

NUEVOS ENFOQUES EN LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA Y DE LOS EFECTOS DE SITIO EN LA NORMATIVA SISMO-RESISTENTE

Por:
Luis Enrique García Reyes
Socio Proyectos y Diseños Ltda.,
Profesor Universidad de los Andes

Temario

- La disparidad entre las aceleraciones registradas y el daño observado
- Atenuación de las ordenadas espectrales vs. atenuación de la aceleración pico efectiva
- El "Sismo Increíble"
- El nuevo enfoque a la definición de la amenaza sísmica
- Los efectos de sitio dentro de este nuevo enfoque
- ¡Algunos casos para reflexionar!

Pronosticado vs. Medido

Huracán Andrew



Velocidad del viento huracán Andrew

- Se midieron velocidades del viento hasta de 180 mph (300 km/h = 83 m/s)
- Los mapas de velocidad de viento de las normas del momento asignaban una velocidad de 110 mph (180 km/h = 50 m/s). Esta velocidad se definía como una velocidad "fastest-mile" medida a 10 m sobre el terreno con exposición C y con una probabilidad anual de excedencia de 0.02 (período promedio de retorno de 50 años)

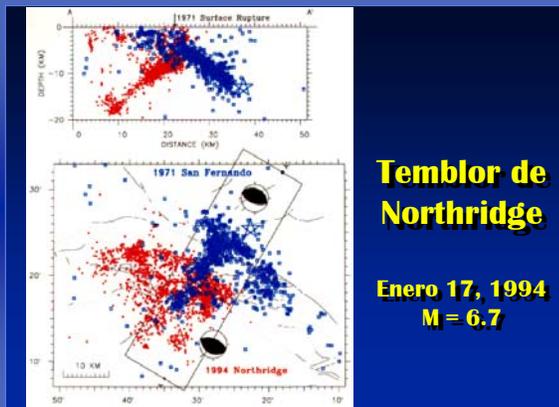
Daños, víctimas y otros

- Murieron 39 personas
- 28 000 casas fueron destruidas
- 107 000 casas dañadas
- Reclamos de seguros por US \$ 15 000 millones
- 371 compañías de seguros reportaron pérdidas
- Numerosas compañías de seguros de quebraron

El resultado

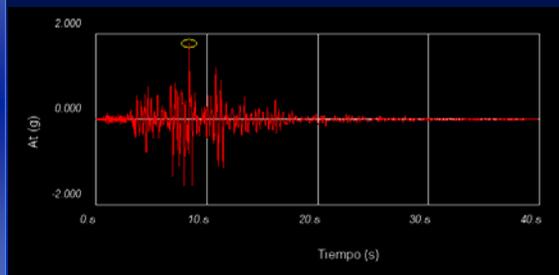
- Un número importante de compañías de seguros se retiraron del Estado de Florida
- Un aumento substancial de costo de las primas de seguros
- Se alegó que las velocidades de viento excedieron los valores del Código para no pagar algunas de las pólizas
- La velocidad del viento del Código fue subida a 150 mph (250 km/h = 68 m/s) y ahora es velocidad del viento para ráfaga de 3 segundos medida a 10 m sobre terreno de exposición C estimada para un periodo de retorno medio de 50 años.

