

IV CONGRESO AICE
ASOCIACION DE INGENIEROS CIVILES ESTRUCTURALES
“REPLICAS”

**I JORNADAS DE ADMINISTRACION Y GESTION DE LA
INGENIERIA ESTRUCTURAL**

SANTA CRUZ – CHILE

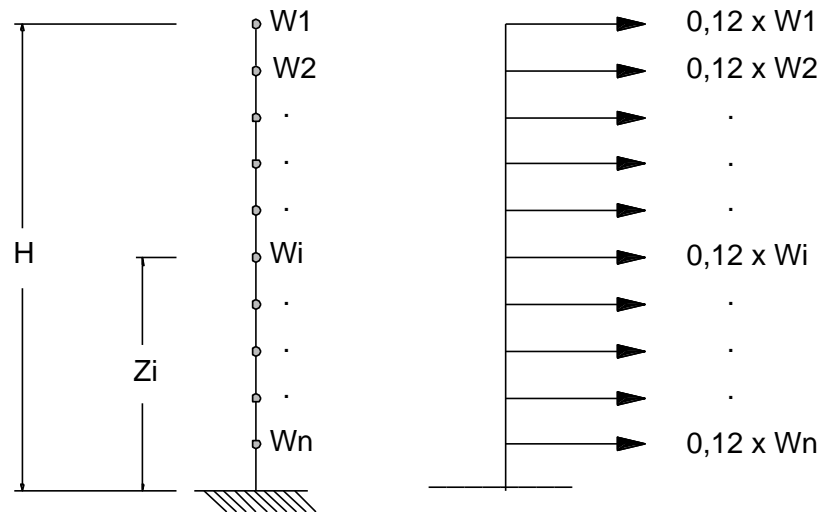
NOVIEMBRE 2011

EVOLUCION HISTORICA DE LA NORMA SISMICA NCh433

TOMAS GUENDELMAN B. y JORGE LINDENBERG B.

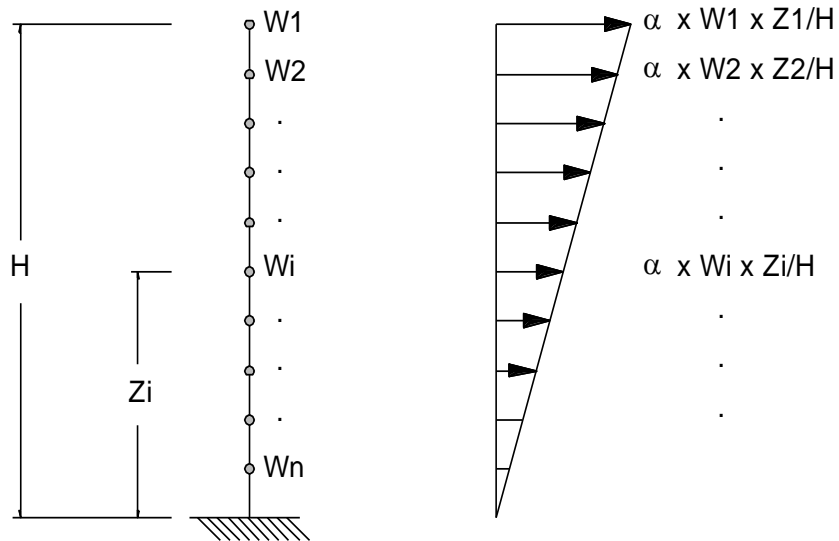
I.E.C. INGENIERIA S.A.

ANTES DE 1950
LEY UNIFORME DE ACELERACIONES
(CORTE BASAL IGUAL A 12% DEL PESO)



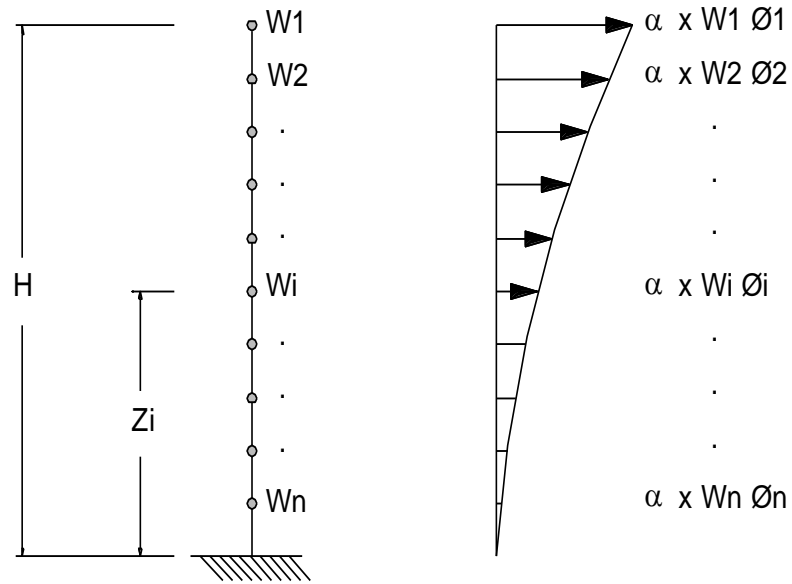
DECADA DE LOS '50

LEY LINEAL DE ACELERACIONES (CORTE BASAL IGUAL A 12% DEL PESO)



DECADA DE LOS '60

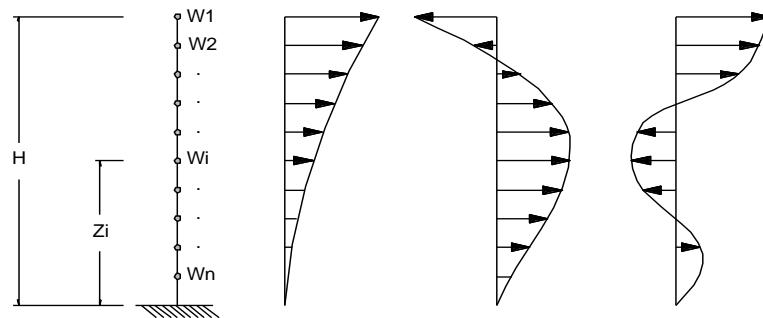
LEY DE ACELERACIONES CON FORMA DEL PRIMER MODO (CORTE BASAL IGUAL A 12% DEL PESO)



1968 - 433p.68

(NORMA SÍSMICA PROVISORIA-EX 63-9)

INCORPORA METODO DINAMICO DE ANALISIS



ESPECTRO DE ACELERACIONES DE LA NORMA PROVISORIA DE 1968

$$a / g = 0.1K_1K_2 \quad ; \text{ para } T \leq T_0$$

$$a / g = 0.1K_1K_2 \frac{2TT_0}{T^2 + T_0^2} \quad ; \text{ para } T \geq T_0$$

PARAMETROS DEL ESPECTRO

- T : Período de vibración del modo correspondiente
- T_0 : Parámetro dimensional dependiente del tipo de suelo
0.15 seg, para roca, grava densa o grava arenosa densa
0.30 seg., para arena densa y suelos cohesivos, duros o firmes
0.90 seg., para suelos granulares sueltos y para suelos cohesivos, medianos y blandos
- K_1 : Coeficiente relativo al uso del edificio
1.2: edificios de especial importancia en caso de catástrofes. Grupo (a)
1.0: edificios destinados a la habitación privada o al uso público donde no es habitual la aglomeración de personas. Grupo (b)
0.8: edificios cuya falla no pueda causar daño a edificios de los Grupos (a) o (b). Grupo (c)
- K_2 : Coeficiente relativo a la forma estructural
1.2: edificios en general. Tipo (d)
1.0: edificios cuyos pisos y cubiertas tienen diafragmas rígidos. Tipo (e)
0.8: edificios del Tipo (e), que resisten las fuerzas horizontales exclusivamente por marcos rígidos de ductilidad adecuada. Tipo (f)

REGLA DE COMBINACION DE ESFUERZOS

$$S = \frac{1}{2} \left(\sum_1^3 |S_i| + \sqrt{\sum_1^3 S_i^2} \right)$$

en que:

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

S_i = sollicitación correspondiente al iésimo modo.

DISTRIBUCION DEL ESFUERZO DE CORTE

- Si se disponen diafragmas rígidos a nivel de los pisos o cubiertas, el esfuerzo de corte Q_k que actúa en el nivel del piso considerado, deberá ser distribuido entre los diversos elementos destinados a resistir las fuerzas en proporción a sus respectivas rigideces, tomando en cuenta la ubicación y dirección de cada uno de ellos.
- La estructura deberá dimensionarse en cada nivel superponiendo a los esfuerzos de corte prescritos en la presente norma un momento de torsión expresado en la forma siguiente:

$$M_{t,k} = 1,5 Q_k (e_k \pm 0,033b_k)$$

Nota: Observar que la primera componente corresponde a la torsión por excentricidad estructural y la segunda a excentricidad accidental.

LIMITACIONES DEL ANALISIS

- La fuerza debida al momento de torsión no podrá exceder a la que resulta de la distribución del esfuerzo de corte Q_k .
- Si la fuerza debida al momento de torsión es de sentido opuesto a la originada por la distribución del esfuerzo de corte, se deberá considerar la diferencia entre esta última y el 50% de la primera.
- La reducción mencionada sólo será permitida cuando se emplee un método de análisis que considere la interacción de los pisos.

VALORES MINIMOS DEL ESFUERZO DE CORTE BASAL

- Si el esfuerzo de corte basal resultare menor que $0.06K_1K_2P$, se amplificarán todos los esfuerzos proporcionalmente de manera que dicho esfuerzo de corte alcance el valor señalado, como mínimo.

