



CAPITULO 5.- DISEÑO SISMORESISTENTE DE EDIFICIOS

- 5.1 Espectros de diseño
- 5.2 Códigos sismo-resistentes



NORMA SISMICA ECUATORIANA CEC-02

**CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN 2002
PELIGRO SÍSMICO, ESPECTROS DE DISEÑO Y REQUISITOS MÍNIMOS DE CALCULO
PARA DISEÑO SISMO-RESISTENTE**

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las especificaciones de este capítulo deben ser consideradas como requisitos mínimos a aplicarse para el cálculo y diseño de una estructura, con el fin de resistir eventos de origen sísmico. Dichos requisitos se basan principalmente en el comportamiento dinámico de estructuras de edificación. Para el caso de estructuras distintas a las de edificación, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al de las estructuras de edificación, se deberán aplicar consideraciones adicionales especiales que complementen los requisitos mínimos que constan en el presente código.



FILOSOFIA DE DISEÑO CEC-02

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.

PE > 70% en 50 años vida útil. Comportamiento Elástico Estructura

- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.

40% < PE < 70% en 50 años vida útil. Límite Elasticidad (Cedencia) Estructura

- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

PE < 10% en 50 años vida útil. Ductilidad, Tenacidad y Estabilidad Estructura

Probabilidad	Probabilidad de	Numero Eventos	Numero Promedio de	Periodo de Retorno	Características
Excedencia PE (%)	No Ocurrencia (%)	durante 50 años	Eventos Anuales "Y"	años "Tr"	de la Frecuencia
durante 50 años	durante 50 años	$n = -\ln(1 - PE)$	$Y = n/50$	$T_p = 1/Y$	del Sismo
2%	98%	0.020202707	0.000404054	2,475	Muy Raro
10%	90%	0.105360516	0.00210721	475	Raro
39%	61%	0.500050551	0.010001011	100	Ocasional
63%	37%	1.002393431	0.020047869	50	Ocasional
87%	14%	2.002480501	0.04004961	25	Frecuente



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

US ICC (International Code Council) Performance Code - 2000

CHAPTER 3

DESIGN PERFORMANCE LEVELS

303.4 There are four performance groups (PG), identified as I, II, III and IV.

303.4.1 Performance Group I. The minimum design performance level with which all buildings or facilities posing a low risk to human life, should the buildings or facilities fail, must comply.

303.4.2 Performance Group II. The minimum design performance level with which all buildings or facilities subject to this code, except those classified as PG I, PG III or PG IV, must comply.

303.4.3 Performance Group III. The minimum design performance level with which buildings or facilities of an increased level of societal benefit or importance must comply.

303.4.4 Performance Group IV. The minimum design performance level with which buildings or facilities that present an unusually high risk or which are deemed essential facilities must comply.

CHAPTER 5

STABILITY

SECTION 501 STRUCTURAL FORCES

501.3.4 Structures, or portions thereof, shall be designed and constructed taking into account all expected loads, and combination of loads, associated with the event(s) magnitude(s) that would affect their performance, including, but not limited to:

11. Earthquake loads (mean return period)

Small: 25 years

Medium: 72 years

Large: 475 years

Very Large: 2,475 years

Building	Performance Group
Farms - warehouses	Group I
Apartment Buildings	Group II
Schools	Group III
Hospitals, Fire Stations	Group IV



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

US ICC (International Code Council) Performance Code - 2000

TABLE 303.3

MAXIMUM LEVEL OF DAMAGE TO BE TOLERATED BASED ON PERFORMANCE GROUPS AND DESIGN EVENT MAGNITUDES



FORMA ESPECTRAL DE LA NORMA CEC-02

Tabla 3. Coeficiente de suelo S y Coeficiente Cm

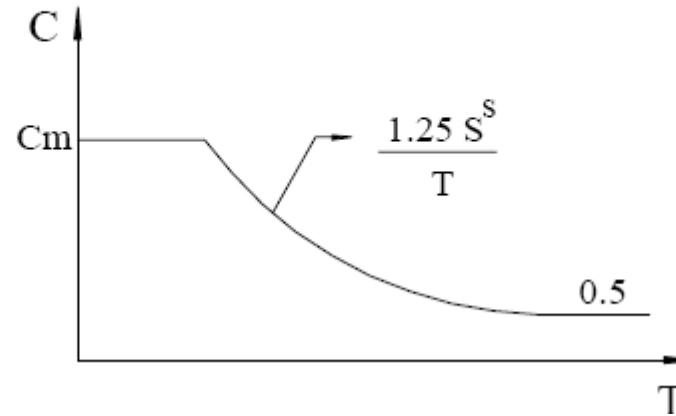
Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

(*) = Este valor debe tomarse como mínimo, y no substituye los estudios de detalle necesarios para construir sobre este tipo de suelos.