Pronostico vs. Medido El caso sísmico

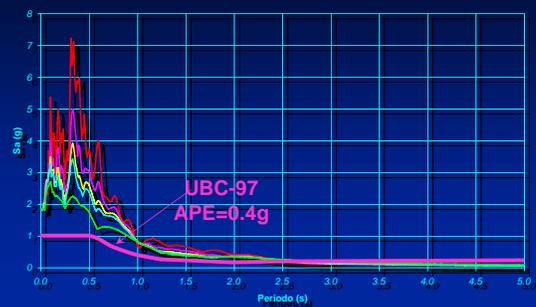


Registro Tarzana EW

Máxima aceleración horizontal = 1.87g

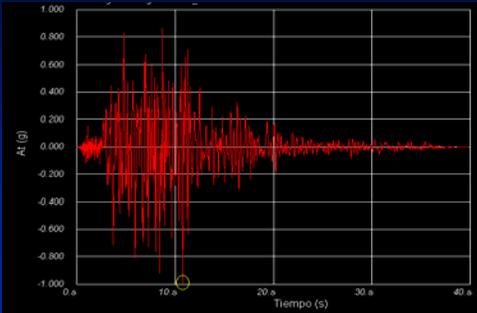


Espectro de Aceleraciones
Tembor de Northridge - Registro Tarzana NS



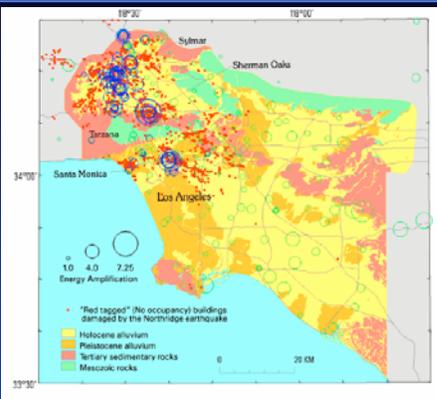
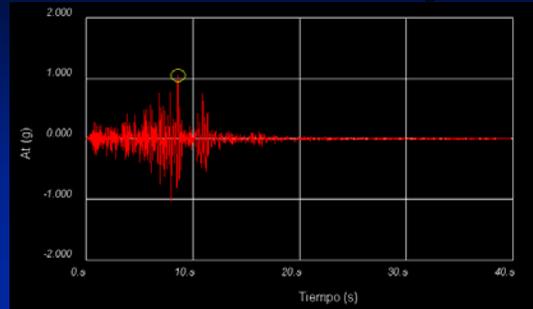
Registro Tarzana NS

Máxima aceleración horizontal = 0.99g



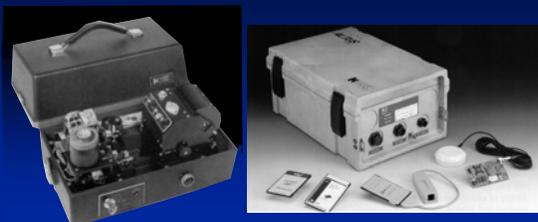
Registro Tarzana Vertical

Máxima aceleración vertical = 1.05g

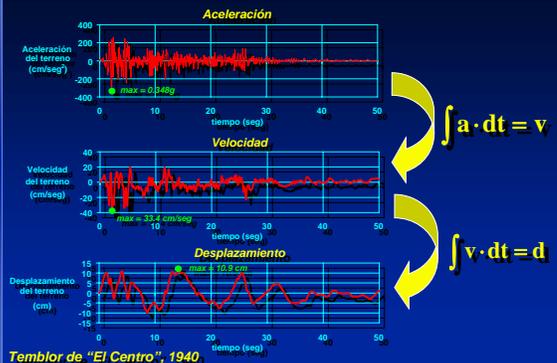


**Pero volvamos un paso atrás
y veamos en que se ha
fundamentado lo que se tiene
en la actualidad**

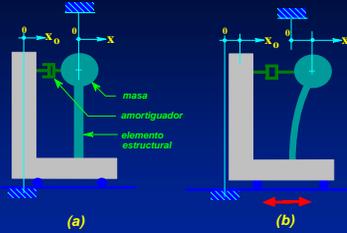
Acelerógrafos de movimiento fuerte



Movimientos máximos del terreno



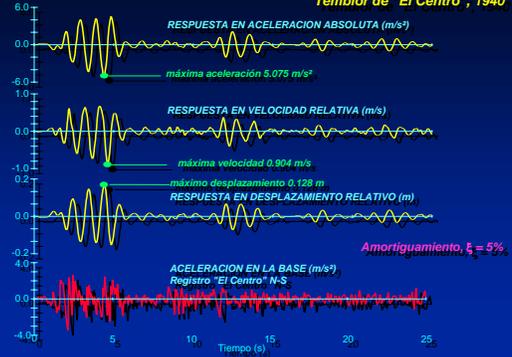
Sistema elástico de un grado de libertad



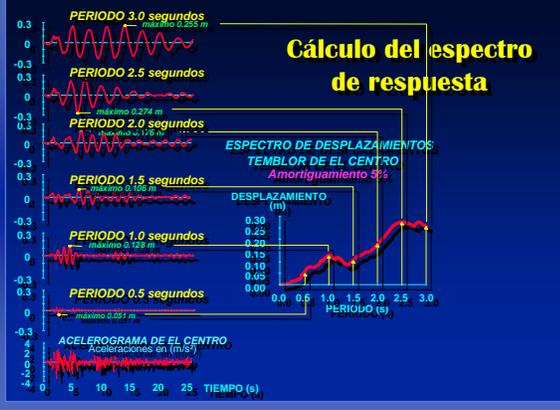
Si sometemos un oscilador de un grado de libertad a una excitación sísmica en la base, obtenemos una respuesta que se expresa en aceleración, velocidad y desplazamiento.

