

NORMA PERUANA DE DISEÑO SISMORRESISTENTE E.030



ANALISIS ESTATICO

Febrero 2006

ALCANCES

- Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en la filosofía de la Norma.
- Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.



FILOSOFIA DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE

- Evitar pérdidas de vidas.
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños a la propiedad.



PRINCIPIOS DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE

- La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio.
- La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.

PRESENTACION DEL PROYECTO ESTRUCTURAL

Los planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas del proyecto estructural, deberán llevar la firma de un ingeniero civil colegiado, quien será el único autorizado para aprobar cualquier modificación a los mismos.

Los planos del proyecto estructural deberán contener como mínimo la siguiente información:

- Sistema estructural sismorresistente.
- Parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño.
- Desplazamiento máximo del último nivel y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.



PRESENTACION DEL PROYECTO ESTRUCTURAL

Para su revisión y aprobación por la autoridad competente, los proyectos de edificaciones con más de 70 m de altura deberán estar respaldados con una memoria de datos y cálculos justificativos.

PRESENTACION DEL PROYECTO ESTRUCTURAL

El empleo de materiales, sistemas estructurales y métodos constructivos diferentes a los indicados en esta Norma, deberá ser aprobado por la autoridad competente nombrada por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, y debe cumplir con lo establecido en este acápite y demostrar que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y durabilidad.

ZONIFICACION

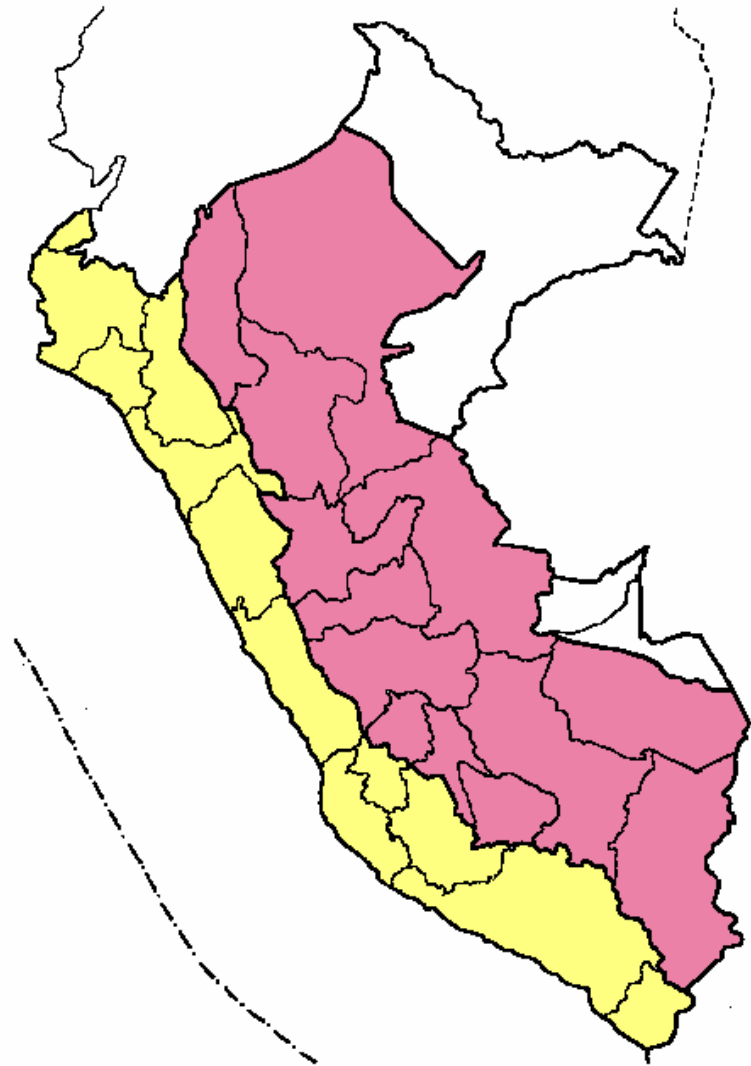
- ZONA 1
Sismicidad Baja
- ZONA 2
Sismicidad Media
- ZONA 3
Sismicidad Alta



ZONIFICACION

■ ZONA 1 - Sismicida Baja

1. **Loreto.** Provincias de Ramón Castilla, Mainas y Requena.
2. **Ucayali.** Provincia de Purús.
3. **Madre de Dios.** Provincia de Tahuamanú.



ZONIFICACION

■ ZONA 2 - Sismicida Media

1. **Loreto.** Provincias de Loreto, Alto Amazonas y Ucayali.
2. **Amazonas.** Todas las provincias.
3. **San Martín.** Todas las provincias.
4. **Huánuco.** Todas las provincias.
5. **Ucayali.** Provincias de Coronel Portillo, Atalaya y Padre Abad.
6. **Cerro de Pasco.** Todas las provincias.
7. **Junín.** Todas las provincias.
8. **Huancavelica.** Provincias de Acobamba, Angaraes, Churcampa, Tayacaja y Huancavelica.
9. **Ayacucho.** Provincias de Sucre, Huamanga, Huanta y Vilcashuaman.
10. **Apurímac.** Todas las provincias.
11. **Cusco.** Todas las provincias.
12. **Madre de Dios.** Provincias de Tambopata y Manú.
13. **Puno.** Todas las provincias.