Figura 4. Espectro sísmico elástico del presente reglamento, que representa el sismo de diseño.

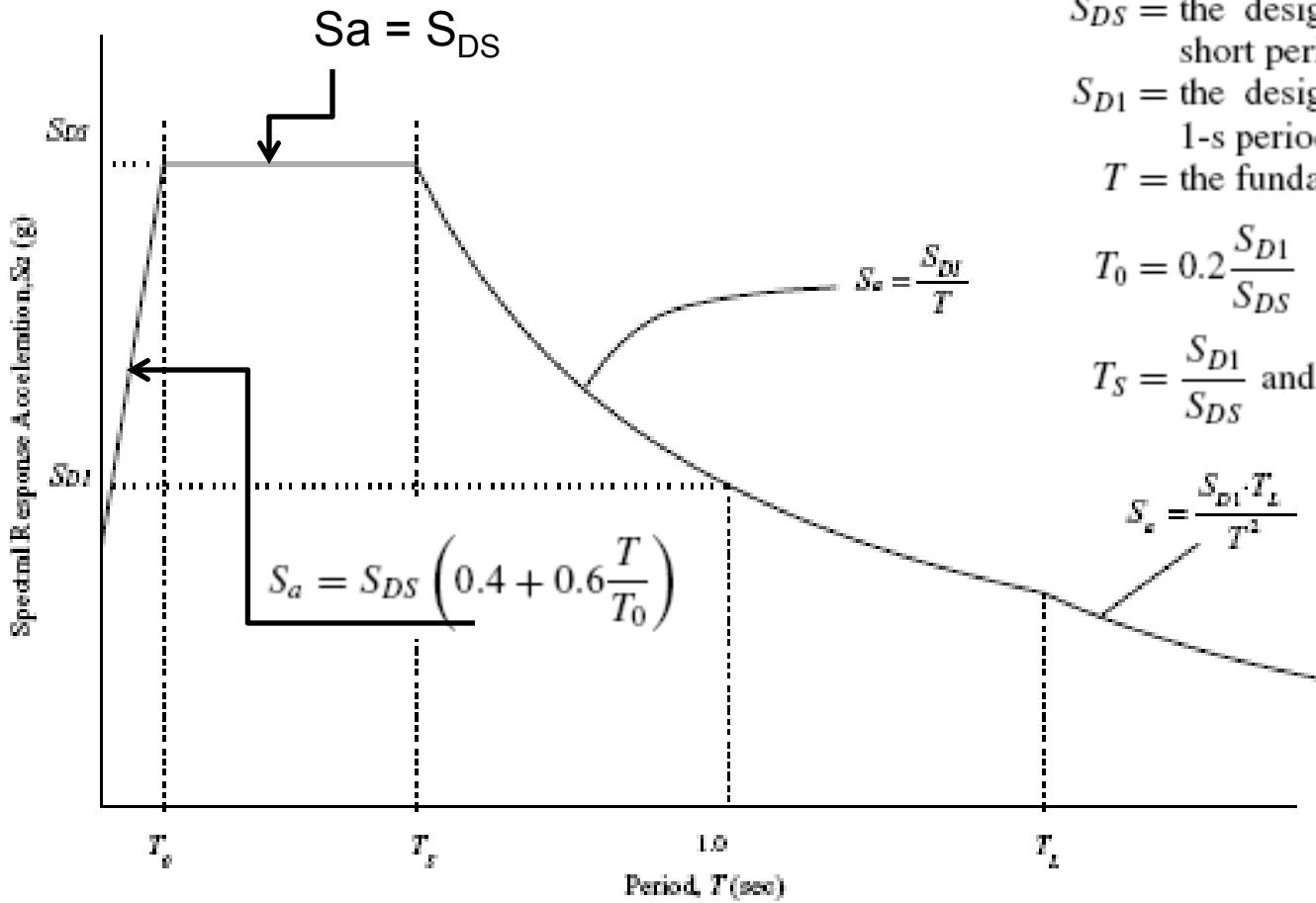
La Aceleración
Espectral de Diseño
es:

$$Sa = CZ$$





FORMA ESPECTRAL NORMA ASCE 7-10



S_{DS} = the design spectral response acceleration short periods

S_{D1} = the design spectral response acceleration 1-s period

T = the fundamental period of the structure, s

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \text{ and}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

6.2 PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS ESTATICAS.-

NORMA CEC-02

6.2.1 Cortante Basal de Diseño: El cortante basal total de diseño V , que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R \Phi_P \Phi_E} W \quad (4)$$

$$C = \frac{1,25 S^s}{T} \quad (5)$$

COEFICIENTE SISMICO CEC-02

$$C_S = Z \cdot C \cdot \left(\frac{I}{R \cdot \phi_E \cdot \phi_P} \right)$$

donde:

C = No debe exceder del valor de C_m establecido en la tabla 3, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,

S = Su valor y el de su exponente se obtienen de la tabla 3,

R = Factor de reducción de respuesta estructural,

Φ_P, Φ_E = Coeficientes de configuración estructural en planta y en elevación, respectivamente.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

NORMA ASCE 7-10

$$C_s = s_a \cdot \frac{I}{R}$$

Chapter 12

SEISMIC DESIGN REQUIREMENTS FOR BUILDING STRUCTURES

$$V = C_s W \quad (12.8-1)$$

where

C_s = the seismic response coefficient determined in accordance with Section 12.8.1.1

W = the effective seismic weight per Section 12.7.2.