Respuesta elástica, sistema con periodo T=1 s

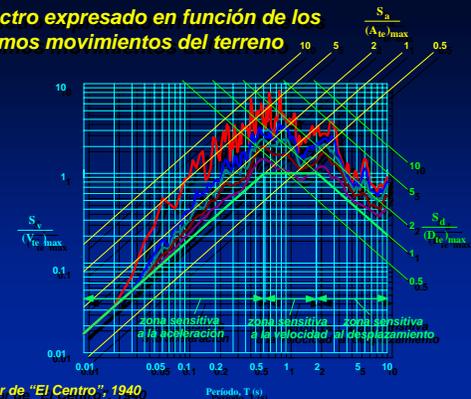
Temblor de "El Centro", 1940



Cálculo del espectro de respuesta

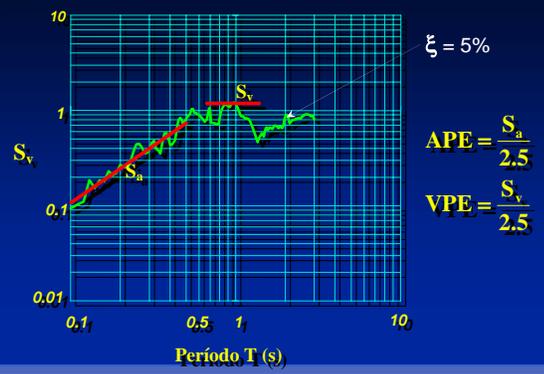


Espectro expresado en función de los máximos movimientos del terreno

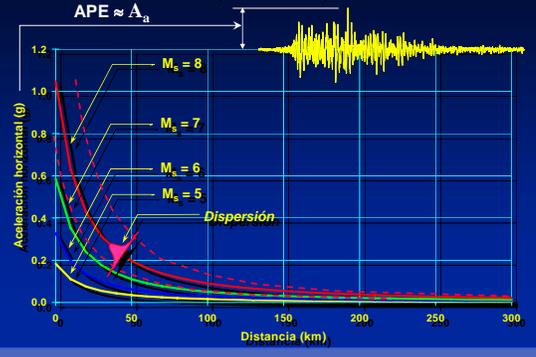


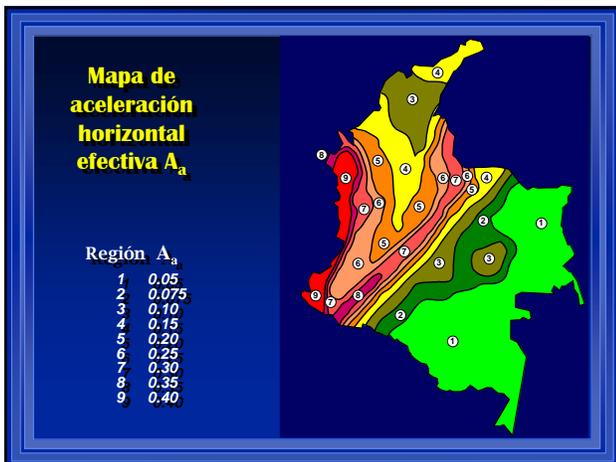
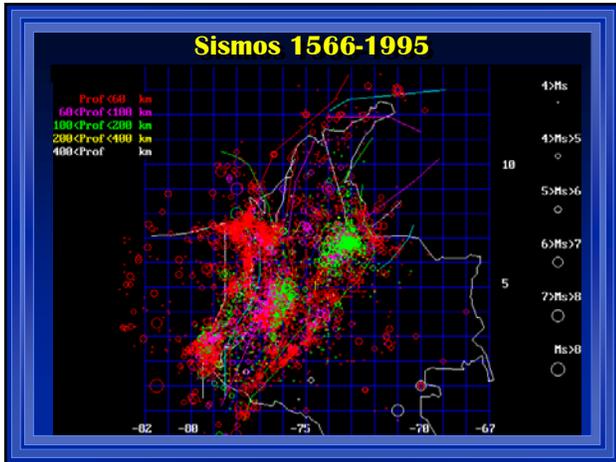
Temblor de "El Centro", 1940