ZONIFICACION

■ ZONA 3 - Sismicidad Alta

1. **Tumbes.** Todas las provincias.
2. **Piura.** Todas las provincias.
3. **Cajamarca.** Todas las provincias.
4. **Lambayeque.** Todas las provincias.
5. **La Libertad.** Todas las provincias.
6. **Ancash.** Todas las provincias.
7. **Lima.** Todas las provincias.
8. **Provincia Constitucional del Callao.**
9. **Ica.** Todas las provincias.
10. **Huancavelica.** Provincias de Castrovirreyna y Huaytará.
11. **Ayacucho.** Provincias de Cangallo, Huanca Sancos, Lucanas, Victor Fajardo, Parinacochas y Paucar del Sara Sara.
12. **Arequipa.** Todas las provincias.
13. **Moquegua.** Todas las provincias.
14. **Tacna.** Todas las provincias.



ZONIFICACION

ZONA	Z
3	0.4
2	0.3
1	0.15

- A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. Equivale a un periodo de retorno de 500 años.



CONDICIONES GEOTECNICAS

Para los efectos de la Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

- Perfil tipo S_1 : Roca o suelos muy rígidos.
- Perfil tipo S_2 : Suelos Intermedios
- Perfil tipo S_3 : Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.
- Perfil tipo S_4 : Condiciones excepcionales.

CONDICIONES GEOTECNICAS

•Perfil tipo S_1 : Roca o suelos muy rígidos.

A este tipo corresponden las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte similar al de una roca, en los que el período fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0,25 s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Grava arenosa densa.
- Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte en condiciones no drenadas superior a 100 kPa (1 kg/cm²), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.

CONDICIONES GEOTECNICAS

Perfil tipo S3: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el período fundamental, para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0,6 s, incluyéndose los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los valores siguientes:

Suelos Cohesivos	Resistencia al corte típica en condición no drenada (kPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	< 25	20
Medianamente Compactos	25 - 50	25
Compactos	50 - 100	40
Muy Compactos	100 - 200	60

Suelos Granulares	Valores N típicos en ensayos de penetración estándar (SPT)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 - 10	40
Medianamente Densos	10 - 30	45
Densos	> 30	100

(*) Suelo con velocidad de onda de corte menor que el de una roca

CONDICIONES GEOTECNICAS

- **Perfil tipo S2: Suelos intermedios.**

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S_1 y S_3 .

- **Perfil tipo S4: Suelos excepcionales.**

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas sean particularmente desfavorables.

En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo S_3 . Sólo será necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

CONDICIONES GEOTECNICAS

•Factores de Suelo (S)

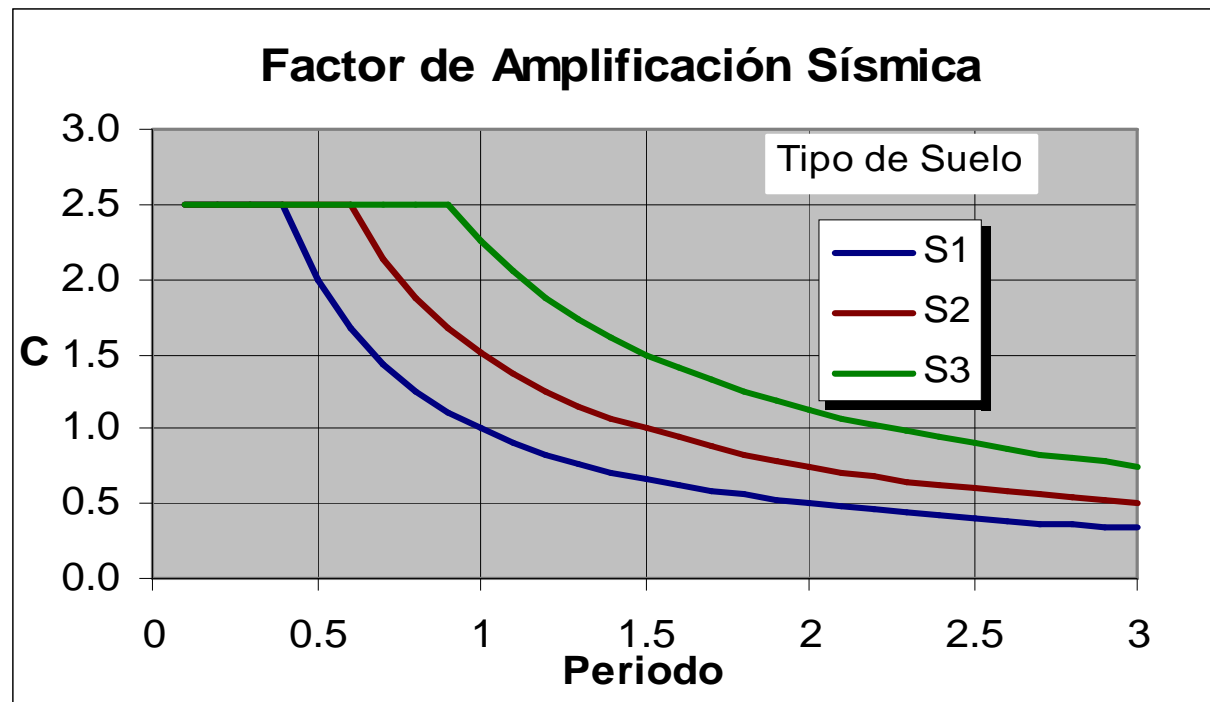
Tipo	Descripción	Tp (s)	S
S ₁	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S ₂	Suelos intermedios	0.6	1.2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores serán indicados por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃

FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA

■ Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo.