P = Peso total del edificio sobre el nivel basal

- En ninguno de los niveles las sollicitaciones sísmicas de cálculo podrán ser inferiores al 60% de las que corresponden a las fuerzas calculadas según el método estático de análisis.
- Notar que los valores extremos del esfuerzo de corte basal mínimo son:

Para $K_1=K_2=0.8$ $Q_{\min}=3.84\%$ de P

Para $K_1=K_2=1.2$ $Q_{\min}=8.64\%$ de P

1972 – NORMA SISMICA OFICIAL NCh433.Of72

Versión prácticamente igual a la de 1968, salvo algunas modificaciones derivadas del mayor conocimiento adquirido a esa fecha. Las principales modificaciones son las siguientes:

- T_0 : 0.20 seg, para roca, grava densa o grava arenosa densa. Notar que se sube de 0.15 a 0.20
- En la regla de combinación modal, se exige un número de modos mayor o igual a 3. Observar que la norma 433p.68 establecía sólo 3 modos.

DISTRIBUCION EN PLANTA DEL ESFUERZO DE CORTE

- Si se disponen diafragmas rígidos a nivel de los pisos y cubierta, se incorpora la exigencia de satisfacer equilibrio y compatibilidad de desplazamientos (traslaciones laterales y giros en planta), simultáneos, en todos los niveles.
- Deberá verificarse que los diafragmas tienen rigidez y resistencia suficientes como para lograr la distribución mencionada. Si no la tuvieran deberá tomarse en cuenta su flexibilidad en la distribución de los esfuerzos sísmicos.
- En los pisos sin diafragmas rígidos los elementos resistentes se calcularán con los esfuerzos horizontales que directamente les correspondan.

TORSION EN PLANTA

$$M_{t,k} = 1,5Q_k e_k + 0,05I_k \sum_{j=k}^n F_j b_j$$

I_k = factor de reducción para el momento de torsión accidental, dado por:

$$I_k = 0,7 + 0,3 \frac{Z_k}{H}$$

MODULO DE ELASTICIDAD

Para el cálculo de deformaciones de elementos resistentes de hormigón armado se supondrá que estos elementos trabajan en fase I y con un módulo de elasticidad E dado por la fórmula:

$$E = 19000\sqrt{R_{28}}$$

en que:

R_{28} = resistencia cúbica del hormigón a los 28 días, expresados en kg/cm^2 .

E se expresa también en kg/cm^2 .

1996 NORMA SISMICA NCh433.Of96

FILOSOFIA IMPLICITA

Sismo moderado

- comportamiento linealmente elástico
- ausencia de daños estructurales

Sismo fuerte

- incursión moderada en el rango plástico
- deformaciones remanentes mínimas
- fisuras o grietas menores
- estructura recuperable

Sismo severo

- incursión franca en el rango plástico
- deformaciones remanentes importantes
- grietas de consideración
- reparabilidad incierta
- ausencia de colapso

La norma señala, explícitamente lo siguiente:

“Particularmente, las disposiciones para edificios de muros de hormigón armado están inspiradas en el satisfactorio comportamiento que tuvieron durante el sismo de mayo de 1985, los edificios de este tipo diseñados de acuerdo con la norma NCh433.Of72”.

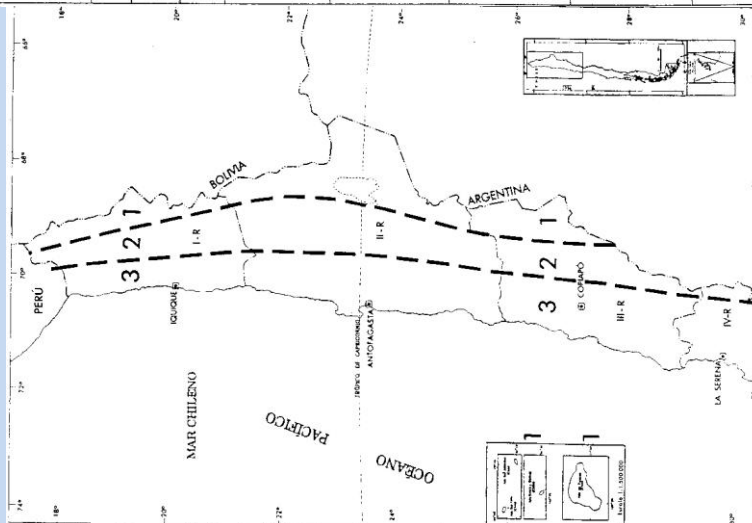
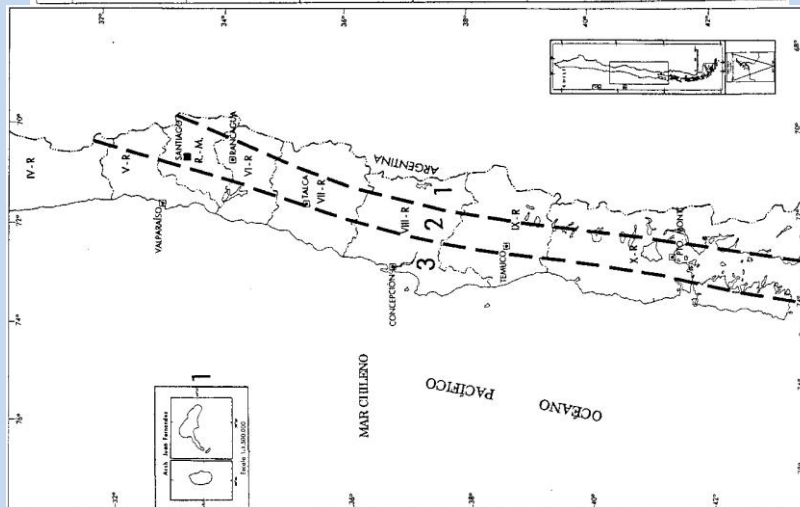
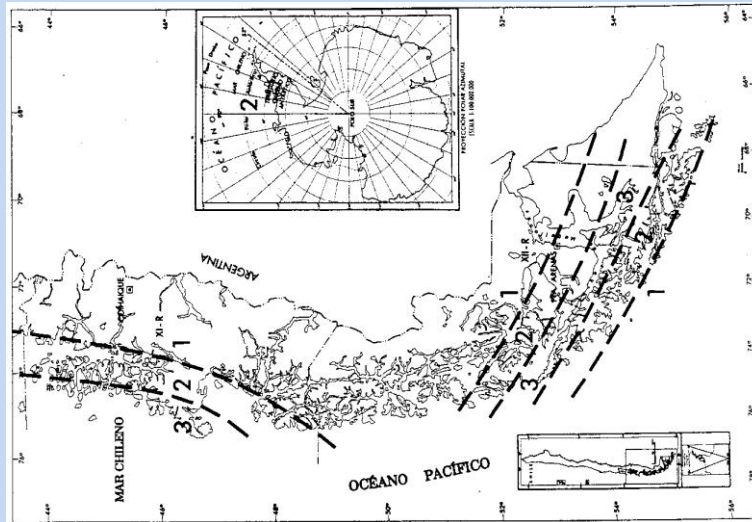
CLASIFICACION DE EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS

- **Categoría A:** edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública (como cuarteles de policía, centrales eléctricas y telefónicas, correos y telégrafos, radioemisoras, canales de televisión, plantas de agua potables y de bombeo, etc.), y aquellos cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe (como hospitales, postas de primeros auxilios, cuarteles de bomberos, garajes para vehículos de emergencia, estaciones terminales, etc.).
- **Categoría B:** edificios cuyo contenido es de gran valor (como bibliotecas, museos, etc.) y aquellos donde existe frecuentemente aglomeración de personas. Entre estos últimos se incluyen los siguientes edificios:
 - Salas destinadas a asambleas para 100 o más personas;
 - estadios y graderías al aire libre para 2000 o más personas;
 - escuelas, parvularios y recintos universitarios;
 - cárceles y lugares de detención;
 - locales comerciales con una superficie igual o mayor que 500m^2 por piso, o de altura superior a 120 metros;
 - Centros comerciales con pasillos cubiertos, con una área total superior a 3.000m^2 sin considerar la superficie de estacionamientos.
- **Categoría C:** edificios destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a ninguna de las categorías A o B, y construcciones de cualquier tipo cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las categorías A, B o C.
- **Categoría D:** construcciones aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en ninguna de las categorías anteriores.

TIPOS DE SUELOS

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
I	<p><i>Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.</i></p>
II	<p>a) <i>Suelo con v_s igual o mayor que 400 m/s en los 10m superiores y creciente con la profundidad; o bien,</i></p> <p>b) <i>Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³, o índice de densidad ID(DR) (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien;</i></p> <p>c) <i>Arena densa, con ID(DR) mayor que 75%, o índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</i></p> <p>d) <i>Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado S_u igual o mayor que 0,10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0,20 MPa) en probetas sin fisuras.</i></p> <p><i>En todos los casos, las condiciones indicadas deberán cumplirse independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20m, el suelo se clasificará como tipo I.</i></p>
III	<p>a) <i>Arena permanentemente no saturada, con ID(DR) entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien,</i></p> <p>b) <i>Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</i></p> <p>c) <i>Suelo cohesivo con S_u comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (q_u entre 0,05 y 0,20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</i></p> <p>d) <i>Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).</i></p> <p><i>Espesor mínimo de estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10m, el suelo se clasificará como tipo II.</i></p>
IV	<p><i>Suelo cohesivo saturado con S_u igual o menor que 0,025 MPa (q_u igual o menor que 0,05 Mpa).</i></p> <p><i>Espesor mínimo de estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos tipos I, II, o III es menor que 10m, el suelo se clasificará como tipo III.</i></p>

ZONIFICACIÓN SÍSMICA



METODO DINAMICO DE ANALISIS ESPECTRO DE DISEÑO

$$S_a = \frac{IA_o \alpha}{R^*}$$

$$\alpha = \frac{1 + 4.5(T_n/T_o)^P}{1 + (T_n/T_o)^3}$$

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.10T_o + T^*/R_o}$$

α : Factor de Amplificación de la Aceleración Efectiva Máxima.

T^* : Período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

T_n : Período de vibración del modo de orden "n".

T_0 y ρ : parámetros que dependen del Tipo de Suelo.

R_0 : Factor de Modificación de Respuesta (método dinámico).