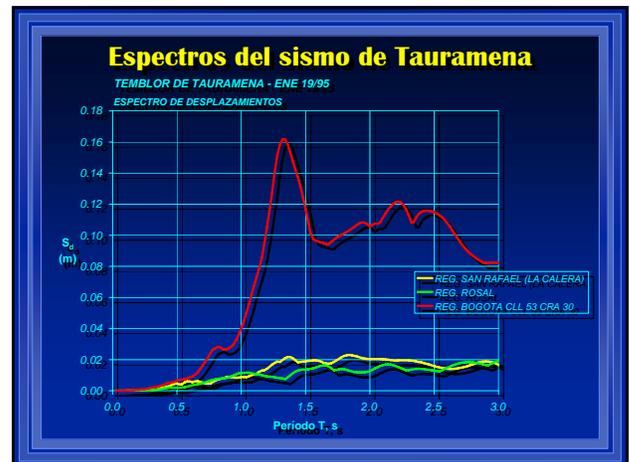
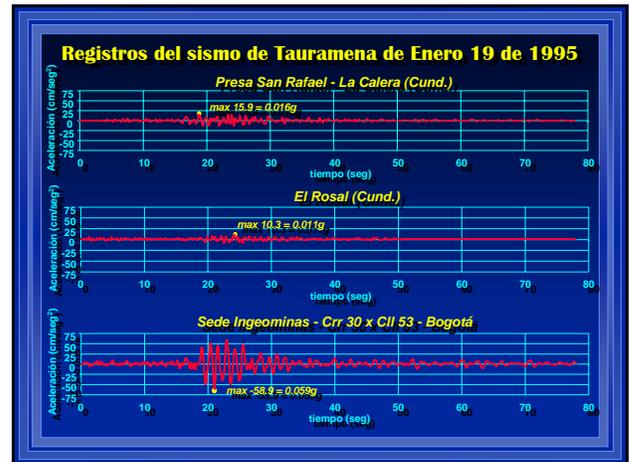
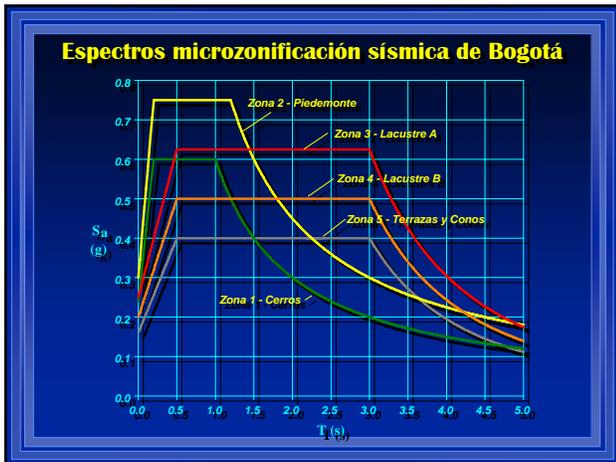
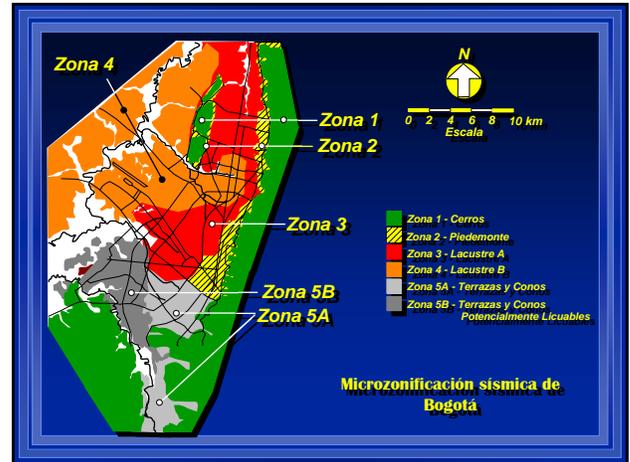
Definición de la Aceleración Pico Efectiva

