que:

k = número de orden del piso contado desde abajo; para el piso al nivel de la base $k = 0$

F_k = fuerza aplicada al nivel del piso de orden k .

F_0 = fuerza aplicada al nivel de la base

x_k = altura del piso de orden k sobre la base

Artículo 14°

Cuando el edificio tenga subterráneo, por debajo de la base, el esfuerzo de corte en los entresijos de estos subterráneos podrá considerarse constante e igual a Q_0 ; por lo tanto, se podrá admitir que son nulas las fuerzas sísmicas al nivel de cada piso subterráneo totalmente confinado por el terreno de fundación.

DISTRIBUCION EN PLANTA DEL ESFUERZO DE CORTE

Artículo 15°

1. En los edificios que cuentan con losas al nivel de los pisos o cubiertas o con otros elementos de rigidez horizontal equivalente, el esfuerzo de corte Q_x que actúa en el nivel del piso considerado, deberá ser distribuido entre los diversos elementos destinados a resistir las fuerzas sísmicas en proporción a sus respectivas rigideces, tomando en cuenta la ubicación y dirección de cada uno de ellos.

2. Deberá verificarse que las losas o elementos horizontales tienen rigidez y resistencia suficientes como para lograr la distribución mencionada. Si no la tuvieran, deberá procederse como se indica en el artículo siguiente.

Artículo 16°

En los pisos sin losas u otros elementos de rigidez horizontal equivalente, el esfuerzo de corte correspondiente se distribuirá entre los elementos resistentes en proporción a las cargas verticales que gravitan sobre ellos.

Artículo 17°

1. Las losas formadas con elementos prefabricados de hormigón armado, hormigón precomprimido, o albañilería armada podrán aceptarse como capaces de asegurar la distribución a que se refiere el Artículo 15°, siempre que se cumplan todas las siguientes condiciones:

a) el edificio no tiene más de cinco pisos;

b) ninguna de las losas salva, en cualquiera dirección, una luz libre mayor

que 6 m;

- c) a menos que otra disposición constructiva sea justificada mediante ensayos, las losas llevan una chapa de hormigón de espesor no inferior a 5 cm, armada con una malla mínima de $1,8 \text{ cm}^2$ de fierro por metro lineal, en ambas direcciones, y se ha asegurado la colaboración entre la chapa y los nervios de la losa;
- d) se han tomado precauciones adecuadas para lograr uniones efectivas entre las losas y los elementos verticales.

Artículo 18º

Deberá considerarse la torsión en planta que resulta de la excentricidad de los centros de masa respecto de los centros de rigidez, al nivel de cada piso. La estructura deberá dimensionarse en cada nivel superponiendo a los esfuerzos de corte prescritos en la presente norma aquellos que resulten de aplicar un momento de torsión expresado por la fórmula siguiente:

$$M_{t,x} = Q_x (1,5 e_x \pm 0,05 b_x)$$

en donde se consideran dos posiciones extremas para la línea de acción de la fuerza de corte Q_x . (Ver Fig. 1).

En esta fórmula:

$M_{t,x}$ = momento de torsión en el nivel de altura x ;

e_x = distancia entre el centro de rigideces y el centro de masas en el nivel de altura x ;

b_x = dimensión en planta del piso considerado en la dirección perpendicular a Q_x .

Artículo 19º

Si la excentricidad de cálculo (Art. 4º inciso 2) en cualquiera de los niveles es mayor que $0,10 b_x$, el edificio deberá ser calculado por el método dinámico.

Artículo 20º

Los muros de albañilería sin armadura o sin pilares de refuerzo de hormigón armado no podrán considerarse para los efectos de absorber fuerzas sísmicas, pero deberán tenerse en cuenta para el cálculo del período.

Artículo 21º

1. Para el cálculo de la rigidez y las deformaciones de los muros de albañilería armada y reforzada se adoptarán los valores del módulo de Young, E , dados en la Tabla III.