R^* : Factor de Reducción de la Aceleración Espectral.

La Norma establece:

- amortiguamiento modal uniforme de 5%.
- número de modos tal que la suma de masas modales equivalentes sea mayor o igual al 90% de la masa total del edificio.

COMBINACION DE RESPUESTAS MODALES REGLA CQC

$$S = \sqrt{\left(\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} \rho_{ij} S_i S_j \right)}$$

$$\rho_{ij} = \frac{8\lambda^2 t^{3/2}}{(1+t)(1-t)^2 + 4\lambda^2 t(1+t)}$$

donde:

S : respuesta combinada de cualquier parámetro.

S_i : contribución del modo *i*, con su signo.

S_j : contribución del modo *j*, con su signo

ρ_{ij} : coeficiente de acoplamiento modal

t : cociente de los períodos de los modos *i* y *j*.

λ : razón de amortiguamiento con respecto al crítico. Se supone que su valor es el mismo para todos los modos.

TABLAS DE PARAMETROS

CATEGORIA DEL EDIFICIO (Acápito 4.3.1)	I
A	1.2
B	1.2
C	1.0
D	0.6

ZONA SISMICA	A_0
1	0.20g
2	0.30g
3	0.40g

TIPO DE SUELO	T' (seg)	n
I	0.20	1.00
II	0.35	1.33
III	0.85	1.80
IV	1.35	1.80

TIPO DE SUELO	T_0 (seg)	p
I	0.15	2.0
II	0.30	1.5
III	0.75	1.0
IV	1.20	1.0

VALORES MAXIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACION DE RESPUESTA

SISTEMA ESTRUCTURAL	MATERIAL ESTRUCTURAL	R	R_0
Pórticos	Acero estructural	7	11
	Hormigón armado	7	11
Muros y sistemas arriostrados	Acero estructural	7	11
	Hormigón armado	7	11
	Hormigón armado y albañilería confinada.		
	• Corte muros HA \geq 50% del corte en cada piso.	6	9
	• Corte muros HA < 50% del corte en cada piso.	4	4
	Madera	5.5	7
	Albañilería confinada	4	4
	Albañilería armada		
• de bloques de hormigón o similares en que se llenan huecos y albañilería de muros doble chapa.	4	4	
• de ladrillos cerámicos tipo rejilla con o sin rellenos de huecos bloques de hormigón o similares en que no se llenan huecos.	3	3	

CORTE BASAL

- Valor Mínimo : $Q_{mín} = I(A_o / g) P/6$

Si la componente de corte basal en la dirección de la acción sísmica resulta menor que $Q_{mín}$, todos los resultados del análisis deberán amplificarse por un factor de manera que se alcance el valor señalado.

- Valor Máximo : $Q_{máx} = IC_{máx}P$

Si la componente de corte basal en la dirección de la acción sísmica resulta mayor que $Q_{máx}$, las solicitaciones de los elementos estructurales pueden multiplicarse por un factor de modo que dicho esfuerzo de corte no sobrepase el valor señalado. Esta disposición no rige para el cálculo de desplazamientos y rotaciones de los diafragmas horizontales de piso.

R	C_{max}
2	$0.90SA_0/g$
3	$0.60SA_0/g$
4	$0.55SA_0/g$
5.5	$0.40SA_0/g$
6	$0.35SA_0/g$
7	$0.35SA_0/g$

TIPO DE SUELO	S
I	0.90
II	1.00
III	1.20
IV	1.30

Beneficio especial para edificios estructurados mediante muros de hormigón armado: $C_{máx}$ se puede reducir multiplicando los valores de la tabla anterior por un factor “f” dado por:

$$f = 1.25 - 0.5q \quad (0.5 \leq q \leq 1.0)$$

en que “q” es el menor de los valores obtenidos del cálculo del cociente del esfuerzo de corte tomado por los muros de hormigón armado dividido por el esfuerzo de corte total en cada uno de los niveles de la mitad inferior del edificio, en una y otra de las direcciones de análisis.

DEFORMACIONES SISMICAS

- Limitaciones están relacionadas con las acciones sísmicas de diseño, incluyendo el efecto de la torsión accidental.
- El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0.002.
- El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en cualquier punto de la planta en cada una de las direcciones de análisis, no debe exceder en más de 0.001 h al desplazamiento relativo correspondiente medido en el centro de masas, en que h es la altura de entrepiso.
- En pisos sin diafragma rígido, el valor máximo del desplazamiento transversal de entrepiso de las cadenas, producido por solicitaciones que actúan perpendicularmente al plano del muro sobre el que se ubica la cadena, debe ser igual o menor que la altura de entrepiso multiplicada por 0.002.

SEPARACIONES

- La distancia de un edificio al plano medianero en cualquier nivel no debe ser inferior a $R^*/3$ veces el desplazamiento a ese nivel, ni a un dos por mil de la altura del mismo nivel ni a 1.5 cm. Se exceptúan los edificios colindantes con un predio de uso público no destinado a ser edificado.
- Las distancias entre los cuerpos de un mismo edificio o entre el edificio en estudio y uno existente, medidas en cada nivel, no deben ser inferiores al doble de las establecidas en subpárrafo anterior.
- Las separaciones entre edificios o entre cuerpos de un mismo edificio no son aplicables a las fundaciones, a menos que el proyecto estructural así lo establezca.

TORSION ACCIDENTAL

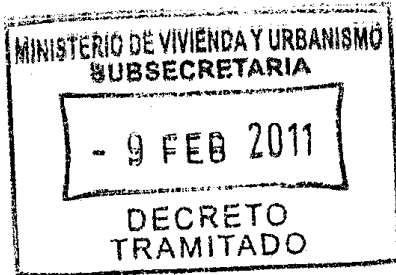
- Alternativa a: Desplazamiento de los centros de masa de cada nivel en un 5% de su dimensión en planta perpendicular a la dirección del piso (b_{ky} para sismo según x y b_{kx} para sismo según y).
- Alternativa b: Momentos torsores estáticos en cada nivel, calculados como el producto de la variación del esfuerzo de corte combinado en ese nivel, por una excentricidad estática dada por:
 - $\pm 0.10b_{ky}Z_k/H$, para un sismo según x
 - $\pm 0.10b_{kx}Z_k/H$, para un sismo según y
 - Z_k es la altura del nivel k sobre el nivel basal
 - H es la altura total del edificio sobre el nivel basal
- Los resultados de la torsión accidental se suman a los de análisis modales espectrales sin desplazamiento de centros de masa.
- Los efectos de la torsión accidental se pueden despreciar si, mediante el análisis de la torsión accidental con la Alternativa a, se producen variaciones de los desplazamientos horizontales en todos los puntos de las plantas del edificio iguales o inferiores al 20%, respecto del resultado obtenido con los centros de masas en su ubicación natural.

PRINCIPALES CAMBIOS INTRODUCIDOS EN NCH433.Of96, mod.2009

Capítulo	Modificación
1 Alcances	Se agrega 1.5: “Esta norma es aplicable sólo a materiales o sistemas que tengan una norma técnica de diseño sísmico”.
4 Disposiciones de aplicación general	Clasificación de Ocupación se reemplaza categorías A, B, C, D por IV, III, II, I.
5 Disposiciones generales sobre diseño y métodos de análisis	Se modifica 5.1.1: “Aun cuando los puntos anteriores mencionan tres niveles de intensidad del movimiento sísmico, esta norma no los define en forma explícita. Por otra parte, el estado del arte en la disciplina no permite establecer objetivos de desempeño más específicos que los antes genéricamente señalados”. Se modifica Tabla 5.1 para agregar R diferenciados por tipo estructural para el material acero.
B Referencias transitorias	Se elimina referencia a Hormigón Armado Se modifica referencia a Acero Estructural Se incluye combinaciones de carga
C Empujes de muros de subterráneo	Se reduce a un 30% la componente sísmica del empuje en muros de subterráneos.

D.S. N°117

DIVISIÓN TÉCNICA DE ESTUDIO Y FOMENTO HABITACIONAL
ECD. MCHM.
DIVISIÓN JURÍDICA
MJM. JTF.(2331/10)



APRUEBA REGLAMENTO QUE
FIJA EL DISEÑO SÍSMICO DE
EDIFICIOS.

SANTIAGO, 05 NOV 2010

N° 117

HOY SE DECRETO LO QUE SIGUE

DEFINICION DE LOS TIPOS DE SUELOS DE FUNDACION

Suelo Tipo		Vs (m/s)	RQD	qu (MPa)	N ₁	S _u (MPa)
I	Roca y suelo cementado (*1)	≥ 900	≥ 50%	≥10 (ε _{qu} ≤ 2%)		
II	Roca blanda o suelo muy denso o muy firme	≥ 500		≥ 0,40 (ε _{qu} ≤ 2%)	≥ 50	
III	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180			≥ 30	≥ 0,05
IV	Suelo suelto o blando	< 180			≥ 20	
V	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

(*1): No soluble en agua

N_1 : Nspt normalizado a una presión de confinamiento de 0,1MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas.

ϵ_{qu} : Deformación unitaria dada por el ensayo de compresión no confinada.

RQD: "Rock Quality Designation" de acuerdo con norma ASTM D 6032 "Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation of Rock Core"

OBSERVACIONES

1. Para suelo tipo I se debe justificar V_s más una de las dos condiciones indicadas.
2. Para suelo tipo II se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas, y q_u en caso de otros suelos. Una excepción son las gravas fluviales compactas de espesor mayor o igual a 30 m bajo el sello de fundación, las cuales clasifican en suelo tipo II sin necesidad de medir V_s .
3. Para suelo tipo III se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas, y S_u en caso de otros suelos. Una excepción son las arenas con N_1 mayor o igual que 30 golpes/pie las cuales clasifican en suelo tipo III sin necesidad de medir V_s . Se aceptarán valores entre 20 y 30 golpes/pie siempre que el estrato sea menor o igual a 2 m.
4. Para suelo tipo IV se debe justificar V_s más N_1 en caso de arenas.
5. Se consideran Suelos Especiales (tipo V) aquellos que no clasifican como suelos tipo I, II, III y IV, por ejemplo: suelos licuables, suelos colapsables, suelos orgánicos, suelos sensitivos, turba, entre otros.