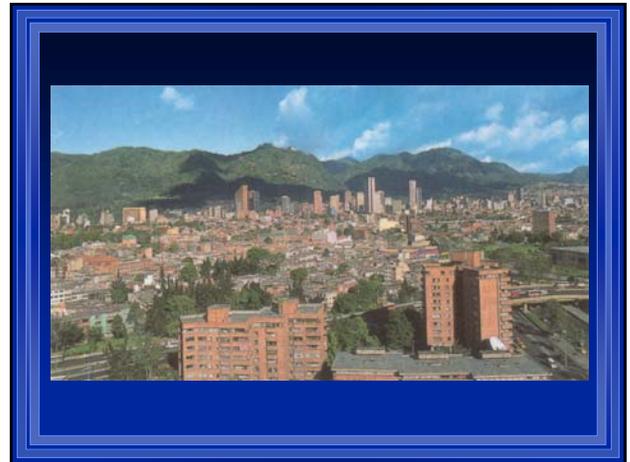
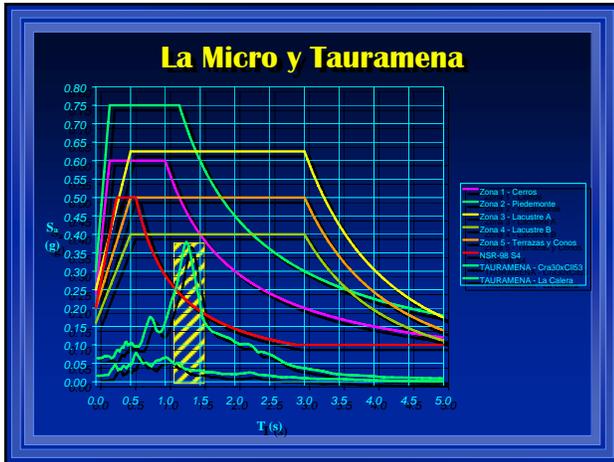


Variación de los movimientos sísmicos con la distancia (atenuación)









- ### Principales aspectos que no se han tenido en cuenta
- *Atenuación variable para los diferentes periodos de vibración*
 - *Duración de la fase intensa del movimiento*
 - *Efectos topográficos*
 - *Efectos de campo cercano*
 - *Que el desplazamiento es parámetro importante en el diseño estructural*
 - *¡Entre otros!*

La pregunta importante es si hay posibilidad de tener en cuenta estos parámetros actualmente



Viaducto de Bolu

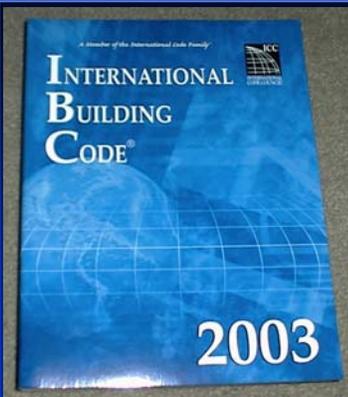
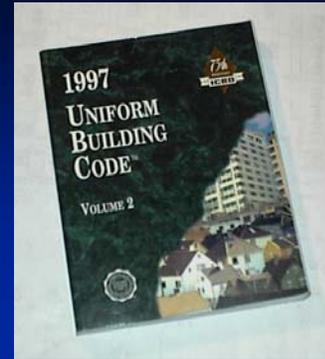
Longitud: 2 313 m
 Ancho: 2 x 17.5 m
 Número total de pilas por viaducto: 58
 Máxima altura de pila: 49 m
 Máxima luz: 39.6 m





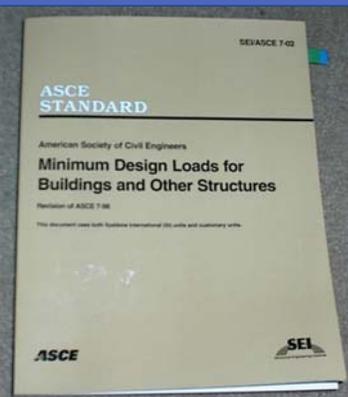
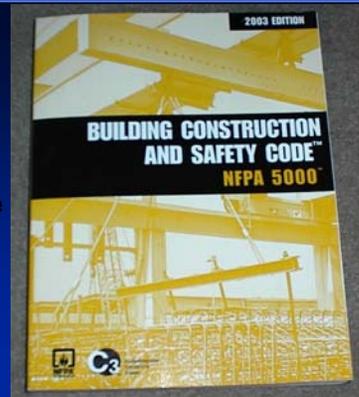
**Ahora veamos como se han
enfocado recientemente
algunas de estas inquietudes
en otras latitudes**

El medio norteamericano



**IBC-03
Producido por:
ICBO (UBC)
BOCA
SBC**

**NFPA 5000
Producido por
la National Fire
Protection
Agency**



**SEI/ASCE 7-02
Producido por
el Structural
Engineering
Institute de la
American
Society of Civil
Engineers.**

SEI/ASCE 7-02

Los requisitos sísmicos del SEI/ASCE 7-02, publicado a comienzos del 2003, están basados en los requisitos del documento: "2000 NEHRP - Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings – FEMA 368 y 369" preparado por el Building Seismic Safety Council – BSSC bajo el patrocinio de la Federal Emergency Management Agency – FEMA