12.8.1.1 Calculation of Seismic Response Coefficient. The seismic response coefficient, C_s , shall be determined in accordance with Eq. 12.8-2.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (12.8-2)$$

where

S_{DS} = the design spectral response acceleration parameter in the short period range as determined from Section 11.4.4

R = the response modification factor in Table 12.2-1

I = the occupancy importance factor determined in accordance with Section 11.5.1

The value of C_s computed in accordance with Eq. 12.8-2 need not exceed the following:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)} \quad \text{for } T \leq T_L \quad (12.8-3)$$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I}\right)} \quad \text{for } T > T_L \quad (12.8-4)$$

C_s shall not be less than

$$C_s = 0.01 \quad (12.8-5)$$

In addition, for structures located where S_1 is equal to or greater than $0.6g$, C_s shall not be less than

$$C_s = \frac{0.5 S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (12.8-6)$$



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

NORMA CEC-02

Tabla 7. Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras. *	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

(*) = Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los elementos en compresión.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

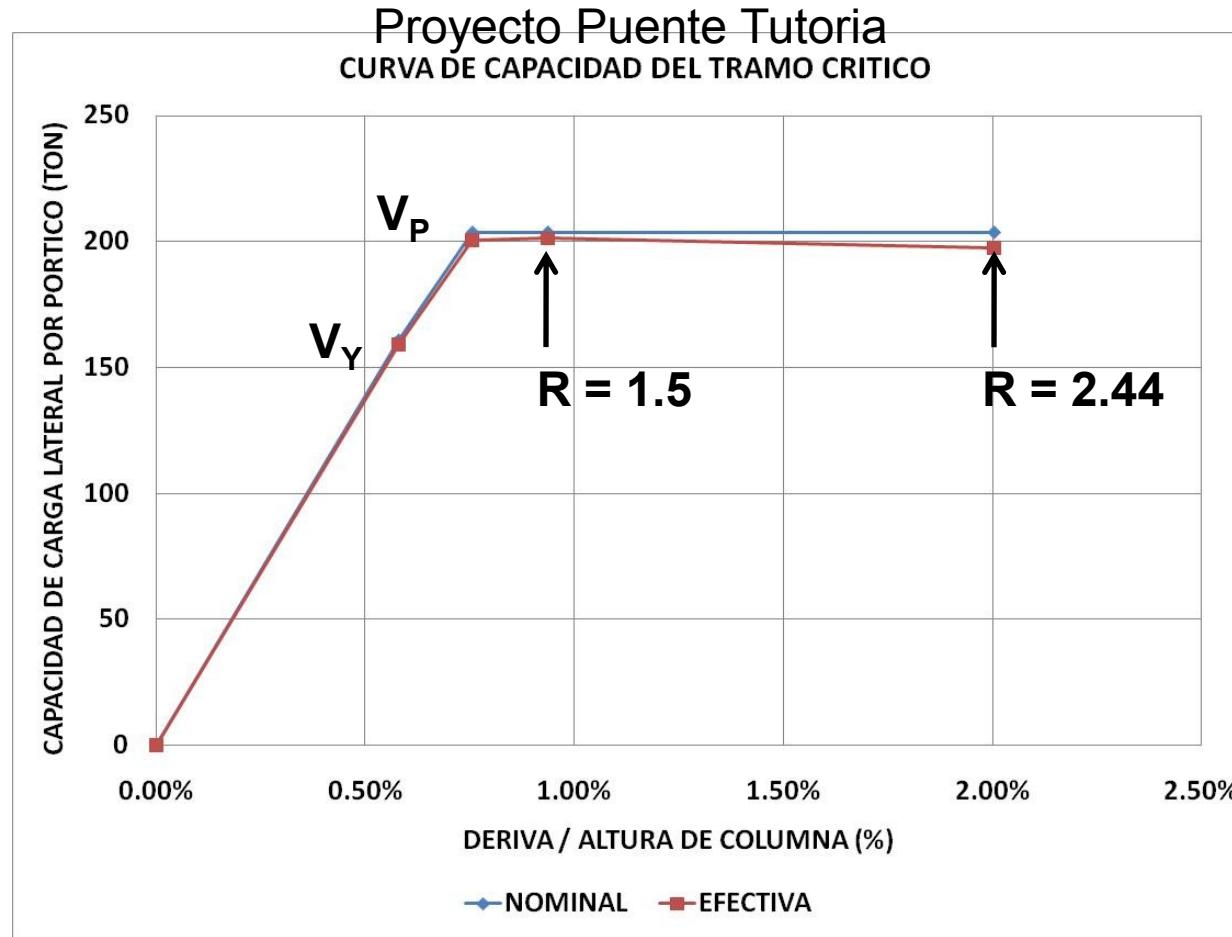
TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS (continued)