2. En albañilería sin armadura o sin refuerzo se adoptará el valor

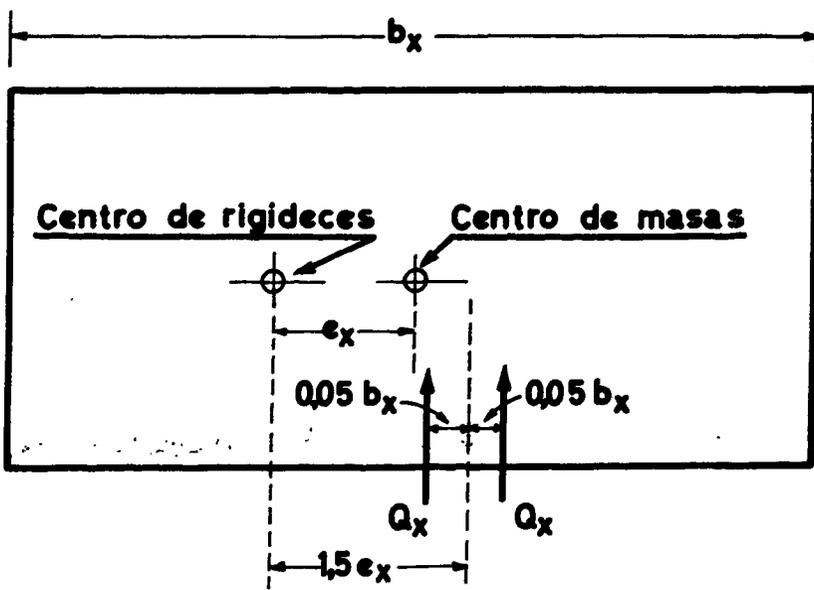


Fig. 1.- Posiciones extremas de la línea de acción de la fuerza de corte

$E = 5.000 \text{ kg/cm}^2$, cualquiera que sea el tipo.

3. En todos los casos, el módulo de rigidez se tomará igual a $0,4 E$.

Artículo 22º

Los esfuerzos axiales producidos por las fuerzas sísmicas en los elementos verticales destinados a resistir el temblor se calcularán sumando los esfuerzos de corte que dichas fuerzas producen en los elementos horizontales que concurren al elemento considerado sobre el nivel para el cual se calcula el esfuerzo axial.

TABLA III

VALORES DE E EN MUROS DE ALBAÑILERIA ARMADA O REFORZADA

Tipo de albañilería	E kg/cm ²
Ladrillo de campo	6.000
Ladrillo hueco	10.000
Ladrillo sílico-calcareo o de hormigón silíceo	12.000
Ladrillo rejilla	14.000
Bloque de hormigón o ladrillo macizo hecho a máquina	18.000

IV. METODO DINAMICO DE ANALISIS

Artículo 23º

1. Para la aplicación del método dinámico de análisis se admite asimilar el edificio a un sistema de masas discretas, concentradas al nivel de cada piso.

2. Si en cada uno de los pisos, y en dos direcciones perpendiculares, la distancia entre el centro de rigidez y el centro de masas resulta menor que 0,05 veces la dimensión del edificio en planta, medida en el sentido perpendicular al temblor, se podrán despreciar las vibraciones de torsión, y, el edificio podrá analizarse independientemente en cada una de dos direcciones ortogonales, o aproximadamente ortogonales como un sistema de N grados de libertad, en que N es el número de entrepisos sobre la base del edificio.

3. Cuando se cumple la condición del inciso anterior y el análisis se hace en la forma allí permitida, los efectos de torsión se tomarán en cuenta en la forma especificada en el método de análisis estático.

4. Cuando no se cumple la condición especificada en el inciso 2, deberán tomarse en cuenta tres coordenadas por piso, dos de traslación y una de giro.

5. Cuando el suelo de fundación es altamente compresible, se recomienda tener en cuenta el giro de la fundación en torno de un eje horizontal, como una coordenada adicional.

Artículo 24º

1. Si el método de análisis dinámico empleado consiste en la descomposición de la estructura en sus modos naturales de vibración, la superposición de los esfuerzos (fuerzas cortantes, momentos de flexión, etc.) se hará de la siguiente manera:

$$S = (1 - \beta) \sum_i |S_i| + \beta \sqrt{\sum_i S_i^2}$$

en que

S = sollicitación, obtenida por superposición de las respuestas modales;

S_i = sollicitación correspondiente al i-ésimo modo;

β = un coeficiente definido por la ecuación:

$$\beta = \frac{4}{27} \left(\frac{3}{2} \right)^{\frac{\log N}{\log 2}}$$

2. En el análisis modal se permite no tomar en cuenta modos superiores a cierto orden siempre que se pruebe que, para un piso cualquiera, las sollicitaciones correspondientes a esos modos superiores representan en total menos del 10% de las sollicitaciones debidas a los modos considerados.