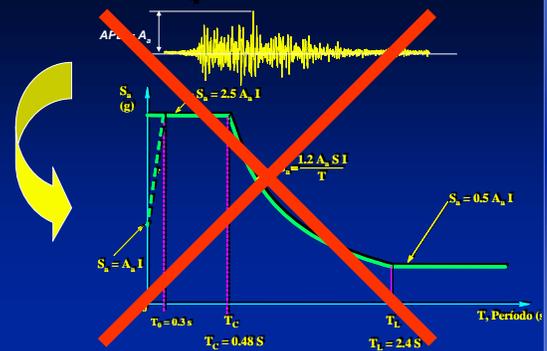
(NEHRP = National Earthquake Hazard Reduction Program)

Enfoque en la definición de los movimientos sísmicos de diseño del SEI/ASCE 7-02

Se cambia la denominación de los movimientos sísmicos considerados por el Código.

Se abandona la definición basada en una probabilidad de solo 10% de ser excedidos en 50 años (período medio de retorno 475 años) para la aceleración pico efectiva (APE) de la cual se determina un espectro de diseño.

Enfoque del ASCE 7-02



Porque se abandona este enfoque

Este enfoque conduce, adecuadamente, a una probabilidad uniforme de no excedencia de los movimientos sísmicos de diseño en todas las zonas de amenaza sísmica, aún con diferente tectónica.

Porque se abandona este enfoque

No obstante, este procedimiento **NO** conduce a un margen de seguridad uniforme al colapso, ante los movimientos sísmicos de diseño, en todas las regiones.

Porque se abandona este enfoque

Esto se debe a que la tasa de variación en los movimientos sísmicos de diseño con respecto a su probabilidad de ocurrencia no es uniforme en todas las regiones geográficas.

En qué se basa el nuevo enfoque

El objetivo es proveer un margen de seguridad uniforme al colapso debido a los movimientos sísmicos de diseño.

En qué se basa el nuevo enfoque

Para lograrlo, la amenaza sísmica se define en términos de los movimientos sísmicos producidos por el **Máximo Sismo Considerado**, el cual se define en función de la sismicidad de cada región individual.

En qué se basa el nuevo enfoque

En otras palabras, estos estudios indicaron que una estructura nueva resiste, en general, un sismo que produce movimientos sísmicos 1.5 veces más fuertes que los de diseño

En qué se basa el nuevo enfoque

En consecuencia los **movimientos sísmicos de diseño** corresponden a una intensidad de movimiento equiparable a 1/1.5 (2/3) del que produciría el **Máximo Sismo Considerado**.

Máximo Sismo Considerado

Se define, para la mayoría de las regiones, como aquel que produce unos movimientos sísmicos que tengan una probabilidad uniforme de ser excedidos de solo 2% en 50 años:

$$q_0 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

$$0.02 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{50} \Rightarrow \bar{T} = 2475 \text{ años}$$

Máximo Sismo Considerado

Se hace la salvedad que en regiones de sismicidad alta, los movimientos sísmicos de diseño para una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años serían mucho mayores que los generados por las fallas activas conocidas en la región para eventos con magnitudes similares a las características de estas fallas.

Máximo Sismo Considerado

En estas regiones de sismicidad alta, se estableció que era más apropiado definir los movimientos sísmicos producidos por el **Máximo Sismo Considerado**, como 1.5 veces (inverso de 2/3) los movimientos sísmicos que producirían eventos sísmicos de las magnitudes características en estas fallas conocidas.

¡Los movimientos sísmicos producidos por el Máximo Sismo Considerado se definen directamente como las ordenadas de un espectro de aceleraciones horizontales!