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, Ω_0^g	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit ^c				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS									
1. Special steel moment frames	14.1 and 12.2.5.5	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
2. Special steel truss moment frames	14.1	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
3. Intermediate steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, 12.2.5.9, and 14.1	4.5	3	4	NL	NL	35 ^{h,i}	NP ^h	NP ⁱ
4. Ordinary steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, and 14.1	3.5	3	3	NL	NL	NP ^h	NP ^h	NP ⁱ
5. Special reinforced concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.2	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
6. Intermediate reinforced concrete moment frames	14.2	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary reinforced concrete moment frames	14.2	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
G. CANTILEVERED COLUMN SYSTEMS DETAILED TO CONFORM TO THE REQUIREMENTS FOR:	12.2.5.2								
1. Special steel moment frames	12.2.5.5 and 14.1	2½	1½	2½	35	35	35	35	35
2. Intermediate steel moment frames	14.1	1½	1½	1½	35	35	35 ^h	NP ^{h,i}	NP ^{h,i}
3. Ordinary steel moment frames	14.1	1½	1½	1½	35	35	NP	NP ^{h,i}	NP ^{h,i}
4. Special reinforced concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.2	2½	1½	2½	35	35	35	35	35
5. Intermediate concrete moment frames	14.2	1½	1½	1½	35	35	NP	NP	NP
6. Ordinary concrete moment frames	14.2	1	1½	1	35	NP	NP	NP	NP
7. Timber frames	14.5	1½	1½	1½	35	35	35	NP	NP



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Los Coeficientes de la Norma ASCE 7-10



Sobre-resistencia
ASCE 7-10 (1.25)
Analisis (1.27)