6. Para conjuntos de viviendas en terrenos de más de 8.000 m² o estructuras de 5 o más pisos sobre la superficie del terreno natural o edificios categoría de III y IV, las propiedades que permiten clasificar el suelo de fundación deben ser evaluadas en los primeros 30 m bajo la superficie de apoyo de las fundaciones o hasta la roca. En caso de pilotes, este nivel corresponde al nivel más bajo entre la cabeza del pilote y el nivel del terreno.
7. En el caso de terrenos con topografía irregular pueden existir fenómenos de amplificación local, los cuales no están cubiertos por la clasificación.
8. Durante los dos primeros años de vigencia del presente decreto, V_s se debe determinar mediante una medición directa o del análisis de los datos y ensayos obtenidos de la exploración geotécnica. A partir del tercer año de vigencia de este decreto la medición directa de V_s será obligatoria.
9. V_s corresponde al menor valor entre el promedio ponderado de los primeros 30 metros bajo el sello de fundación o V_s promedio ponderado de los primeros 15 metros, de acuerdo a la siguiente definición:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Donde:

V_{si} (m/s) = velocidad de ondas de corte de cada estrato
 d_i (m) = espesor de cada estrato

10. En el caso de loteo de viviendas sociales con superficie construida menor que 2.500 m² o privadas con superficie construida menor que 5.000 m² o edificaciones aisladas de menos de 1.000 m², con excepción de categorías de uso III y IV, no es obligatorio justificar V_s con mediciones directas.

DEFORMACIONES SISMICAS

- En estructuras de hormigón armado, el desplazamiento lateral de diseño en el techo, δ_u , se debe considerar igual a la ordenada del espectro elástico de desplazamientos S_{de} , para un 5% de amortiguamiento respecto al crítico, correspondiente al período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, multiplicada por un factor igual a 1.3

$$\delta_u = 1.3 S_{de}(T_{ag})$$

- T_{ag} es el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, considerando en su cálculo la influencia del acero y la pérdida de rigidez debida al agrietamiento del hormigón en la rigidez elástica inicial.
- Si el período ha sido calculado con las secciones brutas, T_{ag} se puede aproximar a 1,5 veces al calculado en tales condiciones.

ESPECTRO ELÁSTICO DE DESPLAZAMIENTOS

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}(T)$$

S_{de} = espectro de desplazamiento elástico (cm)

S_{ae} = espectro de pseudo aceleración elástico definido en el artículo 13 del presente decreto (cm/seg²)

T = períodos considerados del sistema estructural (seg)

δ_u = desplazamiento lateral de diseño en el techo (cm)

SEPARACIONES ENTRE EDIFICIOS O CUERPOS DE EDIFICIOS

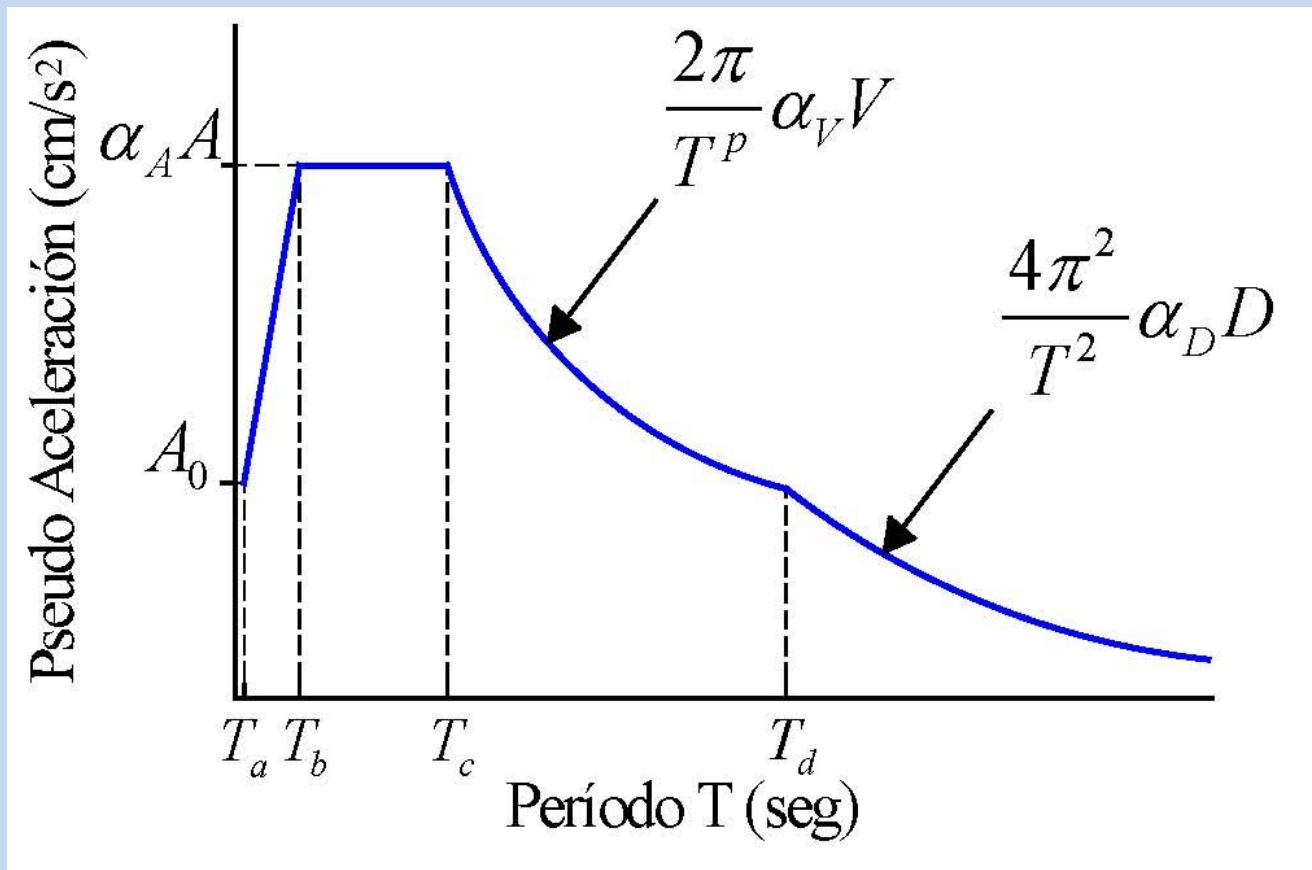
La distancia de un edificio al plano medianero en cualquier nivel no debe ser inferior al desplazamiento a ese nivel calculado según lo establecidos en el artículo 9° del presente decreto (para niveles intermedios se puede interpolar linealmente) ni a 5 cm. Se exceptúan los edificios colindantes con un predio de uso público no destinado a ser edificado.

NOTA: La interpolación lineal se aplica a la expresión de δ_u del techo.

ESPECTRO DE DISEÑO

El espectro de diseño que determina la resistencia sísmica de la estructura está definido por:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{\left(\frac{R^*}{I}\right)}$$



Definición genérica del espectro de pseudo aceleración

ACELERACION EFECTIVA A_0 Y FACTOR DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA Z

Zona sísmica	A_0	Z
1	0.20 g	0.50
2	0.30 g	0.75
3	0.40 g	1.00

PARAMETROS QUE DEFINEN EL ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES ELASTICAS

Tipo de suelo	T_a seg	T_b seg	T_c seg	T_d seg	$\alpha_A A$	$\alpha_V V$	$\alpha_D D$	p
I	0	0.13	0.22	2.53	1087 Z	51.5 Z	25.0 Z	0.8
II	0	0.20	0.32	2.02	1099 Z	88.0 Z	37.5 Z	0.6
III	0	0.37	0.68	1.75	1142 Z	144.0 Z	50.0 Z	0.6

Nota: el período del suelo está entre T_b y T_c .

D.S. N°61-2011

DEROGA AL D.S. N°117-2010

- Los D.S. N°61 de 2011, que deroga al N° 117-2010, y el D.S. N°60-2011, que deroga al N° 118-2010, se encuentran en su último trámite administrativo, estimándose que serán aplicables oficialmente a partir de mediados de diciembre del presente año.
- A continuación se presentan aquellos aspectos del nuevo decreto que reemplazan a los correspondientes del 117-2010.

1.- CARACTERIZACION DEL SUELO

- Se crea una nueva denominación para los tipos de suelo, usando letras en lugar de números romanos. Así por ejemplo, se considera unidades, o niveles, que van desde el de mejor comportamiento (Roca: Suelo Tipo A) al de mayor exigencia sísmica (Suelo Tipo E: Suelo de compacidad o consistencia mediana).
- Incorporación de un Tipo intermedio (Suelo tipo C) entre los anteriores Tipos II y III (actualmente B y D).
- La clasificación sísmica de suelos se centró en el parámetro que se estima más relevante, en una primera aproximación, correspondiente a la rigidez a bajas deformaciones de los estratos de los 30 metros superiores del terreno.
- En edificios con subterráneos se debe verificar que la profundidad de exploración se extienda al menos 15 metros por debajo del sello de fundación.
- Debido al elevado costo relativo de los trabajos de exploración en 30 metros en edificaciones pequeñas (de menos de 500 metros cuadrados construidos, de no más de 2 pisos o de altura inferior a 8 metros), clasificadas de acuerdo a su uso como III o IV, no es obligatorio justificar valores de los parámetros de suelo con mediciones in-situ.

