

ANTECEDENTES PARA LA CALIBRACION DEL ESPECTRO DE
PSEUDO ACELERACIONES DE LA NORMA NCh433

Tomás Guendelman⁽¹⁾

(1) I.E.C. INGENIERIA S.A.
Santiago, CHILE

RESUMEN

Con el objeto de calibrar el espectro de pseudo aceleraciones que establecerá la nueva norma chilena NCh433, se realiza el análisis sísmico de cuatro edificios de hormigón armado, de acuerdo a las prescripciones de la norma vigente y a las de la última revisión del proyecto en estudio.

SUMMARY

In order to calibrate the pseudo acceleration spectrum that will be established in NCh433, the new chilean code, a seismic analysis on four concrete buildings is performed, according with the present regulations and with those of the last revision of the new code.

1. INTRODUCCION

La práctica chilena en análisis y diseño sísmico con la norma aún vigente tiene una experiencia acumulada de más de veinte años y sus resultados se consideran satisfactorios, sin embargo, existe una clara desactualización en diversos aspectos fundamentales que el proyecto de norma incorpora, entre los que se pueden destacar:

- zonificación sísmica.
- espectros de movimientos sísmicos reales.
- factores de modificación de respuesta que dependen del tipo de suelo, de la zona sísmica, de los materiales y tipos estructurales, del uso del edificio y de su período fundamental de vibración.
- modelos matemáticos tridimensionales, o pseudo tridimensionales, con compatibilidad cinemática simultánea en todos los pisos.
- fórmula de combinación modal CQC que considera la interacción que se produce entre los valores modales máximos, frecuente en edificios asimétricos con períodos de vibración cercanos, producto del acoplamiento entre traslaciones y torsiones.

Con el objeto de calibrar los valores asignados a los parámetros numéricos que figuran en la nueva norma NCh433, el Comité Técnico encargado de su preparación propuso este estudio, cuyos resultados han confirmado las disposiciones preliminares dando lugar al texto definitivo, actualmente en proceso de oficialización.

2. CARACTERISTICA DE LOS EDIFICIOS

Se estudian cuatro edificios simétricos, típicos de la construcción empleada en Chile, cuyas características generales son las siguientes:

plantas : cuadradas de 20 m de lado
peso sísmico : 0.50 ton/m² en el piso superior
1.00 ton/m² en los restantes
altura de entrepisos : 2.70 m
módulos elásticos : E = 3.000.000 ton/m²
G = 1.200.000 ton/m²

Los parámetros vibratorios de los edificios para los primeros cinco modos se resumen a continuación:

Modo	5 pisos		10 pisos		20 pisos		30 pisos	
	T (seg)	M* (%)	T (seg)	M* (%)	T (seg)	M* (%)	T (seg)	M* (%)
1	0.234	70.91	0.492	63.24	1.558	59.59	1.998	57.61
2	0.054	22.38	0.113	21.28	0.340	19.64	0.419	19.60
3	0.026	5.03	0.049	8.08	0.131	8.21	0.171	7.85
4	0.019	1.41	0.030	3.80	0.076	4.57	0.093	4.36
5	0.016	0.26	0.022	1.55	0.049	2.42	0.062	2.90

3. SOLICITACIONES SISMICAS

Los cuatro edificios caracterizados anteriormente se someten a seis casos de sollicitación sísmica, según se indica en la tabla siguiente, correspondientes a la aplicación del método dinámico de análisis descrito en la norma chilena vigente (NCh433 OF-72) y en la última revisión del proyecto en estudio (NCh433 I-93).