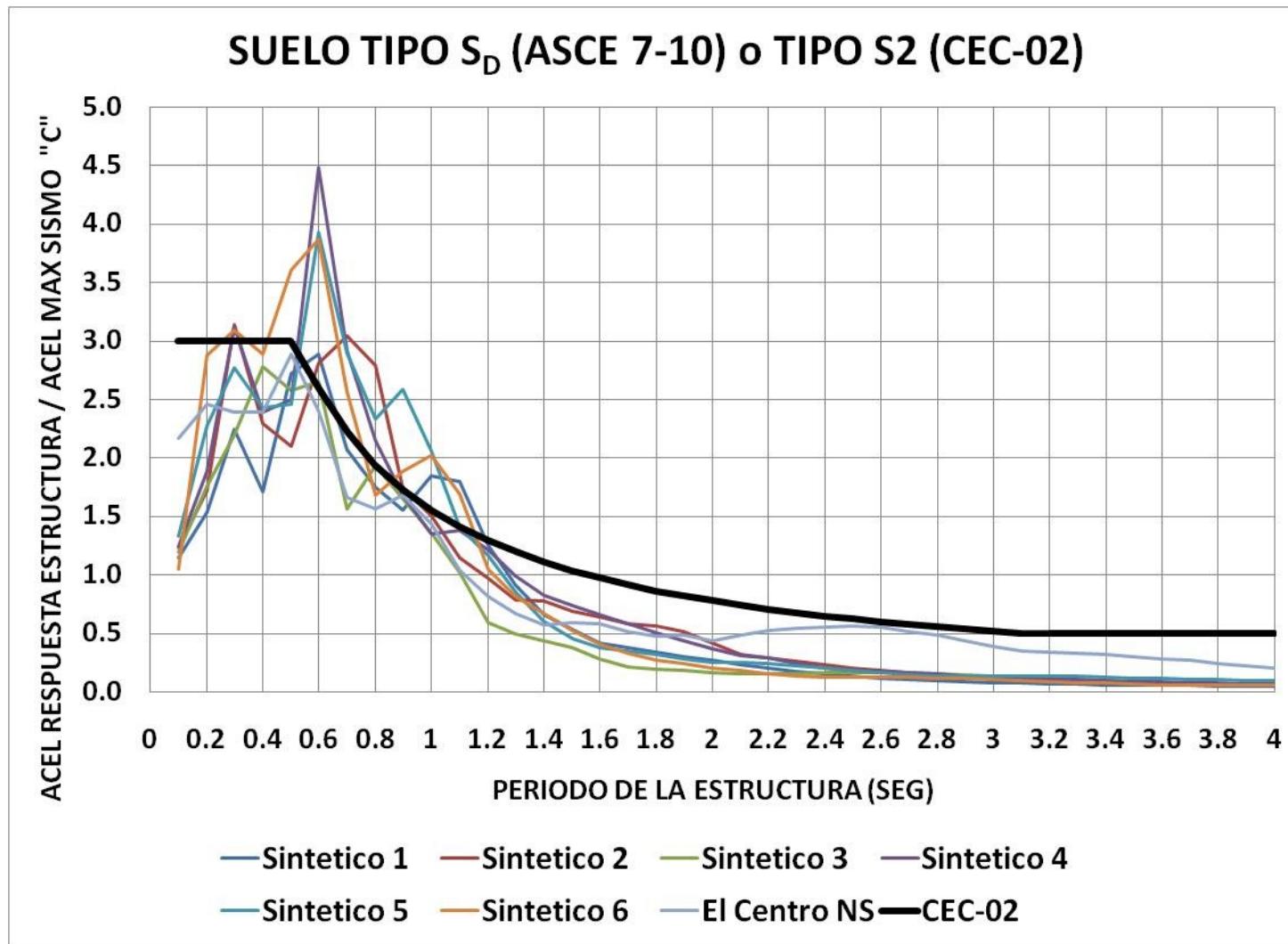
$$\Omega = \frac{V_p}{V_y}$$

Factor Reducción
Fuerza Elástica
R = 1.25 OMRF
R = 1.5 IMRF
R = 2.5 SMRF

Factor
Amplificación de
Deformaciones
Cd = 1.25 OMRF
Cd = 1.5 IMRF
Cd = 2.5 SMRF

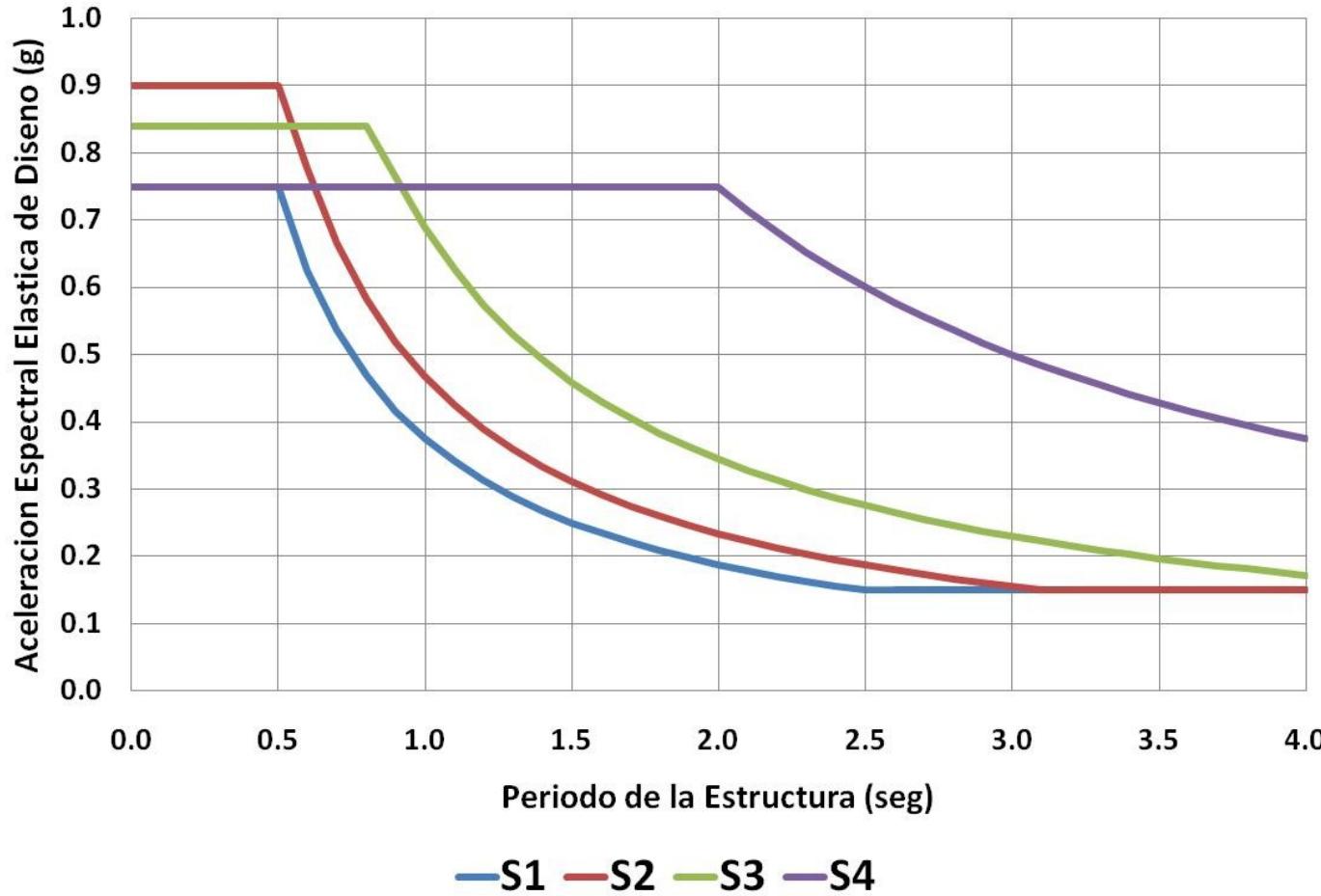


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

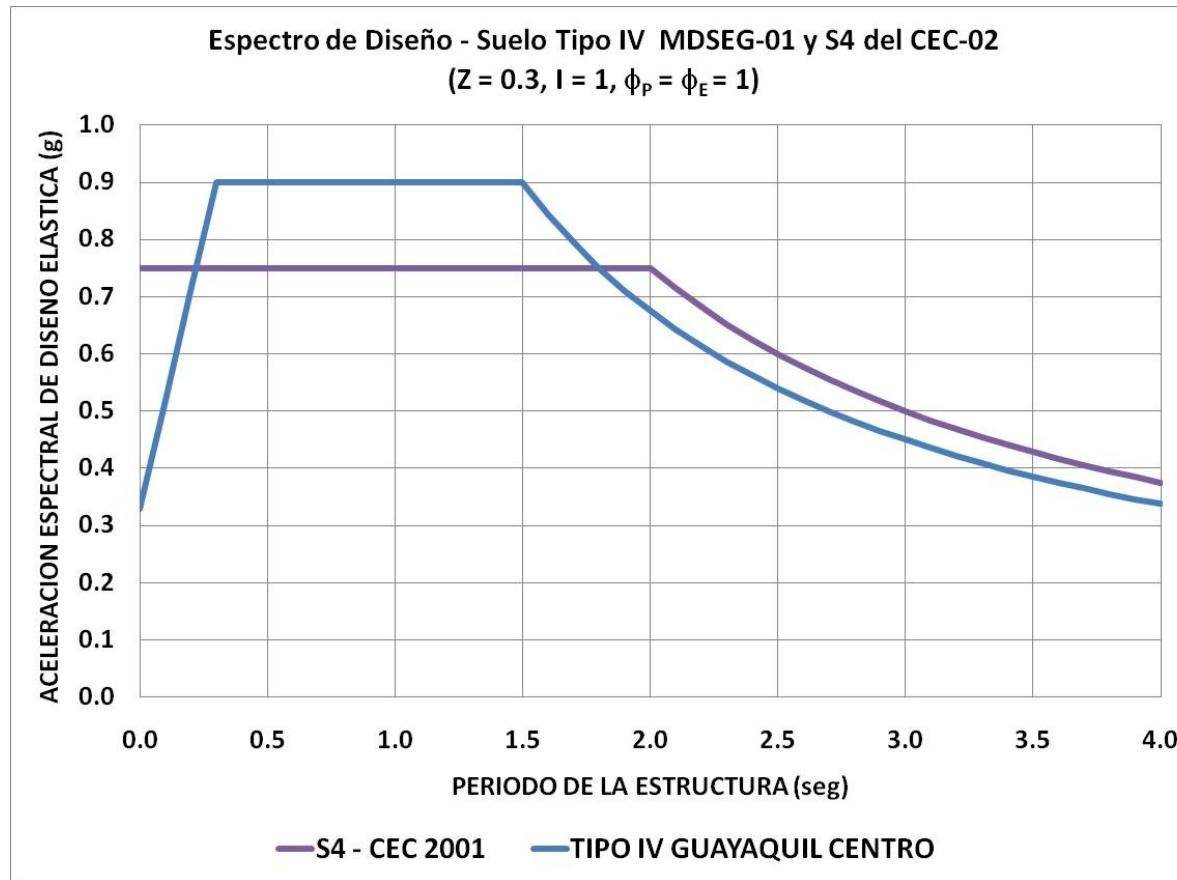


S1		
$S =$	1	
$C_m =$	2.5	
T	C	Sa
0.0	2.500	0.750
..		
S2		
$S =$	1.2	
$C_m =$	3	
T	C	Sa
0.0	3.000	0.900
S3		
$S =$	1.5	
$C_m =$	2.8	
T	C	Sa
0.0	2.800	0.840
S4		
$S =$	2	
$C_m =$	2.5	
T	C	Sa
0.0	2.500	0.750



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

MDSEG-01: Manual de Diseño Sismo-resistente de Estructuras para Guayaquil. Contrato de Servicios No. CS/ECU/99/161 entre PNUD - NN.UU. y la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para la M.I. Municipalidad de Guayaquil ejecutado durante 2000-2001.