2.- CALIBRACION DEL ESPECTRO DE DISEÑO

- Se considera que la gran mayoría de los edificios con daños de importancia fueron, por lo general, víctimas de la clasificación del tipo de suelo contenida en NCh433.Of96, como también en la versión modificada en 2009.
- En los casos en que la clasificación se considera satisfactoria, el diseño con la norma sísmica previa al D.S. N°117-2010, no constituyó causal de siniestralidad.
- Se propone el retiro de las formas espectrales de diseño del D.S. N°117-2010, reincorporando las de la norma NCh433.Of96, modificada en 2009, pero incluyendo un factor de corrección “**S**” de las ordenadas espectrales en función de la calidad del suelo, con variaciones que van desde 0.9 (10% de reducción), en suelos tipo A, hasta 1.3 (30% de amplificación) en suelos tipo E.
- Este factor de corrección se aplica también al esfuerzo de corte basal mínimo.
- Los trabajos de calibración que dan sustento a estos espectros de diseño se apoyaron en los datos aportados por numerosas oficinas de ingeniería del país.

3.- CALIBRACION DEL DESPLAZAMIENTO ELASTICO DE TECHO

- Así como el análisis de los edificios reales condujo a la proposición de reducción de las solicitaciones sísmicas, se pudo igualmente comprobar que los desplazamientos de techo, δ_u , determinados con los espectros del D.S. N°117-2010, son mucho más representativos del sismo de 27 de febrero de 2010, hecho que incide directamente en los requerimientos de confinamiento de los denominados “muros especiales” de hormigón armado.
- Sin embargo, el espectro de diseño que se propone no conduce al valor de δ_u del D.S. N°117-2010, lo que se consigue artificialmente a través del empleo de un factor de amplificación C_d^* .
- Es necesario precisar que las ecuaciones para C_d^* representan solamente un ajuste analítico y no son susceptibles de interpretaciones físicas.

4.- SEPARACION ENTRE EDIFICIOS O CUERPOS DE EDIFICIOS

- La distancia de un edificio al plano medianero en cualquier nivel no debe ser inferior a $2R_1/3$ veces el desplazamiento a ese nivel calculado con los métodos de análisis establecidos en la Norma Técnica NCh433.Of1996, mod.2009, ni a un dos por mil de la altura del mismo nivel ni a 1,5 centímetros. Se exceptúan los edificios colindantes con un predio de uso público no destinado a ser edificado.
- Observar que se rectifica lo que señalaba el D.S. N°117-2010, retornando al concepto de NCh433.1996, mod.2009, con la salvedad de que, en lugar de emplearse $R^*/3$, ahora se utiliza $2R_1/3$.
- R_1 : Factor que resulta de multiplicar el valor de R^* por el cociente $Q_o/Q_{mín}$, siempre que $Q_o/Q_{mín}$ sea menor o igual a 1,0. En caso que este cociente sea mayor que 1,0, se debe usar $R_1=R^*$
- Las distancias entre los cuerpos de un mismo edificio o entre el edificio en estudio y uno existente, medidas en cada nivel, no deben ser inferiores al doble de las establecidas en los párrafos anteriores.

EFFECTO DE LAS DIFERENTES VERSIONES DE LA NORMA NCh433 EN LOS RESULTADOS DEL ANALISIS SISMICO

1.- MODELOS DE ANALISIS

Para efectuar la comparación entre las diversas normas, se construyen modelos de análisis mediante la técnica de varillas equivalentes ajustadas a los siguientes períodos de vibrar del modo fundamental (en segundos):

0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
------------	------------	------------	------------	------------

2.- CASOS DE ESTUDIO

Los análisis se efectuaron para las normas y tipos de suelo que se indica a continuación:

Norma	Tipo de Suelo	Zonas	Número de Casos
NCh433.Of72	To=0.2, 0.3, 0.9		15
NCh433.Of96	I, II, III, IV	1, 2, 3	60
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS117-2010	I, II, III	1, 2, 3	45
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS61-2011	A, B, C, D, E	1, 2, 3	75

- En el caso de la norma NCh433.Of72 se considera $K_1=1$ y $K_2=1$.
- En el caso de la norma NCh433.Of96 y siguientes se considera $I=1$

Para los distintos casos indicados, el corte basal mínimo Q_b , en porcentaje del peso sísmico, es:

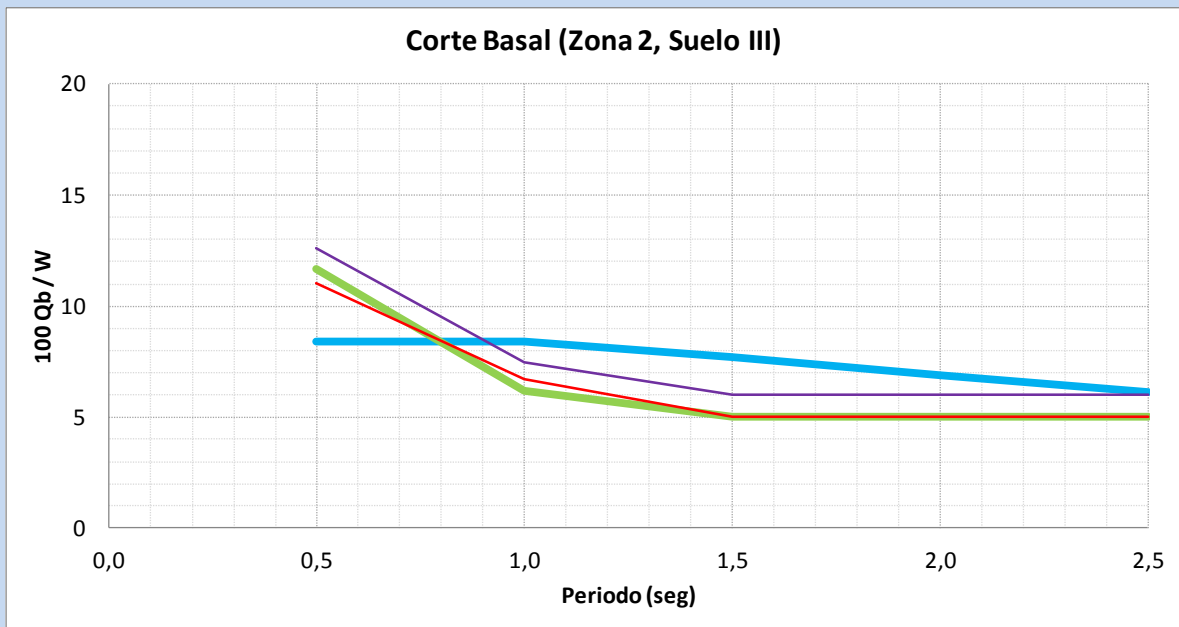
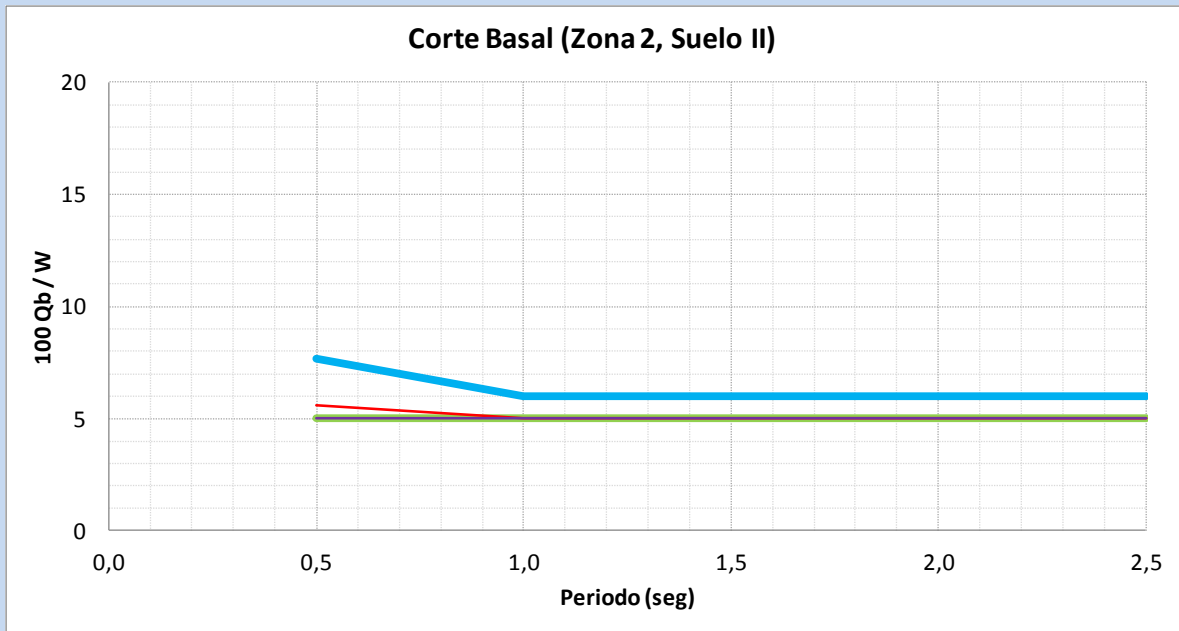
Norma	Q_b Zona 1	Q_b Zona 2	Q_b Zona 3
NCh433.Of72	6	6	6
NCh433.Of96	3.33	5	6.67
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS117-2010	3.33	5	6.67
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS61-2011	3.33 S	5 S	6.67 S