Caso	Versión de NCh433	Zona Sísmica	Tipo de Suelo
1	OF-72	sin especificación	II
2	OF-72	sin especificación	III
3	I-93	2	II
4	I-93	3	II
5	I-93	2	III
6	I-93	3	III

3.1. Espectro de pseudo aceleraciones de la norma NCh433 OF-72: La ordenada del espectro de pseudo aceleraciones para el modo de vibrar de orden "n" está dada por:

$$S_a = 0.1K_1K_2g, \text{ para } T_n < T_o$$

$$S_a = 0.1K_1K_2 \frac{2T_nT_o}{T_o^2 + T_n^2} g, \text{ para } T_n \geq T_o$$

El corte basal combinado debe ser igual o mayor que:

$$Q_{\min} = 0.06K_1K_2P$$

en que "P" representa el peso total del edificio.

Los parámetros espectrales correspondientes a los edificios que se utilizan en este trabajo toman los siguientes valores:

$$\begin{aligned} K_1 &= 1 \\ K_2 &= 1 \\ T_o &= 0.2 \text{ seg para Suelo Tipo II} \\ T_o &= 0.9 \text{ seg para Suelo Tipo III} \\ Q_{\min} &= 0.06P \end{aligned}$$

Se emplea la fórmula de combinación modal dada por el promedio entre la suma de valores absolutos y la raíz cuadrada de la suma de cuadrados.

3.2. Espectro de pseudo aceleraciones de la norma NCh433 I-93: El espectro de pseudo aceleraciones está dado por:

$$IA_o\alpha$$

"A_o" es la Máxima Aceleración Efectiva del Suelo y su valor depende de la Zona Sísmica. "I" es el Coeficiente Relativo de Importancia, función de la Categoría Estructural. "α" es el Factor de Amplificación de la Aceleración Efectiva Máxima y su valor se determina, para cada modo de vibrar "n", de acuerdo a la expresión:

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

"T_n" es el período de vibración del modo de orden "n". "T_o" y "p" son parámetros que dependen del Tipo de Suelo. "R*" es el Factor de Reducción de la Aceleración Espectral que se determina de:

$$R^* = 2 + \frac{T^*}{0.10T_o + T^*/R_o}$$

"T*" es el período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis y "R_o" es el Factor de Modificación de Respuesta, que depende del Sistema Estructural y del Material Estructural.

La norma establece, además, cortes basales mínimo y máximo, dados por las expresiones:

$$Q_{\min} = I(A_o/g)P/6$$

$$Q_{\max} = 3I(A_o/g)P/R_o$$

Para los edificios que se presentan en este trabajo se tiene:

CATEGORIA DEL EDIFICIO	: C
TIPO DE SUELO	: II y III
ZONA SISMICA	: 2 y 3
R _o	: 11
SISTEMA ESTRUCTURAL	: Muros
MATERIAL ESTRUCTURAL	: Hormigón Armado

con lo que se obtienen los siguientes valores de los diferentes parámetros espectrales:

I	: 1.0
A _o /g	: 0.30, para Zona 2
A _o /g	: 0.40, para Zona 3
T _o	: 0.30, para Suelo II
T _o	: 0.75, para Suelo III
P	: 1.50, para Suelo II
P	: 1.00, para Suelo III
Fórmula de Combinación Modal	: CQC

La siguiente Tabla muestra los Factores de Reducción de Aceleración Espectral (R*) y los requerimientos de Corte Basal mínimo (Q_{min}) y máximo (Q_{max}), para cada edificio, conforme al Tipo de Suelo y a la Zona Sísmica.

No.de pisos	R*		Q _{mín} (%)		Q _{máx} (%)	
	SUELO II	SUELO III	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 2	ZONA 3
5	6.7	4.6	5.00	6.67	8.18	10.91
10	8.6	6.2	5.00	6.67	8.18	10.91
20	11.0	9.1	5.00	6.67	8.18	10.91
30	11.4	9.8	5.00	6.67	8.18	10.91

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

La figura 1 muestra los espectros de pseudo aceleración para los casos de sollicitación sísmica descritos. Las figuras 2 a 5 grafican los diagramas de esfuerzos de corte y de momentos flectores que se obtienen con la aplicación de la norma NCh433, en sus versiones OF-72 e I-93, esta última para los casos sin limitación de corte basal máximo (sin Q_{máx}) y con limitación de corte basal máximo (con Q_{máx}).