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Especificaciones para la Ordenanza Normativa Sísmica

Jaime F. Argudo – Noviembre 9, 2009

- RADIUS: Herramientas para la Evaluación del Riesgo para ~~Areas Urbanas~~ frente a Desastres Sísmicos (~~Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters~~). Proyecto del ISDR/NN.UU. ejecutado en 9 ciudades piloto del mundo. En la M.I. Municipalidad de Guayaquil estuvo a cargo de la Universidad Católica de Guayaquil con supervisión de ~~GeoHazards International~~ durante 1998-2000.
- MDSEG-01: Manual de Diseño Sismo-resistente de Estructuras para Guayaquil. Contrato de Servicios No. CS/ECU/99/161 entre PNUD - NN.UU. y la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para la M.I. Municipalidad de Guayaquil ejecutado durante 2000-2001.
- CEC-01: Código Ecuatoriano de la Construcción 2001. "Peligro Sísmico, Espectros de Diseño y Requisitos Mínimos para Diseño Sismo-resistente"
- ASCE 7-05: Cargas Mínimas de Diseño para Edificaciones y otras Estructuras ("Minimum Design Loads for buildings and other Structures") de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE = American Society of Civil Engineers).



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

2. Filosofía de Diseño, Desempeño Estructural y Fuerzas de Diseño

Se deberá cumplir con la Filosofía de Diseño y Desempeño Estructural impuestos por la norma sísmica ecuatoriana CEC-02.

Las fuerzas, sísmicas o de cualquier otro origen, para el diseño de estructuras en el Cantón Guayaquil se obtendrán a partir de los procedimientos descritos en el estándar de diseño estructural de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE 7-05.

Para la definición de las fuerzas sísmicas de diseño mediante el método del "Espectro de Respuesta de Diseño" se usará la Sección 11.4.5 del Estándar ASCE 7-05, adaptada según se describe en el Anexo 1.

Las fuerzas calculadas conforme a la Norma CEC-02 gobernarán el diseño sísmico de las estructuras, en caso de no ser excedidas por las fuerzas mínimas calculadas conforme el estándar de diseño ASCE 7-05.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Especificaciones para la Ordenanza Normativa Sísmica

Jaime F. Argudo – Noviembre 9, 2009

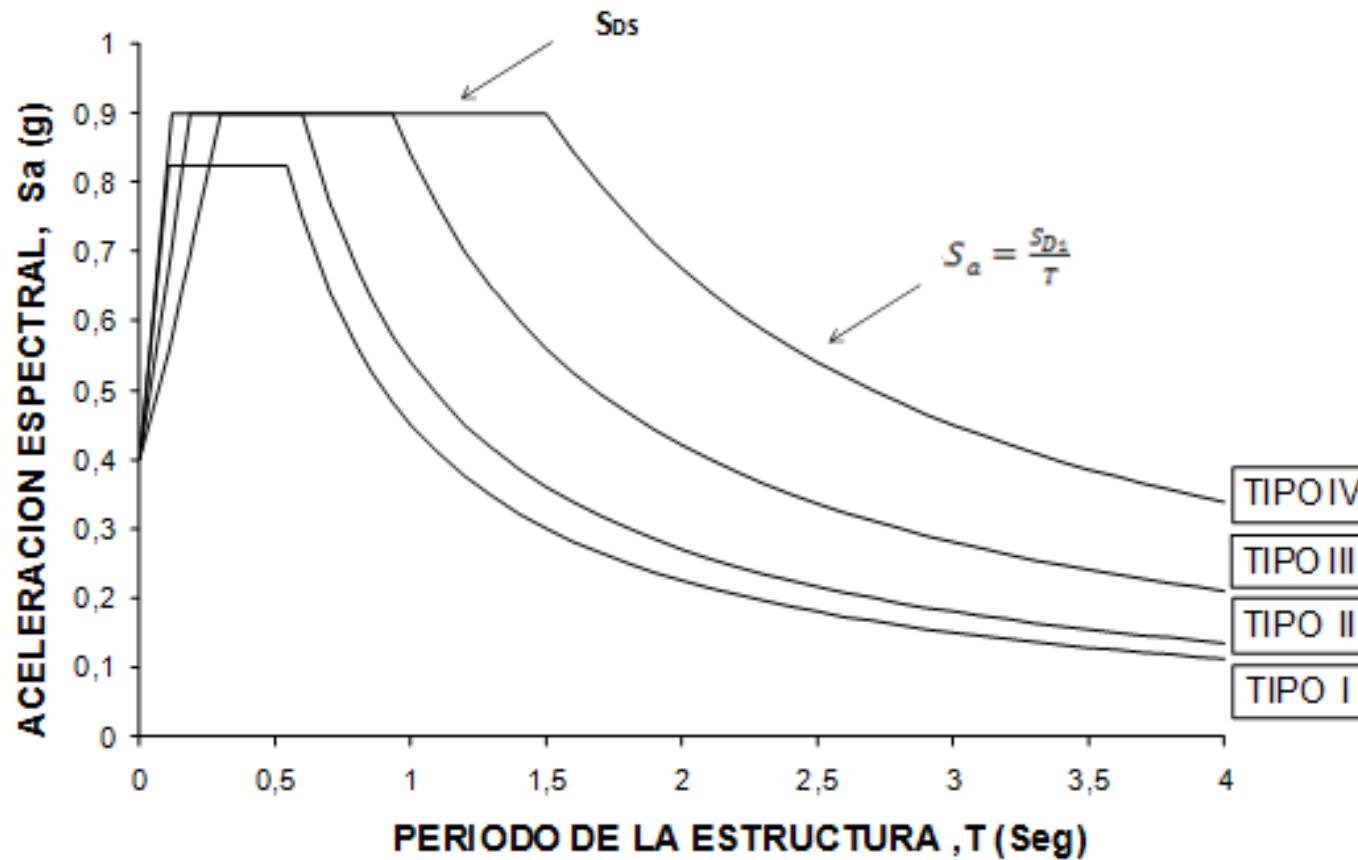
Tabla 11.4.5-1 Parámetros para la gráfica del espectro de respuesta de diseño según el tipo de suelo en el Cantón Guayaquil.