Artículo 25°

Con el objeto de calcular el aporte a las sollicitaciones de cada modo natural de vibrar, se computará el esfuerzo de corte basal correspondiente a cada modo utilizando el siguiente espectro de aceleraciones (Ver Fig. 2):

$$\frac{a}{g} = \frac{\alpha}{2T} \quad \text{para } T > 0,5 \text{ seg}$$

$$\frac{a}{g} = \alpha \quad \text{para } T \leq 0,5 \text{ seg}$$

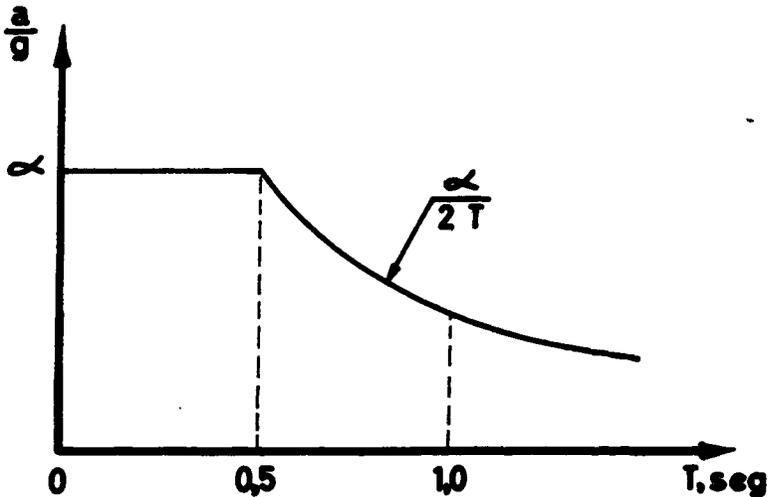


Fig. 2.- Espectro de aceleraciones para el análisis dinámico

TABLA IV
VALORES DE α

Clase de edificio	D	E	F
A	0,055	0,100	0,080
B	0,045	0,085	0,065
C	0,040	0,065	0,050

(Ver anexo)

Artículo 26º

Para el cálculo de las masas de cada piso se tomará en cuenta el total de las masas propias correspondientes al piso, más un porcentaje de la sobrecarga, según lo dispuesto en el Artículo 9º.

Artículo 27º

En los valores especificados para α está implícito el amortiguamiento estructural. No se permitirán reducciones adicionales por este concepto.

Artículo 28º

En la determinación de los modos naturales se admite no considerar el acoplamiento entre los modos debido al amortiguamiento.

Artículo 29º

1. En ninguno de los niveles el esfuerzo de corte podrá ser inferior al mayor de los valores dados por las expresiones:

$$Q_x \text{ min} = Q_0 \left(1 - \frac{x}{H}\right) \text{ o, } Q_x \text{ min} = 0,04 P \left(1 - \frac{x}{H}\right)$$

en que

Q_0 = esfuerzo de corte basal total determinado en el análisis modal;

P = peso del edificio calculado según Artículo 9º.

2. Para edificios de un piso $(Q_x) \text{ min} = 0,08 P$

Artículo 30º

1. El calculista podrá modificar la forma del espectro para tener en cuenta casos de amplificación selectiva del suelo.

2. En ningún caso podrán adoptarse espectros que conduzcan a esfuerzos de corte basales menores que los especificados en esta norma.

Artículo 31º

Si no se adopta el método del espectro de aceleraciones, como, por ejemplo, si se estudia la respuesta de la estructura para pulsos de desplazamiento, de velocidad o de aceleración, las solicitaciones obtenidas deberán en todo caso cumplir con las restricciones del Artículo 29º.

Artículo 32º

Es aplicable en el método dinámico de análisis lo dispuesto en los Artículos 14º, 15º, 16º, 17º, 20º, 21º y 22º del Título III.

V. ESTRUCTURACION**Artículo 33º**

1. Los edificios compuestos de varios cuerpos o de planta irregular (en H, en L, en T, en U, etc.) sólo se podrán proyectar como una sola estructura, cuando las losas u otros elementos rígidos horizontales se calculen construyan de modo que la construcción se comporte durante los terremotos efectivamente como un solo conjunto. En caso contrario, cada cuerpo deberá proyectarse como una estructura separada.