3.- ZONAS SISMICAS, TIPOS DE SUELO Y RESULTADOS DE ESTUDIO

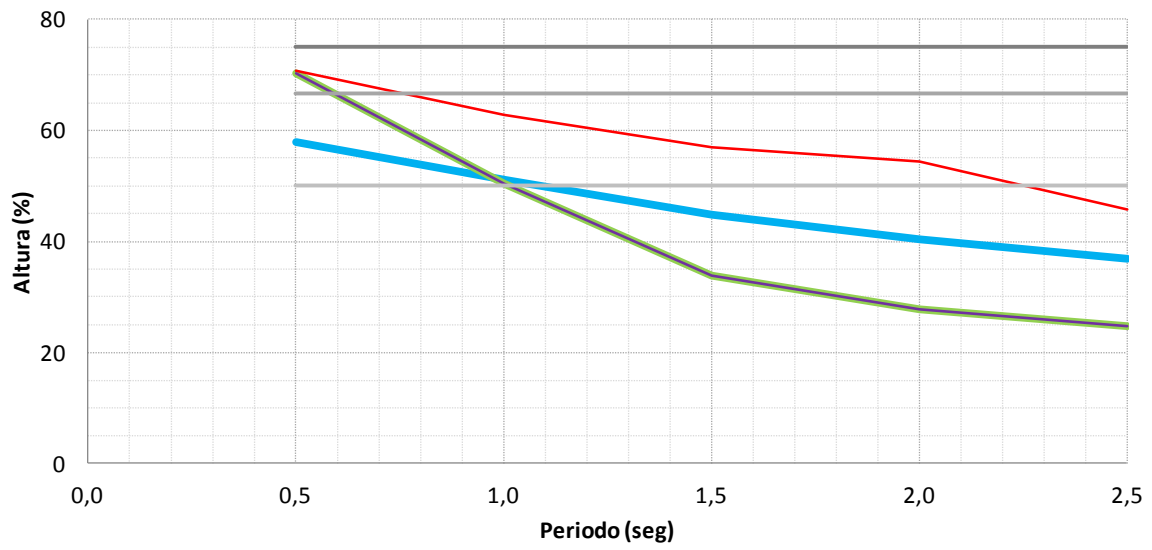
- Las figuras siguientes comparan los resultados para Zonas 2 y 3 (NCh433.Of96), en los suelos que se indica:

Norma	Comparación 1	Comparación 2
	Tipo de Suelo	Tipo de Suelo
NCh433.Of72	$T_0 = 0.3 \text{ seg}$	$T_0 = 0.9 \text{ seg}$
NCh433.Of96	II	III
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS117-2010	II	III
NCh433.Of96 Mod.2009 + DS61-2011	B	D

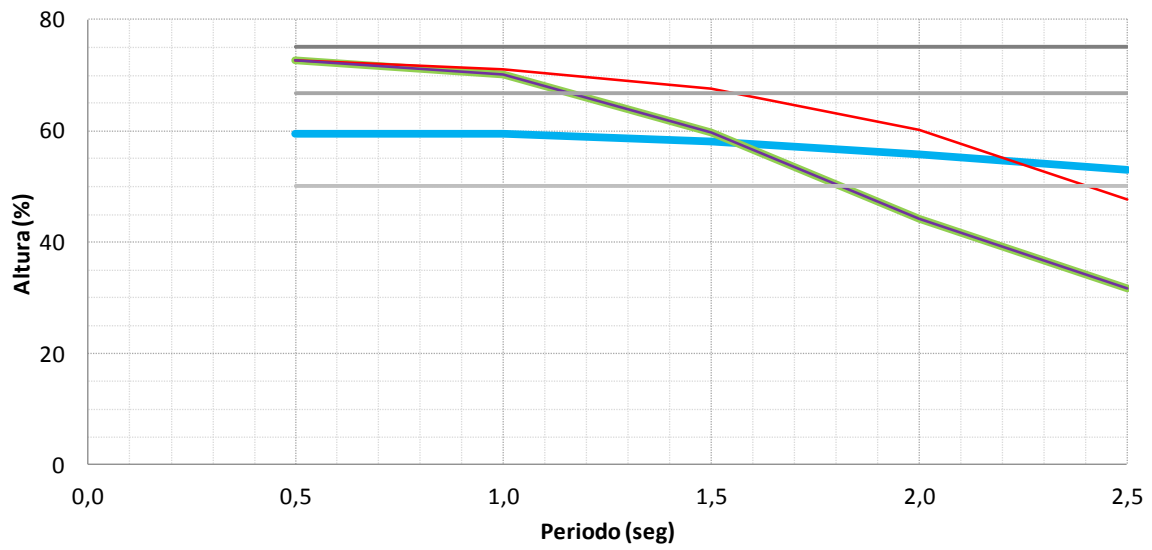
- Las curvas se asocian a los colores de la tabla anterior. Las figuras comparan los siguientes resultados:
 - Corte Basal
 - Altura de la Resultante (Momento Volcante basal/Corte Basal)
 - Factor de Amplificación por Corte Mínimo
 - Desplazamiento Superior de Análisis (espectro de pseudoaceleraciones dividido por R^*)
- Para las alturas de las resultantes, las figuras incluyen marcas que indican posiciones al 50%, 67% y 75% que corresponden a leyes de aceleración rectangular, triangular y parabólica, respectivamente.



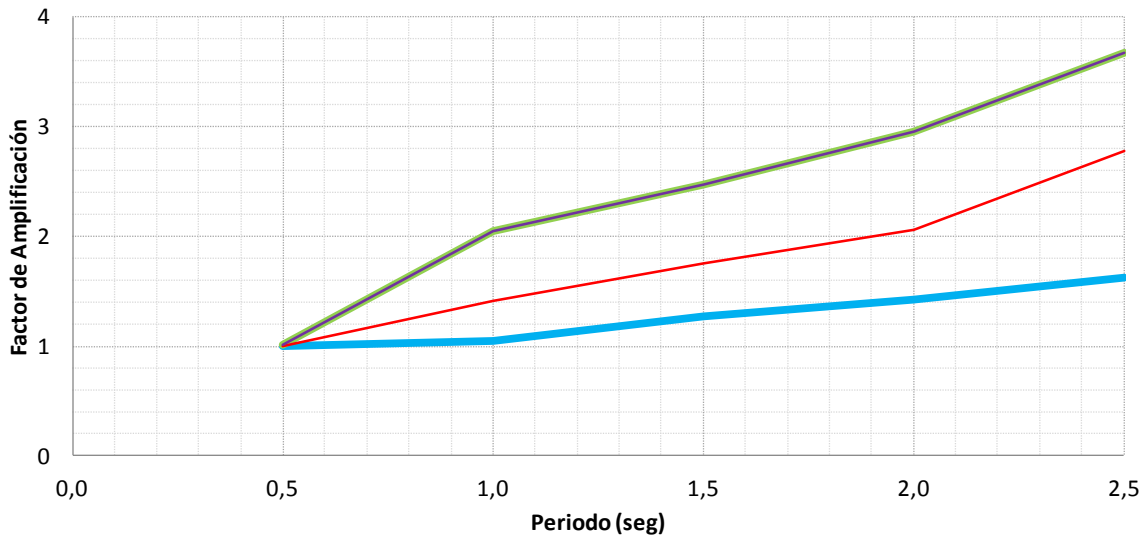
Altura de la Resultante (Zona 2, Suelo II)



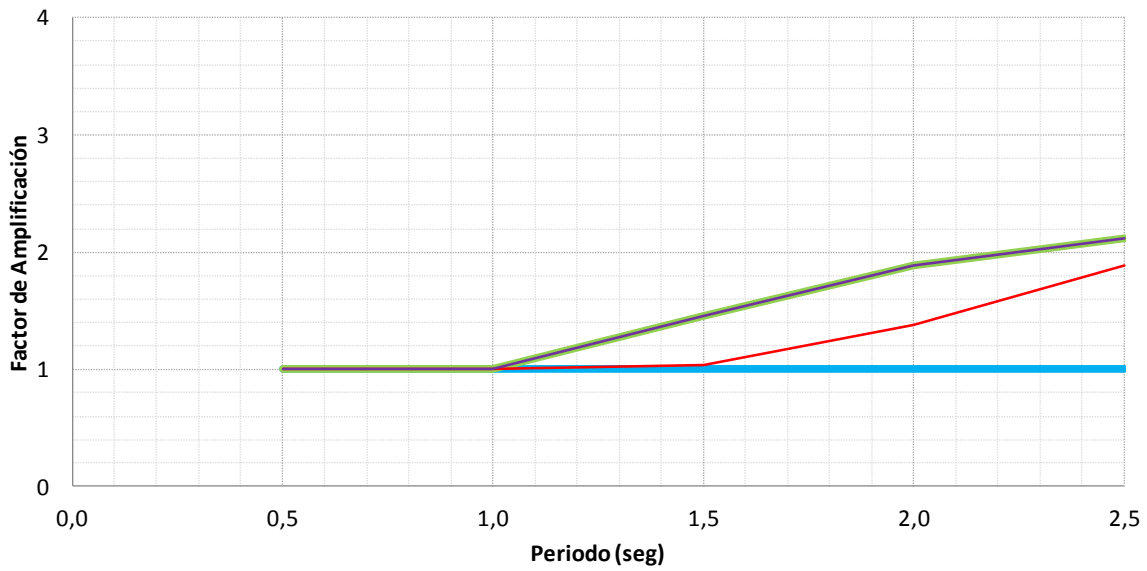
Altura de la Resultante (Zona 2, Suelo III)



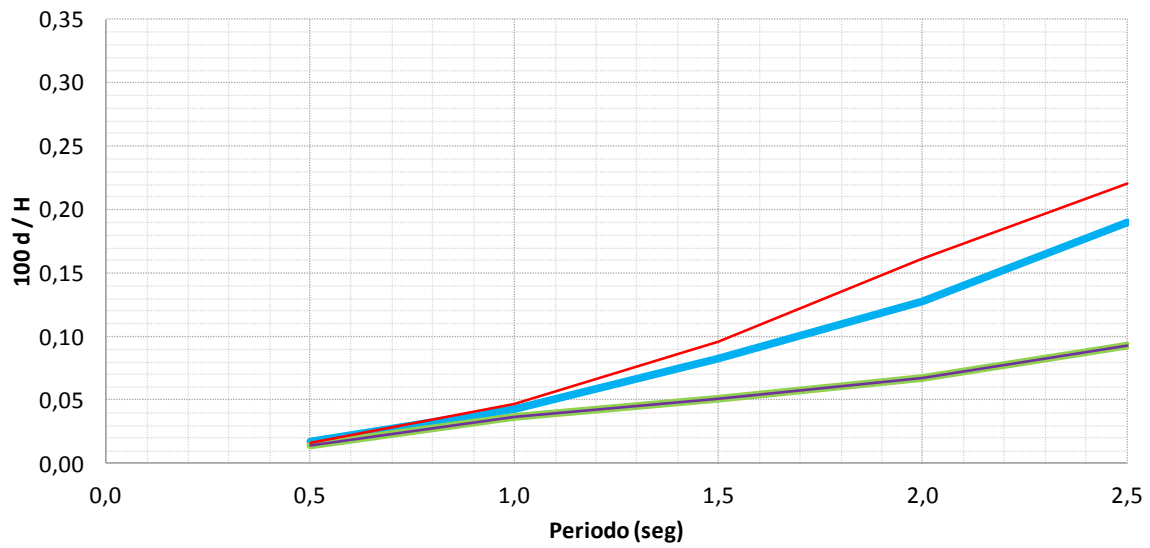
Factor de Amplificación por Corte Mínimo (Zona 2, Suelo II)