Los resultados presentados permiten concluir lo que sigue:

4.1. Combinación modal CQC: Se observan significativas diferencias de carácter local en las distribuciones de esfuerzos de corte en edificios altos (20 o más pisos), es decir, en los casos en que aumenta la importancia relativa de los modos superiores. Se estima que esta nueva disposición normativa será muy conveniente, en particular para casos de acoplamiento entre traslaciones y torsiones.

4.2. Control de corte basal máximo: Proposición formulada por R. Saragoni, quien observó que en edificios de período bajo (inferiores a 0.5 segundos), en hormigón armado, sobre Suelo Tipo III, se podrían obtener niveles exagerados de esfuerzos de corte. Tal consideración se confirma plenamente, como lo prueban los diagramas de corte y de momentos flectores en edificios de 5 y de 10 pisos (figuras 2 y 3). En edificios altos, en cambio, no se alcanza el corte basal máximo y los diagramas sin y con control se confunden (figuras 4 y 5).

4.3. Zonificación Sísmica y Tipo de Suelo: En estructuras situadas en Zona Sísmica 2, sobre Suelo Tipo II, se observa que los esfuerzos que se obtienen con la aplicación de OF-72 son exagerados en relación a los de la versión I-93. En edificios bajos (10 pisos o menos), en que los niveles de corte basal están por encima de los requerimientos mínimos, esta diferencia alcanza a 25%. En edificios altos, en cambio, se reduce a 16.67%, pues es consecuencia exclusiva del corte mínimo que, para edificios tipo "C", baja de 6% a 5% entre ambas versiones.

En Zona Sísmica 3 y Tipo de Suelo II, para edificios bajos, se concluye que la versión OF-72 muestra un déficit de 20% con respecto a la I-93, cifra que se reduce a menos de un 10% en edificios altos.

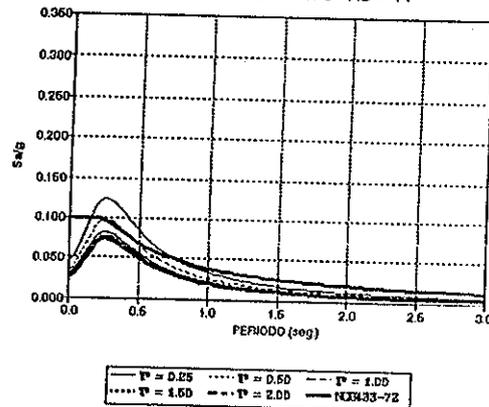
En Zona Sísmica 2 y Tipo de Suelo III, los edificios bajos muestran esfuerzos muy próximos en las dos versiones. En edificios altos, en cambio, la versión OF-72 produce esfuerzos 25 a 30% mayores que los de I-93.

Por último, en Zona Sísmica 3 y Tipo de Suelo III, en edificios bajos,

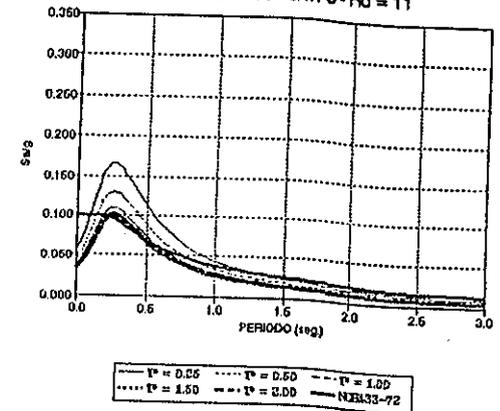
la versión 0F-72 produce esfuerzos 20 a 30% menores que los de I-93. En edificios altos no se observan diferencias de importancia entre ambas versiones.