2. Si un edificio de varios cuerpos o de planta irregular se proyecta como una sola estructura, deberá ponerse especial cuidado en el diseño de las conexiones entre cuerpos adyacentes o entre las alas y el cuerpo principal. Asimismo deberá cuidarse que la fundación se proyecte de modo que no puedan producirse asentamientos diferenciales de importancia.

Artículo 34º

1. Los edificios de varios cuerpos deben proyectarse preferentemente como cuerpos separados.

2. En este caso, deberá dejarse entre las estructuras de cuerpos adyacentes, una separación no menor que $0,002 H$, con un mínimo de 5 cm. Las fundaciones de cada cuerpo deberán proyectarse y construirse independientemente.

3. Cuando, por razones estéticas o de uso del edificio, sea necesario cubrir las separaciones entre los cuerpos, se hará de modo que las uniones estén formadas por materiales que se rompan o cedan plásticamente antes que los elementos que unen.

Artículo 35º

Los muros de hormigón armado o de albañilería reforzada o armada y todo otro elemento capaz de absorber fuerzas horizontales deberán considerarse como parte integrante de la estructura, tanto para el cálculo de rigideces

y deformaciones como para la distribución de las fuerzas sísmicas, y dimensionarse consiguientemente, a menos que se tomen medidas especiales para asegurar que actúen independientemente, caso en el cual se aplicarán las disposiciones del Título VI.

Artículo 36º

1. Cuando las fuerzas sísmicas se absorban con muros y marcos que se comporten como un solo conjunto, deben diseñarse las conexiones entre muros y marcos para asegurar su colaboración. Si no se desea la colaboración conjunta deberán disponerse juntas entre los marcos y los muros que cumplan con lo dispuesto en el Artículo 34º inciso 3 y cada parte deberá calcularse separadamente.
2. Las vigas que unen muros destinados a absorber fuerzas sísmicas deberán proyectarse de manera que se asegure la colaboración efectiva de aquellos.

Artículo 37º

En caso que un elemento vertical destinado a resistir fuerzas sísmicas se interrumpa en un nivel que no sea el de fundación, los esfuerzos soportados por dicho elemento serán aplicados como solicitaciones al resto de la estructura por debajo del mencionado nivel.

Artículo 38º

En edificios con pisos recogidos, la losa u otros elementos destinados a distribuir los esfuerzos horizontales, al nivel en que se produce la discontinuidad de la planta, deberán tener la rigidez y resistencia suficiente para que dicha distribución tenga lugar efectivamente. Lo mismo es válido para todo otro punto en que se produzca una discontinuidad en los elementos verticales destinados a resistir fuerzas sísmicas.

Artículo 39º

1. Se evitará el empleo de subestructuras de fundación heterogéneas.
2. Cuando variaciones en la naturaleza o propiedades del suelo obliguen a usar más de un tipo de fundación, el edificio se proyectará y construirá separándolo en partes, respetando lo dispuesto en el Artículo 34º.

Artículo 40º

1. En edificios de más de un piso y cuando la fundación sea de cimientos, pilotes o zapatas aisladas, se dispondrán elementos horizontales que aseguren la trabazón de las fundaciones.
2. Estos elementos vincularán todas las partes de la fundación, en dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares. Cada elemento

horizontal será capaz de soportar, a tracción y a compresión, por lo menos el 10% de la carga vertical total soportada por el más solicitado de los elementos cuya trabazón está destinado a asegurar.

Artículo 41º

Las cerchas de techumbres deberán ser arriostradas perpendicularmente a su plano y los arriostramientos no deberán estar espaciados en más de 10 m.

VI. ELEMENTOS QUE NO FORMAN PARTE INTEGRANTE DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO Y ESTRUCTURAS MENORES LIGADAS A ELLA

Artículo 42º

1. Los elementos que no forman parte integrante de la estructura principal del edificio, las estructuras menores ligadas a ella y los anclajes respectivos deberán verificarse o proyectarse para resistir los esfuerzos horizontales calculados mediante la fórmula.

$$F_p = C_p W_p$$

en donde

F_p = fuerza horizontal que deberá aplicarse en el centro de masas de la parte, elemento o estructura menor considerada y en la dirección que corresponda;

C_p = coeficiente sísmico;

W_p = peso de la parte considerada.

2. Para elementos del edificio que no forman parte integrante de la estructura principal, el coeficiente C_p se tomará de la Tabla V.