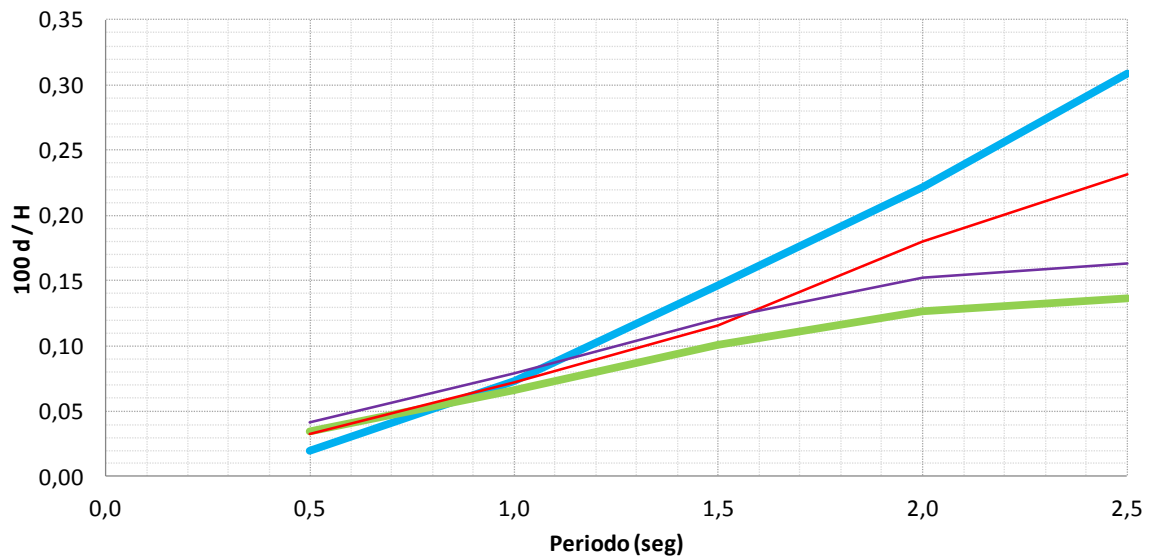
Factor de Amplificación por Corte Mínimo (Zona 2, Suelo III)

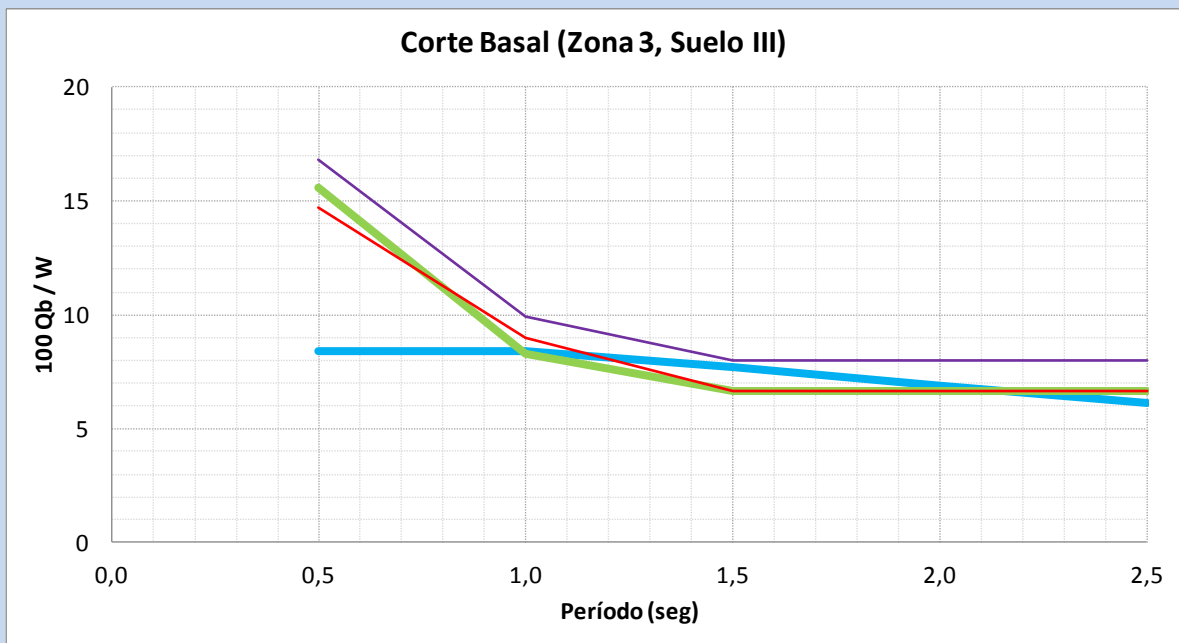
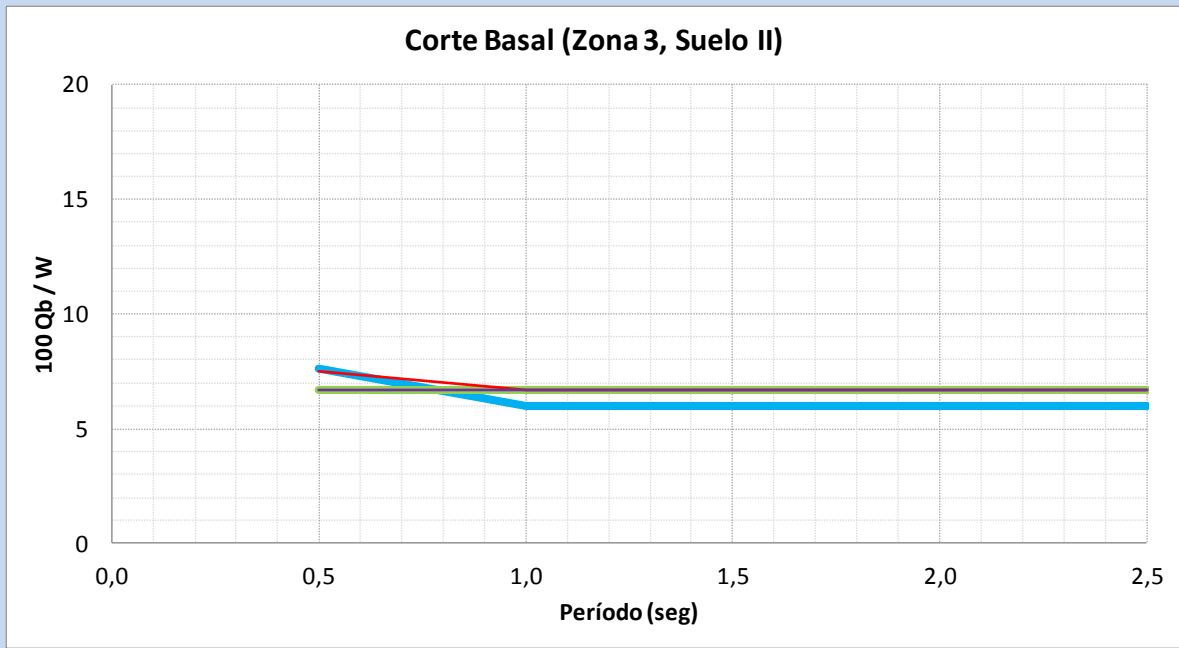