Definición de las ordenas espectrales del Máximo Sismo Considerado

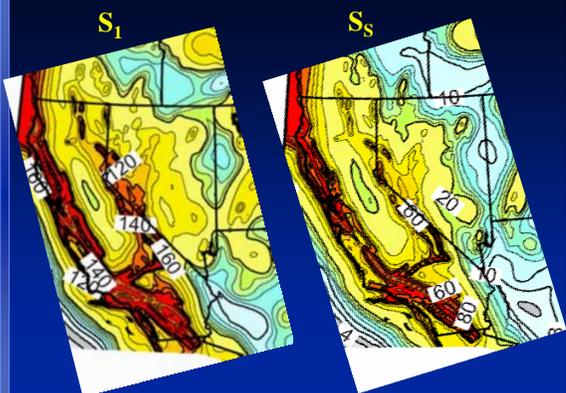
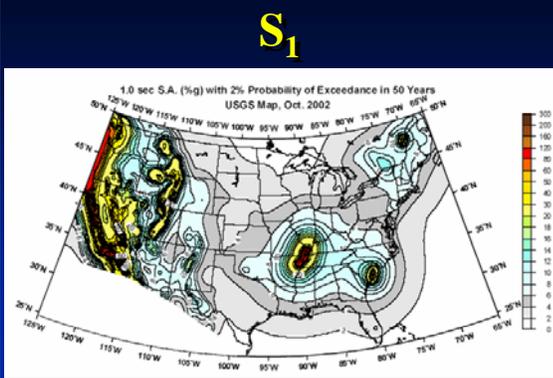
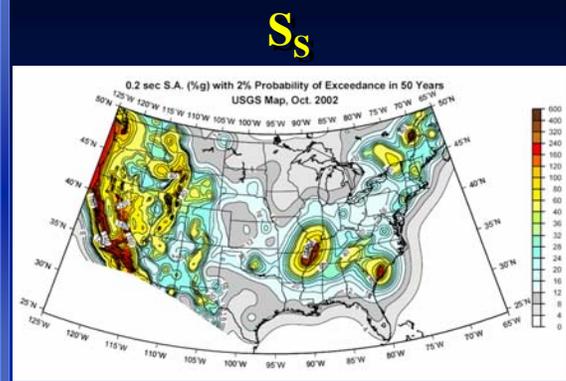
Esto se realiza por medio de dos parámetros:

S_S = Valor del espectro de aceleraciones, con 5% de amortiguamiento, en roca, para un período de 0.2 segundo

S_1 = Valor del espectro de aceleraciones con 5% de amortiguamiento, en roca, para un período de 1 segundo

Definición de las ordenas espectrales del Máximo Sismo Considerado

Es importante anotar que los estudios de amenaza sísmica realizados para obtener los valores de S_S y S_1 se realizan directamente para la ordenada espectral utilizando ecuaciones de atenuación apropiadas para el contexto tectónico e independientes para los dos parámetros.



Definición de las ordenas espectrales del Máximo Sismo Considerado en sitios diferentes a roca

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

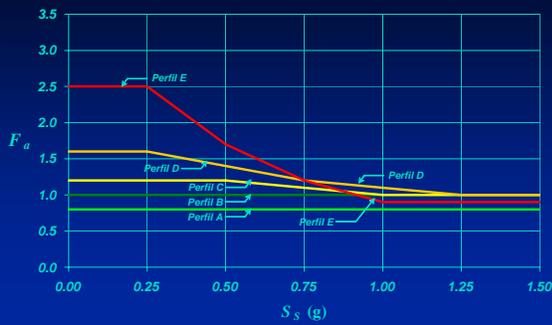
F_a y F_v corresponden a coeficientes de sitio

Definición de los Tipos de Perfil de Suelo

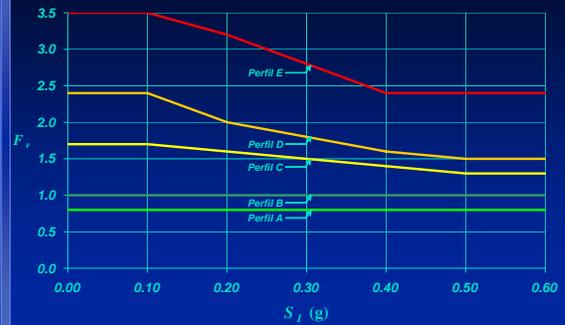
Los perfiles de suelo tienen la misma definición del Apéndice H-1 de la NSR-98 usando los 30 m superiores del perfil y con base en velocidad de onda de cortante, penetración estándar o resistencia al corte no drenado:

- A – Roca competente
- B – Roca
- C – Suelos muy duros o roca blanda
- D – Suelos rígidos
- E – Más de 3 m de arcillas blandas
- F_1 – Suelos vulnerables (licuables, dispersivos, etc.)
- F_2 – Turba y arcillas orgánicas
- F_3 – Arcillas de alta plasticidad IP mayor de 75
- F_4 – Gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda

Valores de F_a



Valores de F_v

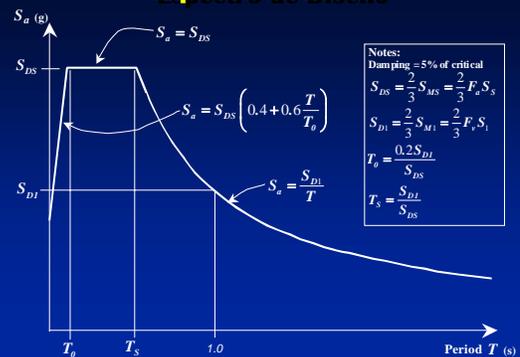


Definición de las ordenas espectrales del sismo de diseño

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 F_a S_S$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 F_v S_1$$