3. Para estanques, chimeneas, glorietas, casetas de ascensor, y, en general, estructuras menores sobre edificios la fuerza F_p se considerará actuando en cualquiera dirección y el valor de C_p será el que da la ecuación:

$$C_p = 0,15 \sqrt{N} \left\{ \sqrt{N - k + 1} - \sqrt{N - k} \right\}$$

N = número de pisos del edificio sobre la base

k = número de orden del piso en que se encuentra la estructura menor.

TABLA V

VALORES DEL COEFICIENTE C_p

Parte o elemento	Dirección	C_p
Muros exteriores no considerados en la estructura principal para resistir las fuerzas sísmicas	Normal al muro	0,20
Escalas conectadas al edificio	Cualquiera	0,20
Muros interiores no considerados en la estructura principal para absorber fuerzas sísmicas, tabiques interiores	Normal al muro o tabique	0,10
Parapetos, antepechos, decoraciones exteriores e interiores	Normal al muro	0,50

TENSIONES ADMISIBLES

Artículo 43º

Los esfuerzos unitarios provenientes del efecto combinado de la acción sísmica más el peso propio y más un tercio de las sobrecargas del cálculo no deberán sobrepasar las tensiones admisibles fijadas para los diferentes materiales en las normas INDITECNOR correspondientes, salvo lo dispuesto para muros de albañilería en el Artículo siguiente.

Artículo 44º

1. En muros de albañilería armada o de albañilería reforzada con pilares de hormigón armado, las tensiones admisibles por esfuerzo de corte, calculadas dividiendo la fuerza cortante por la sección bruta de albañilería serán las que da la Tabla VI.

2. No se admitirá aumentar estas tensiones admisibles por concepto del esfuerzo normal soportado por el muro

Artículo 45º

En losas de ladrillo armado la tensión admisible por corte debido a fuerzas paralelas al plano de la losa y calculada respecto de la sección transversal, será de 4 kg/cm^2 .

TABLA VI

TENSIONES ADMISIBLES AL ESFUERZO DE CORTE EN MUROS
DE ALBAÑILERIA ARMADA O REFORZADA

Tipo de albañilería	τ_{adm}^* kg/cm ²
Ladrillo hecho a mano Ladrillo hueco, ladrillo sílico calcáreo, ladrillo de hormigón silíceo, ladrillo tipo rejilla y bloques de hormigón Ladrillo macizo hecho a máquina.	

* Los valores de esta tabla se han dejado pendientes en espera de que sean terminadas algunas experiencias en ejecución en el IDIEM.

Artículo 46º

1. En las fundaciones, las tensiones admisibles del suelo se podrán aumentar, para la sollicitación combinada del peso propio más la acción sísmica y más un tercio de la sobrecarga, hasta en un 60% del valor de la tensión admisible para cargas estáticas.

E) ANEXO. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

ESFUERZO DE CORTE BASAL

1. Se recomienda adoptar valores del esfuerzo de corte basal y del coefi-

ciente sísmico α mayores que los que resultan de aplicar lo dispuesto en los Artículos 9º y 25º, respectivamente, cuando la naturaleza del suelo haga esperar que se produzcan efectos especiales de amplificación del movimiento sísmico. Esto vale especialmente para suelos altamente compresibles.

ESTRUCTURACION

2. Conviene evitar estructuraciones que conduzcan a roturas frágiles, como ser:

- a) estructuras que resisten única o principalmente por corte (caso de los edificios de hormigón armado en que el total o la mayor parte de las fuerzas sísmicas se absorben por medio de muros de rigidez);
- b) estructuras en que las fuerzas sísmicas se absorben totalmente o en su mayor parte por medio de planos resistentes formados por elementos que trabajan a tracción o compresión (arriostramientos diagonales en estructuras de acero);
- c) elementos de hormigón armado excesivamente solicitados por torsión

3. Se recomienda evitar la práctica de emplear marcos para absorber las cargas verticales, y muros rígidos, independientes de los marcos, para las fuerzas sísmicas, porque en estas condiciones la falla de los muros conduce a roturas frágiles.

4. Es importante diseñar la estructura como un conjunto que resista solidariamente a las fuerzas horizontales. Se evitará elegir estructuras que posean una sola línea de resistencia (por ejemplo, una sola línea de pilares) o tales que la falla de los elementos destinados específicamente a absorber fuerzas sísmicas las transforme en mecanismos.