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T} \right), \quad C \leq 2.5$$



REQUISITOS GENERALES

- Deberá considerarse el posible efecto de los elementos no estructurales en el comportamiento sísmico de la estructura.
- Se considera que las sollicitaciones sísmicas horizontales actúan según las dos direcciones principales de la estructura en forma independiente o en la direcciones que resulten más desfavorables.
- Se considera que la fuerza sísmica vertical actúa simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis.
- No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.

REQUISITOS GENERALES

- Cuando sobre un sólo elemento de la estructura, muro o pórtico, actúa una fuerza de 30 % o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento deberá diseñarse para el 125 % de dicha fuerza.

CONCEPCION ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE

El comportamiento sísmico de las edificaciones mejora cuando se observan las siguientes condiciones :

- Simetría, tanto en la distribución de masas como en las rigideces.
- Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- Resistencia adecuada.
- Continuidad en la estructura, tanto en planta como en elevación.
- Ductilidad.
- Deformación limitada.
- Inclusión de líneas sucesivas de resistencia.
- Consideración de las condiciones locales.

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas. El coeficiente de uso e importancia (U), se usará según la clasificación que se haga

- Categoría A. Edificaciones Esenciales
- Categoría B. Edificaciones Importantes
- Categoría C. Edificaciones Comunes
- Categoría D. Edificaciones Menores

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES

■ Categoría A - Edificaciones Esenciales

Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre.

También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES

- **Categoria B - Edificaciones Importantes**

Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales.

También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES

■ Categoría C - Edificaciones Comunes

Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.

■ Categoría D - Edificaciones Menores

Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.

CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES

Factores de Uso o Importancia, U

Categoria	Descripcion	U
A	Edificaciones Esenciales	1.5
B	Edificaciones Importantes	1.3
C	Edificaciones Comunes	1.0
D	Edificaciones Menores	*

(*) A criterio del proyectista, se podra omitir el analisis sismico, pero debera proveerse rigidez y resistencia para acciones laterales.



CONFIGURACION ESTRUCTURAL

■ Estructuras Regulares

Son las que no tienen discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales.

■ Estructuras Irregulares

Se definen como estructuras irregulares aquellas que presentan irregularidades en planta y/o irregularidades en altura.

CONFIGURACION ESTRUCTURAL

■ Irregularidades Estructurales en Altura

- Irregularidades de Rigidez – Piso blando
- Irregularidad de Masa
- Irregularidad Geometrica Vertical
- Discontinuidad en los Sistemas Resistentes



CONFIGURACION ESTRUCTURAL

- Irregularidades Estructurales en Planta

- Irregularidad Torsional
- Esquinas Entrantes
- Discontinuidad del Diafragma

IRREGULARIDAD EN ALTURA

■ Irregularidades de Rigidez – Piso blando

En cada dirección la suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte en un entrepiso, columnas y muros, es menor que 85 % de la correspondiente suma para el entrepiso superior, o es menor que 90 % del promedio para los 3 pisos superiores. No es aplicable en sótanos. Para pisos de altura diferente multiplicar los valores anteriores por (h_i/h_d) donde h_d es altura diferente de piso y h_i es la altura típica de piso



IRREGULARIDAD EN ALTURA

■ Irregularidades de Masa

Se considera que existe irregularidad de masa, cuando la masa de un piso es mayor que el 150% de la masa de un piso adyacente. No es aplicable en azoteas.



IRREGULARIDAD EN ALTURA

■ Irregularidades Geométrica Vertical

La dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 130% de la correspondiente dimensión en un piso adyacente. No es aplicable en azoteas ni en sótanos.



IRREGULARIDAD EN ALTURA

- Discontinuidad de los sistemas resistentes

Desalineamiento de elementos verticales, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento



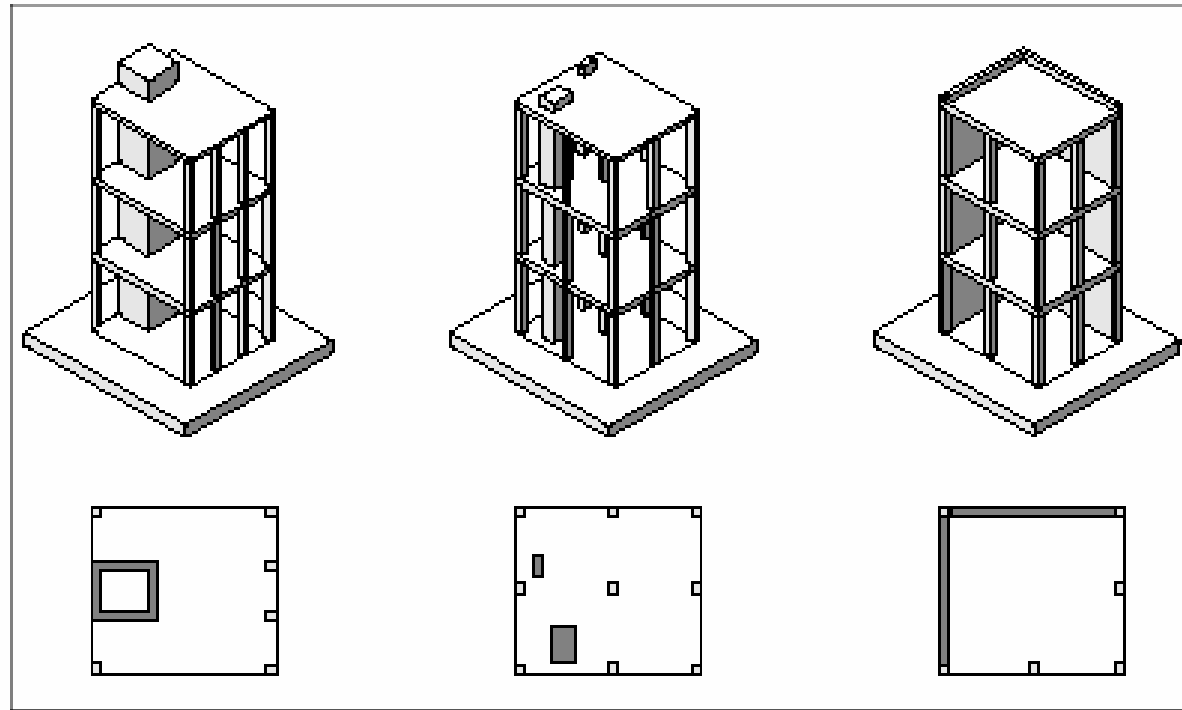
J. KATZMAN

Photograph 30. Intersection of structural wall on the ground



IRREGULARIDAD EN PLANTA

■ Irregularidad Torsional



IRREGULARIDAD EN PLANTA

■ Irregularidad Torsional

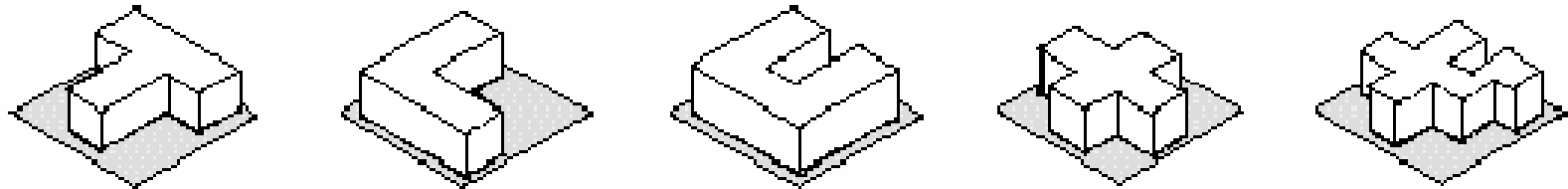
Se considerará sólo en edificios con diafragmas rígidos en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible.

En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1,3 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto

IRREGULARIDAD EN PLANTA

■ Esquinas Entrantes

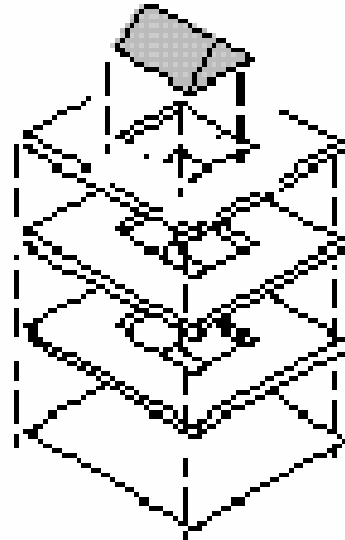
La configuración en planta y el sistema resistente de la estructura, tienen esquinas entrantes, cuyas dimensiones en ambas direcciones, son mayores que el 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.



IRREGULARIDAD EN PLANTA

■ Discontinuidad del Diafragma

Diafragma con discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma .



SISTEMAS ESTRUCTURALES

- Pórticos de Acero

con nudos rigidos y sistemas de arriostramiento.

- Pórticos de Concreto Armado

Pórticos de C.A. Para resistir cargas verticales y laterales.

- Sistema Dual

Combinación de muros y porticos de C.A. Pórticos serán diseñados para tomar por los menos el 25% de la fuerza cortante de la base.



SISTEMAS ESTRUCTURALES

- Muros de Concreto Armado
Resistencia sísmica dada por muros de C.A.
- Albañilería Armada o Confinada
Muros de albañilería resisten cargas verticales y horizontales.
- Construcciones de Madera

SISTEMAS ESTRUCTURALES

•Coeficiente de Reducción Sísmica

Sistema Estructural	Coeficiente de Reduccion R (*)	
	Estructura Regular	Estructura Irregular
<u>Acero</u>		
Porticos dúctiles con uniones resistentes a momentos	9.5	7.1
<u>Otras estructuras de acero</u>		
Arriostres excéntricos	6.5	4.9
Arriostres en cruz	6	4.5
<u>Concreto Armado</u>		
Pórticos ⁽¹⁾	8	6.0
Dual ⁽²⁾	7	5.3
Muros estructurales ⁽³⁾	6	4.5
Muros de ductilidad limitada ⁽⁴⁾	4	3.0
Albañilería Armada y Confinada ⁽⁵⁾	3	2.3
Construcciones de Madera	7	5.3

(*) Factor de fuerza sísmica, $E=1$, de lo contrario multiplicar los valores por el factor de la combinación

(*) Los factores se aplicaran a estructuras en que los elementos verticales y horizontales permitan la disipacion de la energia manteniendo la estabilidad de la estructura

(1) Por lo menos el 80% del cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos que cumplan los requisitos de la NTE E.060 Concreto Armado.

(2) Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 25% del cortante en la base.

(3) Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 80% del cortante en la base.

(4) Edificación de baja altura con alta densidad de muros de ductilidad limitada.