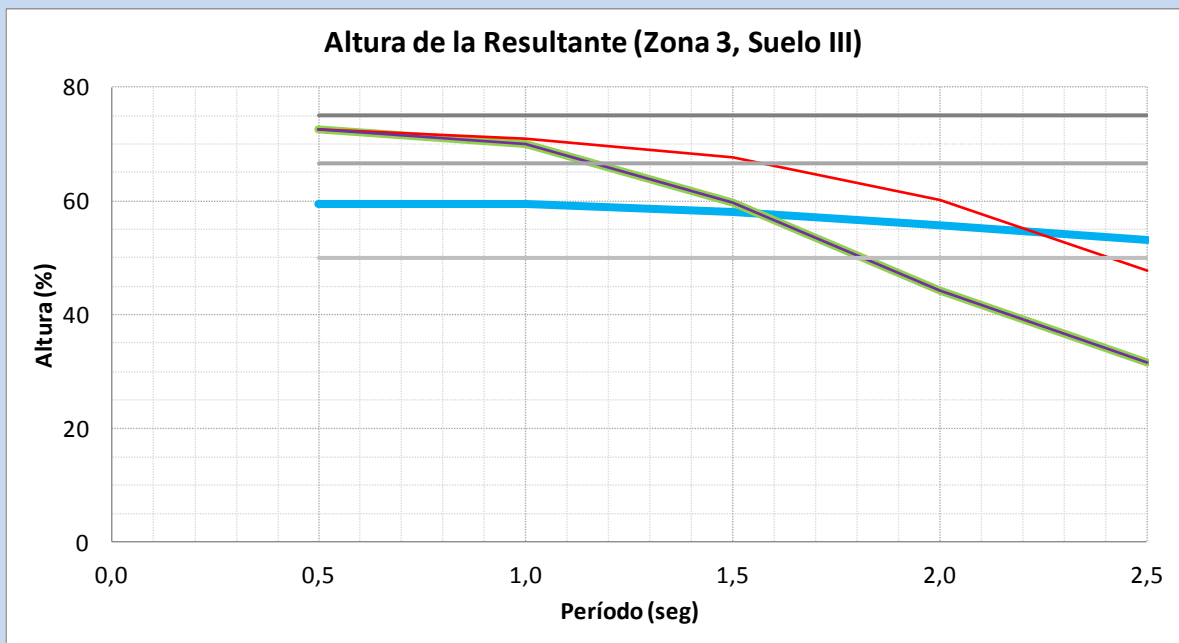
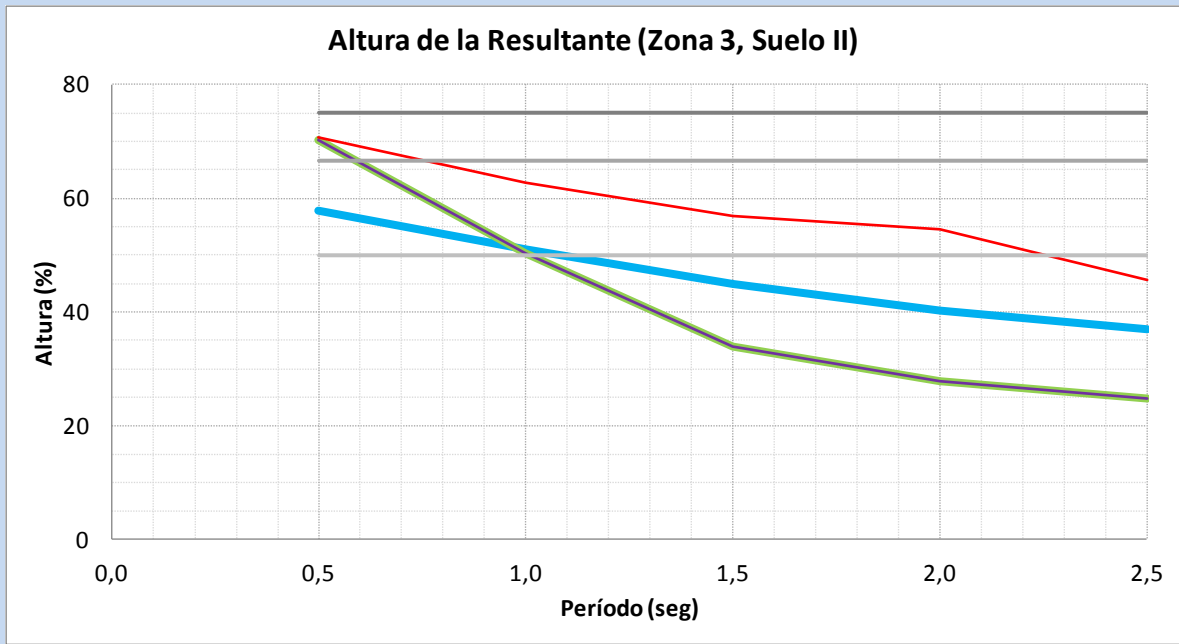
Desplazamiento Superior de Análisis (Zona 2, Suelo II)



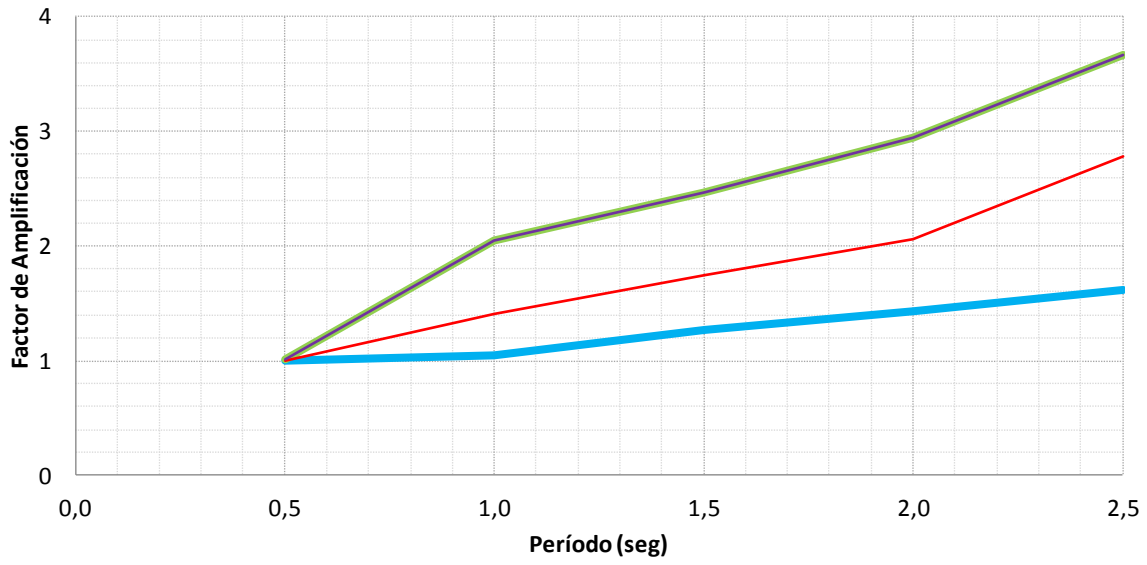
Desplazamiento Superior de Análisis (Zona 2, Suelo III)



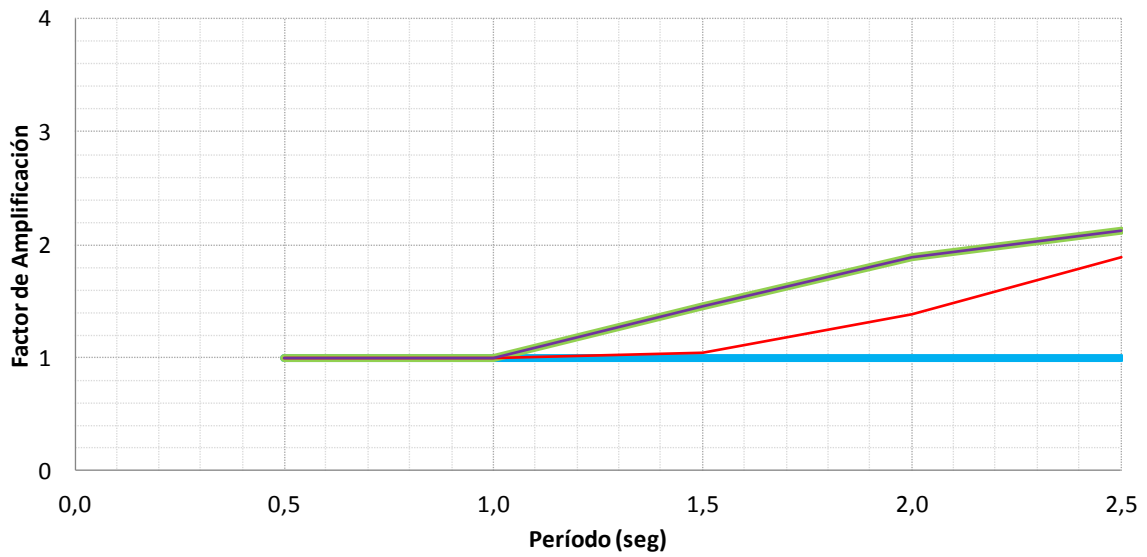




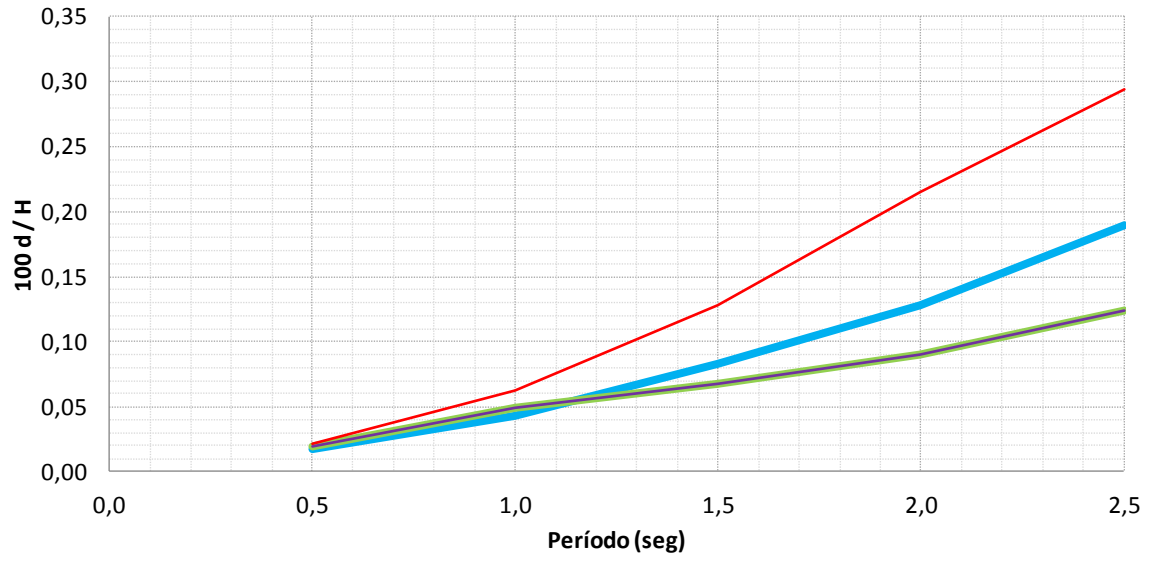
Factor de Amplificación por Corte Mínimo (Zona 3, Suelo II)



Factor de Amplificación por Corte Mínimo (Zona 3, Suelo III)



Desplazamiento Superior de Análisis (Zona 3, Suelo II)



Desplazamiento Superior de Análisis (Zona 3, Suelo III)