5. a) Se recomienda evitar las distribuciones de masas y rigideces mal equilibradas.
- b) En edificios de planta alargada se procurará evitar las distribuciones asimétricas de rigideces.
- c) Debe evitarse también colocar elementos rígidos o planos de arriostramiento vertical demasiado distantes entre sí.
- d) En los edificios de planta irregular se tratarán de evitar las alas demasiado largas.

6. En edificios con marcos rígidos de luces desiguales, debe ponerse espe-

cial atención en los esfuerzos de corte desarrollados en los tramos cortos, por cuanto dichos esfuerzos pueden resultar elevados.

Especial cuidado merece este problema en edificios altos, donde las columnas que reciben los tramos cortos resultan recargadas.

Se recomienda, en estos casos, disminuir la rigidez de las vigas en los tramos cortos o introducir rótulas plásticas.

7. Los nudos rígidos deben diseñarse para que funcionen como tales; es decir, debè asegurarse la continuidad de vigas y pilares, cuidando los detalles de diseño (anclajes y empalmes de las armaduras, en las estructuras de hormigón armado; conectores en estructuras de acero, etc.)

8. Debe ponerse especial cuidado en el diseño de pisos en voladizo.

DETALLES CONSTRUCTIVOS EN HORMIGON ARMADO

9. En los detalles constructivos referentes a disposición de las armaduras, se deberán cumplir las prescripciones de INDITECNOR 63-4E, teniendo en cuenta el valor y el sentido de las tensiones que pueden producirse por efecto sísmico, en especial en los casos que se citan en los párrafos 10, 11 y 12 de las presentes observaciones.

10. Para evitar roturas frágiles del hormigón, debe prolongarse la armadura en la longitud necesaria para asegurar su anclaje a ambos lados de toda sección crítica de los elementos resistentes, como en:

- a) uniones de vigas y pilares, principalmente en los nudos extremos;
- b) uniones de muros y losas;
- c) uniones de cadenas en las esquinas. Estas uniones se resolverán pasando las barras de una cadena a otra o colocando un acartelamiento en el que las barras puedan anclarse;
- d) juntas de hormigonado;
- e) traslapos de barras. En estas zonas se recomienda disminuir la distancia entre estribos.

11. Si se han previsto en una misma zona varios empalmes por traslapo que trabajen a compresión por las solicitaciones habituales, deberá considerarse si existe la posibilidad de que queden sometidos a esfuerzos de tracción por las solicitaciones sísmicas, en cuyo caso habrá que evitar los traslapos o bien espaciarlos, para cumplir lo establecido en INDITECNOR 63-4E, Artículo 13º.

12. Las dobladuras de las barras deberán cumplir lo dispuesto en INDITECNOR 63-4E Artículo 12, y, por lo tanto, es conveniente que la concavidad o la convexidad de las curvas quede orientada hacia la masa del hormigón para esfuerzos de tracción o compresión, respectivamente. En caso contrario, será necesario colocar estribos para absorber el esfuerzo radial. Para el

cumplimiento de esta cláusula, debe considerarse el sentido de los esfuerzos provocados por la sollicitación sísmica.

13. En los anclajes fuertemente sollicitados por el temblor, se recomienda emplear diámetros de ganchos mayores que los mínimos especificados en INDITECNOR 63-4E y detallar su colocación de modo que sus centros de curvatura queden alejados lo más posible del paramento exterior de hormigón.

14. En todas las zonas, como nudos, anclajes, traslajos, en que se produzca una acumulación de armaduras, deberá comprobarse la posibilidad de la colocación del hormigón y, si es necesario, se especificará el empleo de un tamaño reducido de grava y la dosificación y consistencia más adecuada.

15. Las juntas de hormigonado se ubicarán en lo posible en zonas poco sollicitadas por la acción sísmica, y su ejecución será extremadamente cuidadosa.

CALCULO DEL PERIODO FUNDAMENTAL

16. Cuando se quiera expresar el período del modo fundamental en función de las masas y rigideces se recomienda utilizar los métodos de Holzer, Rayleigh o Stodola, según cuál sea el que se adapte mejor al tipo de deformación predominante.

17. En subsidio del método de Holzer, puede utilizarse la fórmula semiempírica.

$$T = 4 \sqrt{\frac{2\delta}{g}} \quad (N \geq 2)$$

en que:

δ = flecha en el cielo del piso superior, provocada por fuerzas horizontales iguales a los pesos de las partes y aplicadas en los respectivos centros de masas, en la dirección considerada;

g = aceleración debida a la gravedad.