En resumen, se puede concluir que la aplicación de la nueva versión de la norma NCh433 permitirá incorporar factores hasta ahora ignorados en la práctica profesional, que están de acuerdo con las experiencias recogidas en sismos reales ocurridos en el país.

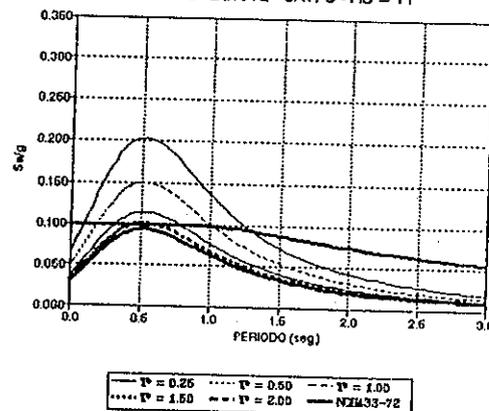
ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES
SUELO II - ZONA 2 - CAT. C - $R_0 = 11$



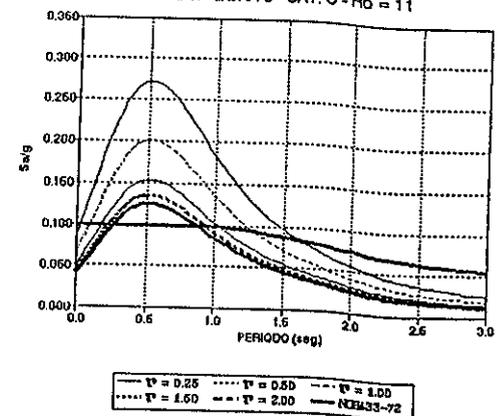
ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES
SUELO I - ZONA 3 - CAT. C - $R_0 = 11$

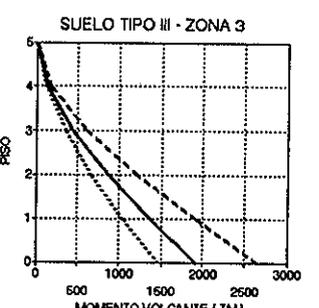
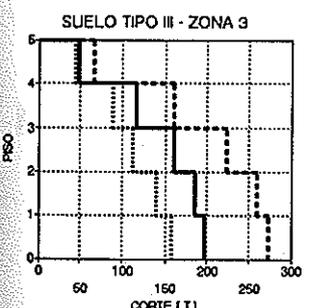
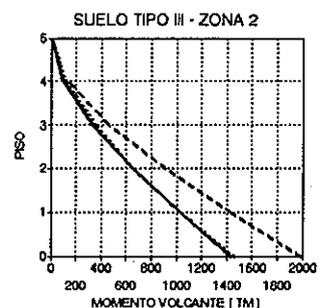
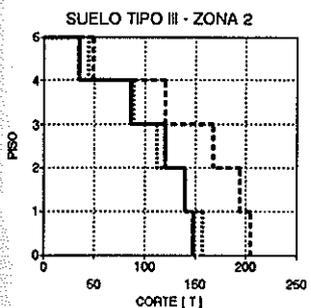
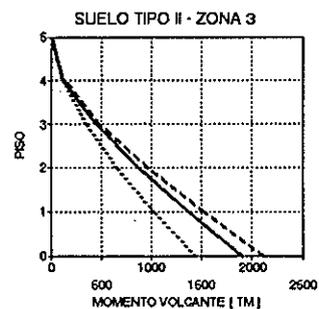
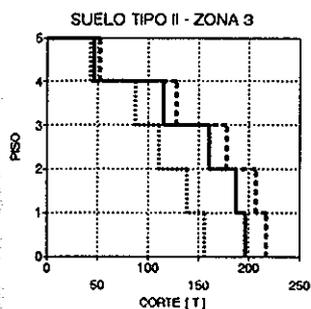
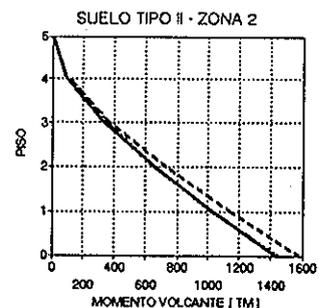
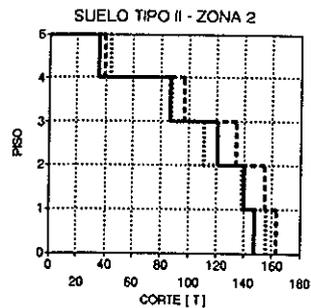


ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES
SUELO III - ZONA 2 - CAT. C - $R_0 = 11$

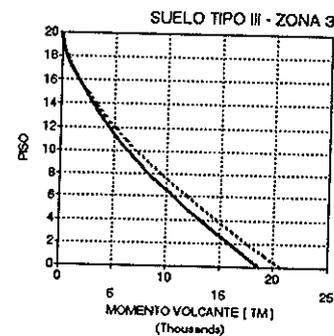
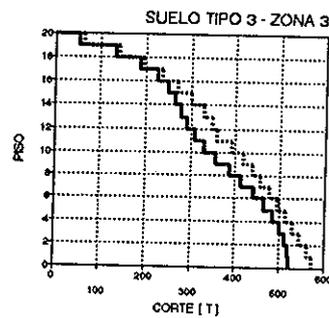
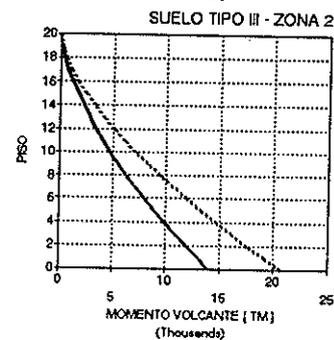
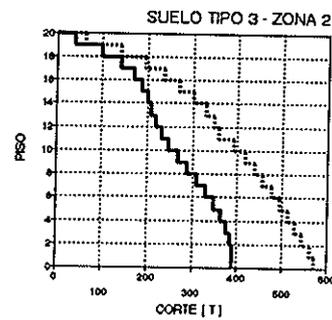
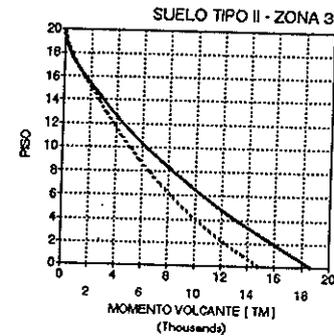
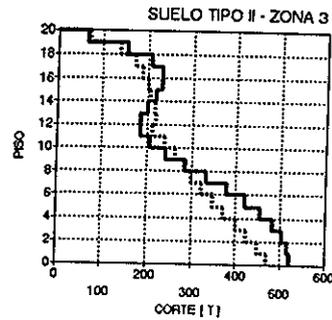
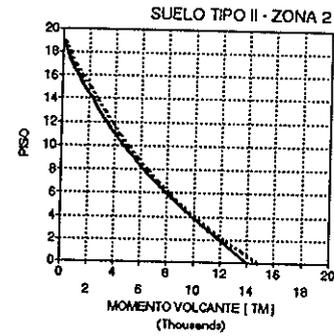
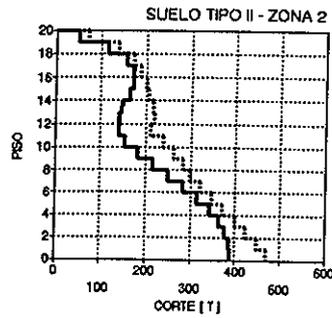


ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES
SUELO III - ZONA 3 - CAT. C - $R_0 = 11$





NCh433 OF-72
 NCh433 I-93 sin Qmax
 NCh433 I-93 con Qmax



----- NCh433 OF-72 - - - - - NCh433 I-93 sin Qmax ——— NCh433 I-93 con Qmax