Espectro de Diseño



Estudios de sitio

El SEI/ASCE 7-02 permite el uso alterno de estudios de sitio (o Microzonificaciones). Estos estudios deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1 – Sismología y geología regional
- 2 – Las tasas de recurrencia y magnitudes máximas asignables a los eventos que puedan ocurrir en las fallas y zonas sísmogénicas conocidas.
- 3 – Las características de los suelos cercanos a la superficie

Estudios de sitio

Se deben obtener dos alternativas para determinar las aceleraciones espectrales:

- 1 - Máximo Sismo Probabilístico Considerado
- 2 – Máximo Sismo Determinístico Considerado

Estudios de sitio

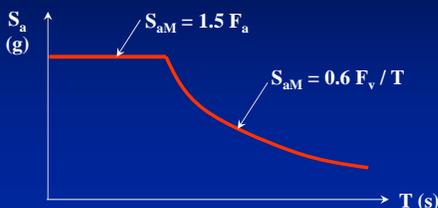
Los movimientos sísmicos que pueda producir el Máximo Sismo Probabilístico Considerado se describen por medio del espectro S_{aM} para 5% de amortiguamiento que tenga una probabilidad de excedencia de 2% para un lapso de 50 años (período de retorno de 2500 años aproximadamente).

Estudios de sitio

Los movimientos sísmicos que pueda producir el Máximo Sismo Determinístico Considerado se describen por medio del espectro S_{aM} calculado como el 150% de la media, para cada período de vibración, de todas las respuestas espectrales al 5% de amortiguamiento de sismos característicos en todas las fallas activas conocidas en la región.

Estudios de sitio

El SEI/ASCE 7-02 define además un límite determinístico al espectro del Máximo Sismo Considerado:



Estudios de sitio

Las ordenadas espectrales S_{aM} del Máximo Sismo Considerado deben corresponder a las del Máximo Sismo Probabilístico Considerado, a menos que la ordenada espectral a 0.2 segundos exceda $1.5gF_a$ ó a 1 segundo exceda $0.6gF_v$, caso en el cual se debe tomar el menor entre el probabilístico y el determinístico, pero en ningún caso puede ser menor que el espectro límite determinístico.

Estudios de sitio

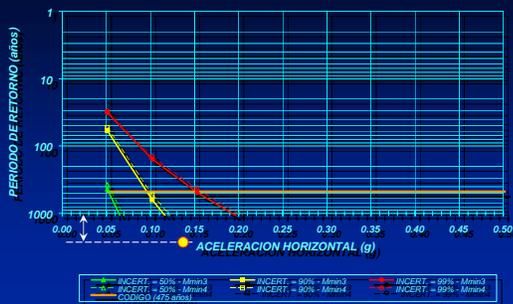
Las ordenadas espectrales S_d de diseño para cualquier período de vibración, se obtienen por medio de:

$$S_d = 2/3 S_{dM}$$

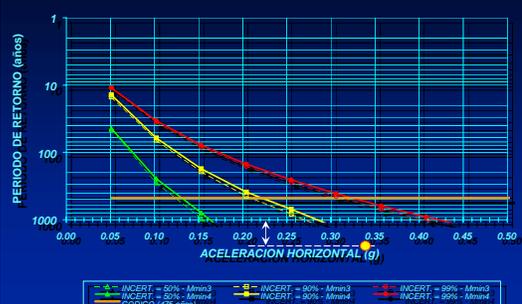
¿Que pasaría en nuestro caso?

¡Se está estudiando!

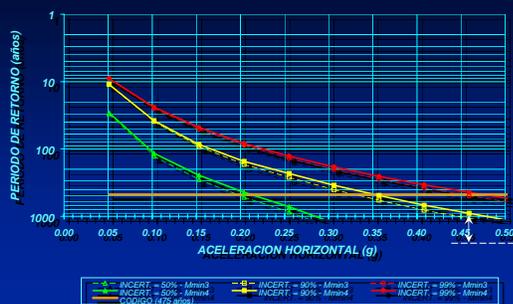
CIUDAD: BARRANQUILLA



CIUDAD: BOGOTA



CIUDAD: CUCUTA



FIN