(5) Para diseño por esfuerzos admisibles el valor de R será 6

CATEGORIA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

Categoria de la Edificacion	Regularidad Estructural	Zona	Sistema Estructural
A	Regular	3	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual
		2 y 1	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual
B	Regular o Irregular	3 y 2	Acero, Muros de Concreto Armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema Dual
		1	Cualquier sistema
C	Regular o Irregular	3, 2 y 1	Cualquier sistema

PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS

■ Analisis Estático

- Estructuras Regulares
- Altura menor de 45 m.
- Estructuras de muros portantes menores a 15 m.

■ Analisis Dinámico

- Cualquier estructura

DESPLAZAMIENTOS LATERALES

- Desplazamientos laterales permisibles

Material Predominante	(Δ_i/h_{e_i})
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albanileria	0.005
Madera	0.010

Δ_i , desplazamiento del entrepiso i

h_{e_i} , altura del entrepiso i

SOLICITACIONES SISMICAS Y ANALISIS

En concordancia con los principios de diseño sismorresistente se acepta que las edificaciones tendrán incursiones inelásticas frente a solicitaciones sísmicas severas. Por tanto las solicitaciones sísmicas de diseño se consideran como una fracción de la solicitación sísmica máxima elástica.

El análisis podrá desarrollarse usando las solicitaciones sísmicas reducidas con un modelo de comportamiento elástico para la estructura.



MODELOS PARA EL ANALISIS DE EDIFICIOS

El modelo para el análisis deberá considerar una distribución espacial de masas y rigideces que sea adecuada para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

MODELOS PARA EL ANALISIS DE EDIFICIOS

Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes. Deberá verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia suficientes para asegurar la distribución mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

PESO DE LA EDIFICACION

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la Edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener.

DESPLAZAMIENTOS LATERALES

- Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por “0.75 R” los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R ni el cortante mínimo en la base

EFFECTOS DE SEGUNDO ORDEN

- Los efectos de segundo orden deberán ser considerados cuando produzcan un incremento de más del 10 % en las fuerzas internas.
- Para estimar la importancia de los efectos de segundo orden, podrá usarse para cada nivel el siguiente cociente como índice de estabilidad:

$$Q = \frac{N_i \Delta_i}{V_i h e_i}$$

- Los efectos de segundo orden deberán ser tomados en cuenta cuando $Q > 0,1$

SOLICITACIONES SISMICAS VERTICALES

- Estas solicitaciones se considerarán en el diseño de elementos verticales; en elementos post o pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio.

ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

- Periodo fundamental, T

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

$C_T = 35$, para edificios cuyos elementos resistentes sean unicamente porticos.

$C_T = 45$, para edificios cuyos elementos resistentes sean porticos y las cajas de ascensor y escaleras.

$C_T = 60$, para estructuras de mamposteria y para los edificios cuyos elementos resistentes sean muros de corte.

Método Dinámico alternativo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum P_i D_i^2}{g \sum F_i D_i}}$$

ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

- Cortante en la base, V

$$V = \frac{ZUSC}{R} P \quad \frac{C}{R} > 0.1:$$

Z, factor de zona

U, factor de uso

S, factor de suelo

C, amplificación dinámica

R, factor de reducción por disipación de la energía sísmica

P, peso de la edificación

ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

- Distribucion de fuerza sísmica en altura

$$F_i = \frac{P_i h_i}{\sum P_j h_j} (V - Fa)$$

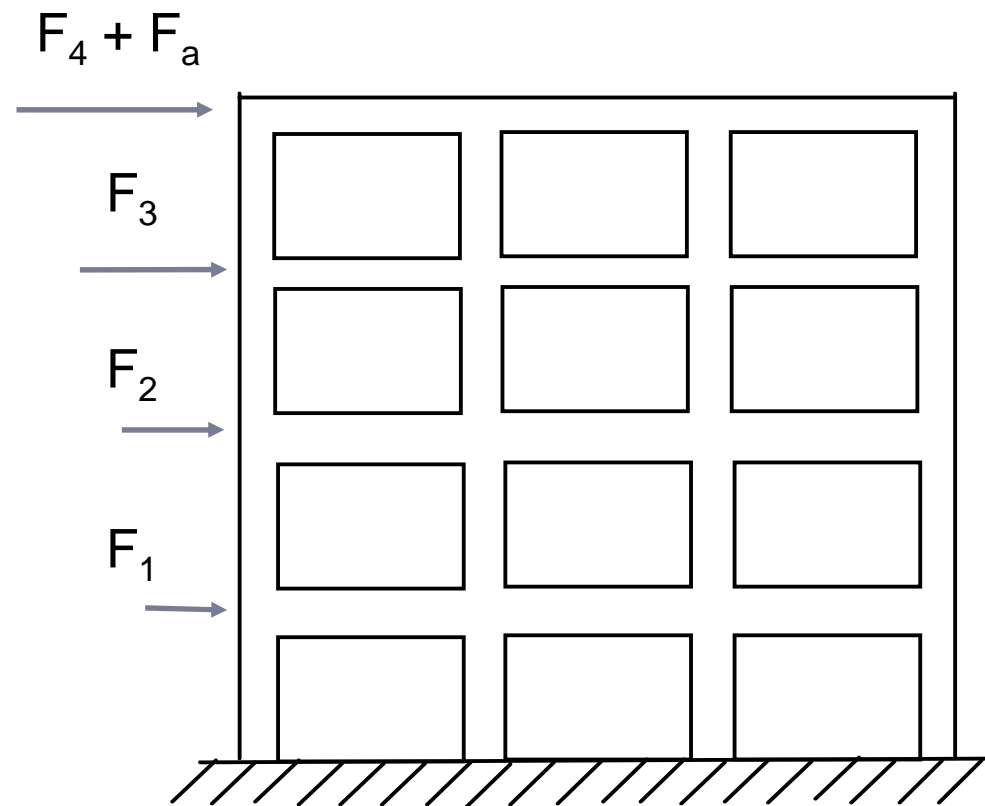
Si $T \leq 0.7$ seg, $Fa = 0$

Si $T > 0.7$ seg, Fa se aplica en la parte superior de la estructura, Fa , se calcula mediante la expresión:

$$Fa = 0.07TV \leq 0.15V$$

ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

- Distribucion de fuerza sísmica en altura



ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

■ Efectos de torsión

Se supondrá que la fuerza en cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del nivel respectivo, debiendo considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación.