18. Para el cálculo del período del modo fundamental de edificios de hormigón armado con muros de rigidez se recomienda el uso de la fórmula empírica.

$$T = 0,024 \cdot \left(\frac{H^5}{\gamma}\right)^{\frac{1}{7}}$$

en que:

T = período del modo fundamental, seg

H = altura del edificio sobre la base, m

γ = cuociente entre la suma, para todos los pisos, de las longitudes de los muros de hormigón armado, medidas en la planta, en el sentido del

temblor, y la suma de las áreas de los pisos, m^{-1}

19. Se recomienda no utilizar la fórmula para el período:

$$T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}}$$

que aparece en algunas normas extranjeras.

REFERENCIAS

1. *Ordenanza General de Construcciones y modificaciones*
2. ARIAS, A. *Oscilaciones de un estanque elevado*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. U. de Chile. 1948.
3. *Symposium on Earthquake and Blast effects on Structures*. Earthquake Engineering Research Institute. Los Angeles U.S.A. 1952.
4. *Proceedings First World Conference on Earthquake Engineering*. Earthquake Engineering Research Institute. San Francisco, California. 1956.
5. *Proceedings Second World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo. 1960 (3 vols.)
6. NEWMARK, N. y JENNINGS, R. Elastic response of Multi-story shear beam type structures subjected to strong ground motion. *Proceeding Second World Conference on Earthquake Engineering*. Tokyo. 1960 (vol 2, p. 699-717).
7. *Earthquake Resistant Regulations of the World*. Organizing Committee Second World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo. 1960.
8. HUSID, R. *Estudio Teórico sobre la repartición vertical de fuerzas sísmicas en Edificios*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en la U. de Chile. 1960.
9. BITRAN, L. *Cálculo de las sollicitaciones sísmicas en las construcciones*. (Proyecto de norma INDITECNOR).
10. BLUME, J.; NEWMARK, N.; CORNING, L. *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*. Portland Cement Association. Chicago. 1961.
11. ESTEVA, L. y ROSENBLUETH, E. *Diseño sísmico de edificios*. Trabajo presentado a las Primeras Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica. San Juan y Mendoza. Abril 1962.
12. ARIAS, A. y HUSID, R. *Distribución en vertical de los esfuerzos sísmicos en estructuras de edificios*. Trabajo presentado a las Primeras Jor-

nadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica. San Juan y Mendoza. Abril 1962.

13. ARIAS, A. y HUSID, R. Fórmula empírica para el cálculo del período propio de vibración de edificios de hormigón armado con muros de rigidez. *Revista del IDIEM*. vol 1, nº 1, (p. 1 - 12) y presentado a las Primeras Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica. San Juan y Mendoza. Abril 1962.
14. RETAMAL, E. y EGAN, J. *Estudio Experimental de Muros de Albañilería*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de la U. de Chile. 1960.
15. CABALLERO, G. *Resistencia de Losas Cerámicas cargadas en su plano*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de la U. de Chile. 1961.
16. IDIEM. Trabajos no publicados.

PROPOSED STANDARDS ON ANTI-SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS

SUMMARY:

This proposal for a new Chilean standard on anti-seismic design has been submitted to INDITECNOR as a basis for discussion, with the purpose of replacing the current by-laws that have been in force for more than twenty years.

All available information on anti-seismic design of buildings has been taken into account, as far as that proved to be possible.

Two methods of analysis are set forth: a static and a dynamic method.

The static method is based on dynamic analysis of mathematical models of discrete (2,3, 4 and 10 degrees of freedom) and continuous structures.

The responses of these structures subjected to earthquakes with four different acceleration spectra, and for several different distributions of mass and stiffness have been computed for natural periods of 0.3, 0.6, 1.0 and 1.5 secs. Based on the results of this analysis a new vertical distribution of seismic forces is proposed.

The dynamic method permits some latitude in the election of the procedure of analysis.

In case modal analysis is used, a way of superposing the response of the several modes is given, based on results obtained by Newmark and Jennings.

The proposal includes several other topics as: seismic forces on water-tanks as part of buildings, due account being taken of effective mass of water; allowable stresses in masonry; computation of natural period of buildings; recommendations on structural design; etc.