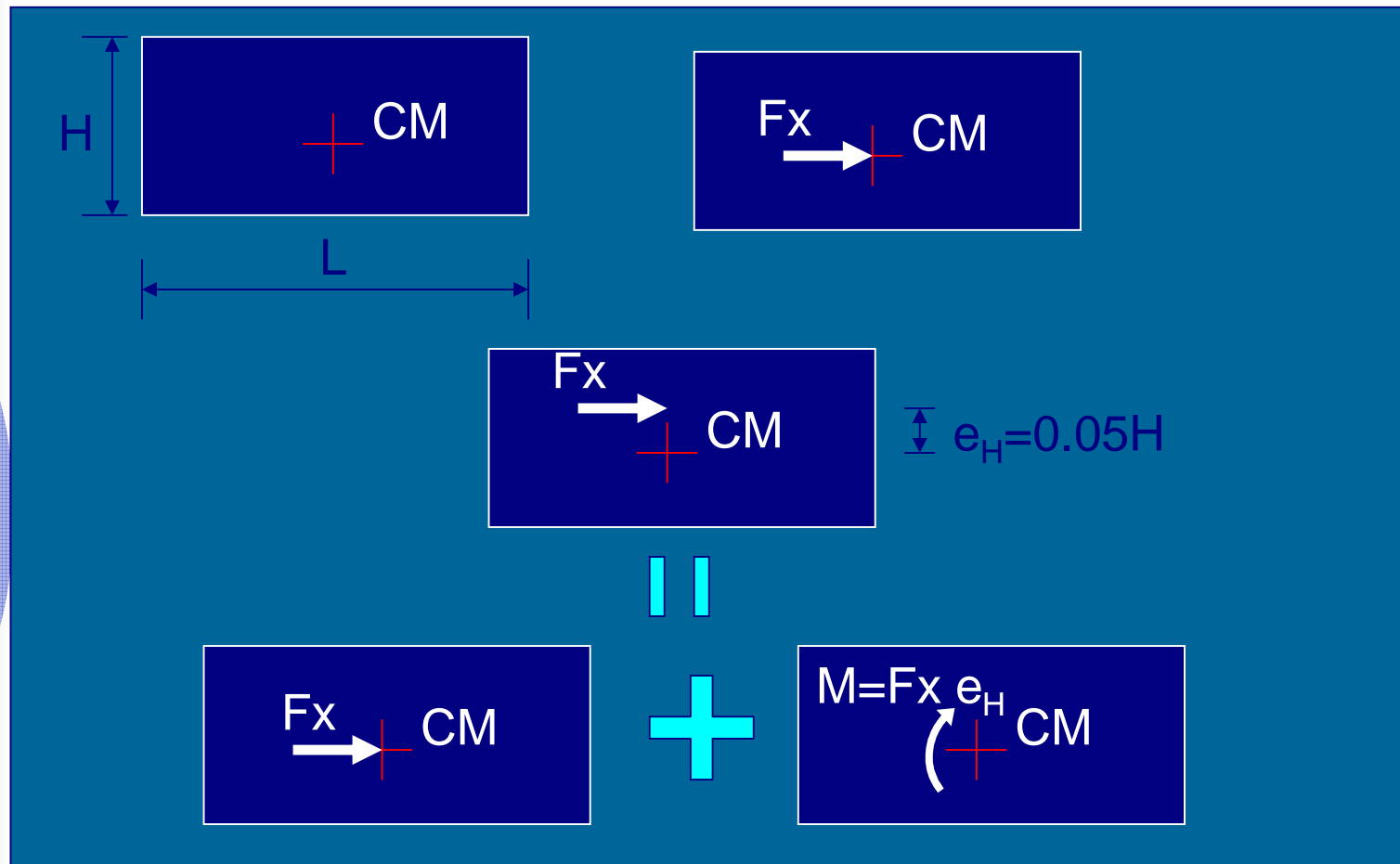
Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e_i), se considerará como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de la acción de las fuerzas.

En cada nivel además de la fuerza actuante, se aplicará el momento accidental denominado Mt_i que se calcula como:

$$Mt_i = \pm F_i e_i$$

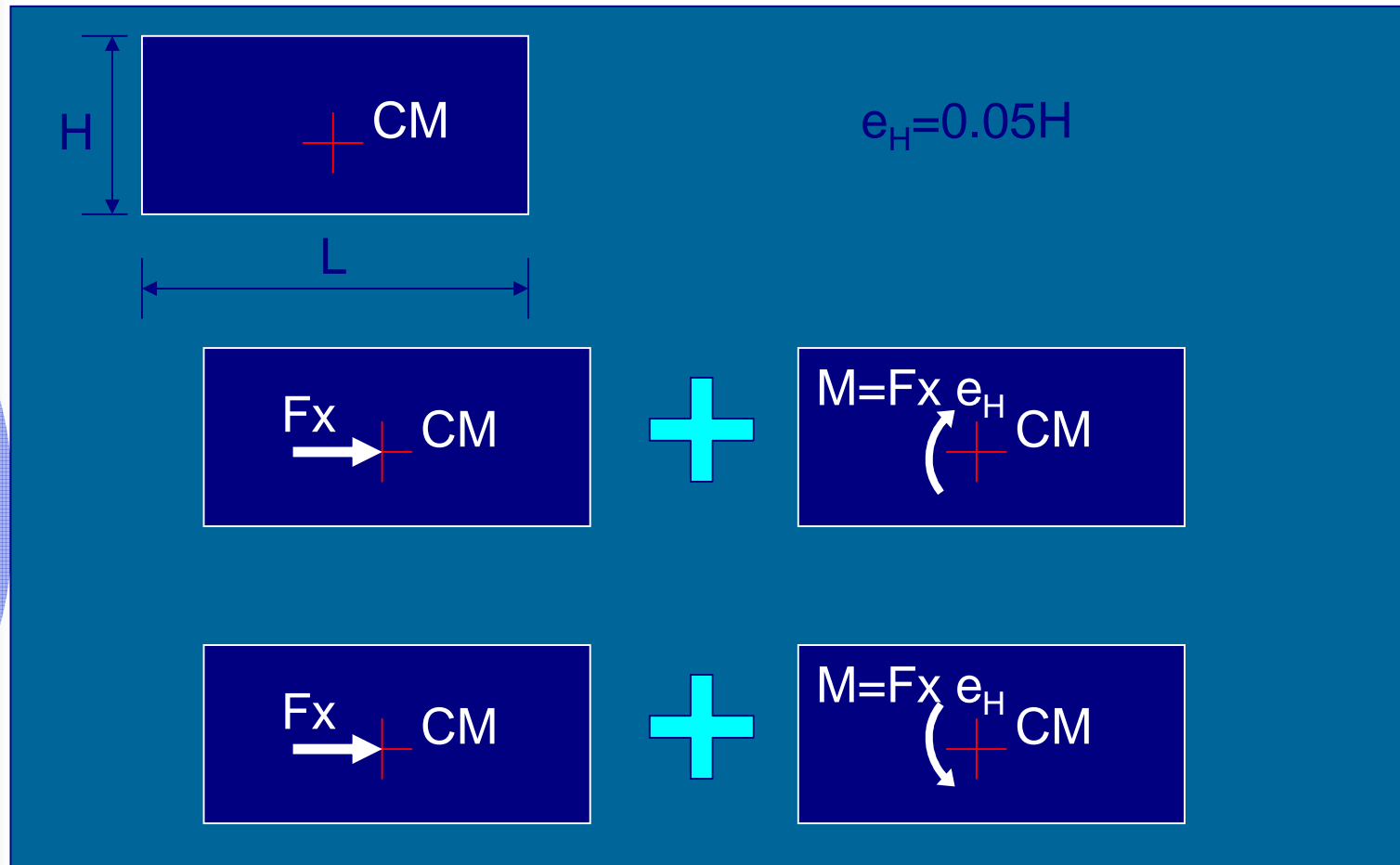
ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

■ Efectos de torsión



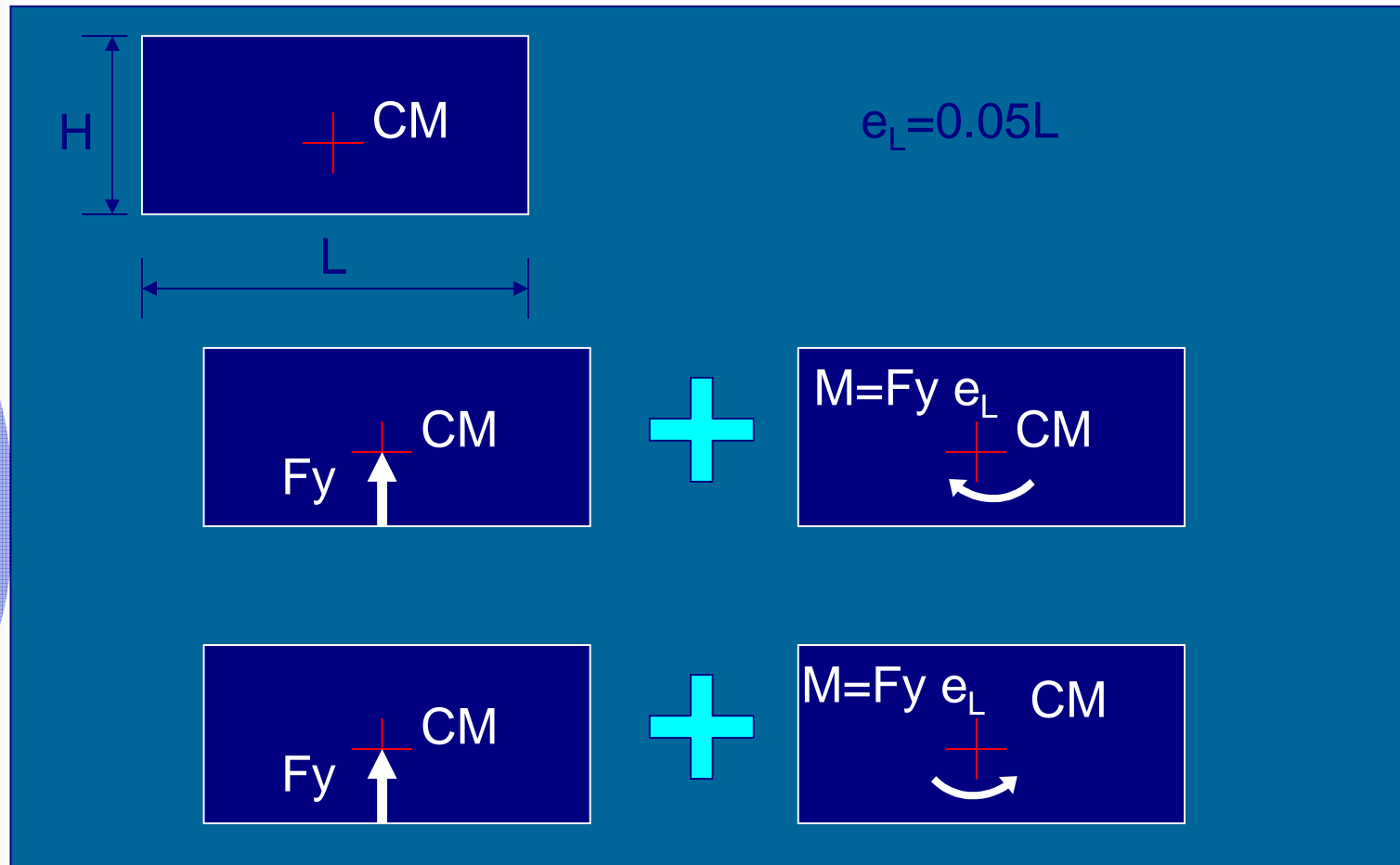
ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

■ Efectos de torsión



ANALISIS ESTATICO EQUIVALENTE

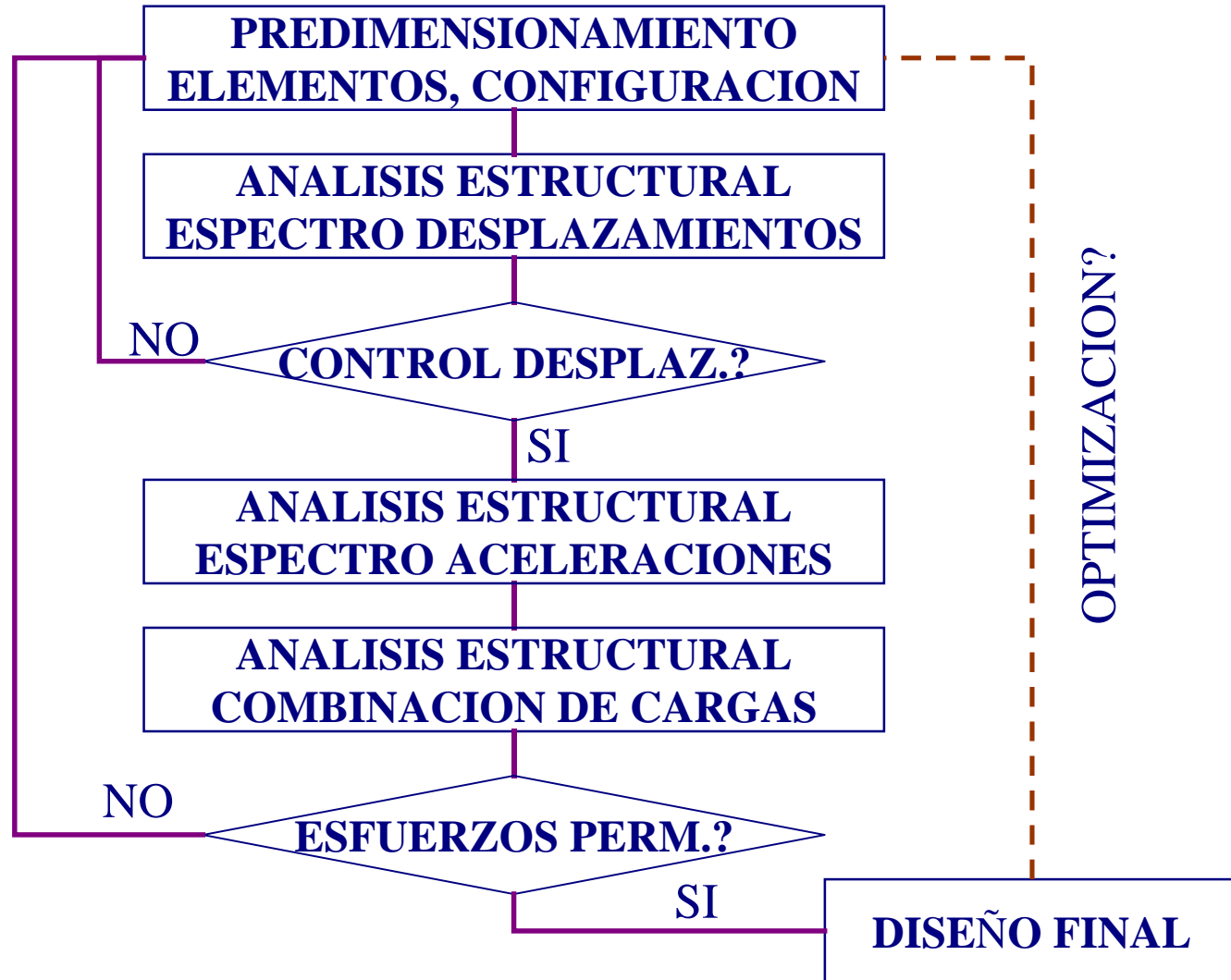
■ Efectos de torsión



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO





Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil

LQT