Tipo de Suelo (Nomenclaturas Equivalentes)			Parámetros del Espectro de Diseño para el Cantón Guayaquil			
Proyectos RADIUS MDSEG-01	Estándar EE.UU. ASCE 7-05	Código Ecuatoriano CEC-01	S_{D0} (g)	S_{D1} (g)	T_0 (seg)	T_s (seg)
Zona I	C	S1	0.83	0.45	0.11	0.55
Zona II	D	S2	0.90	0.54	0.12	0.60
Zona III	E	S3	0.90	0.84	0.19	0.93
Zona IV	F	S4	0.90	1.35	0.30	1.50



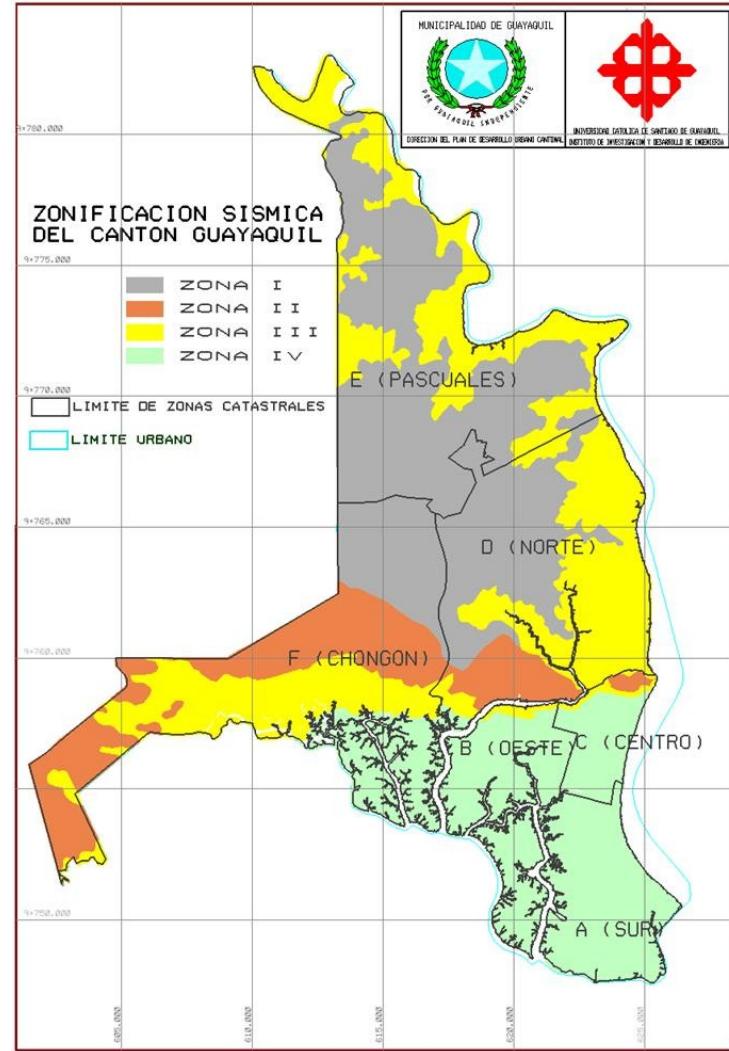
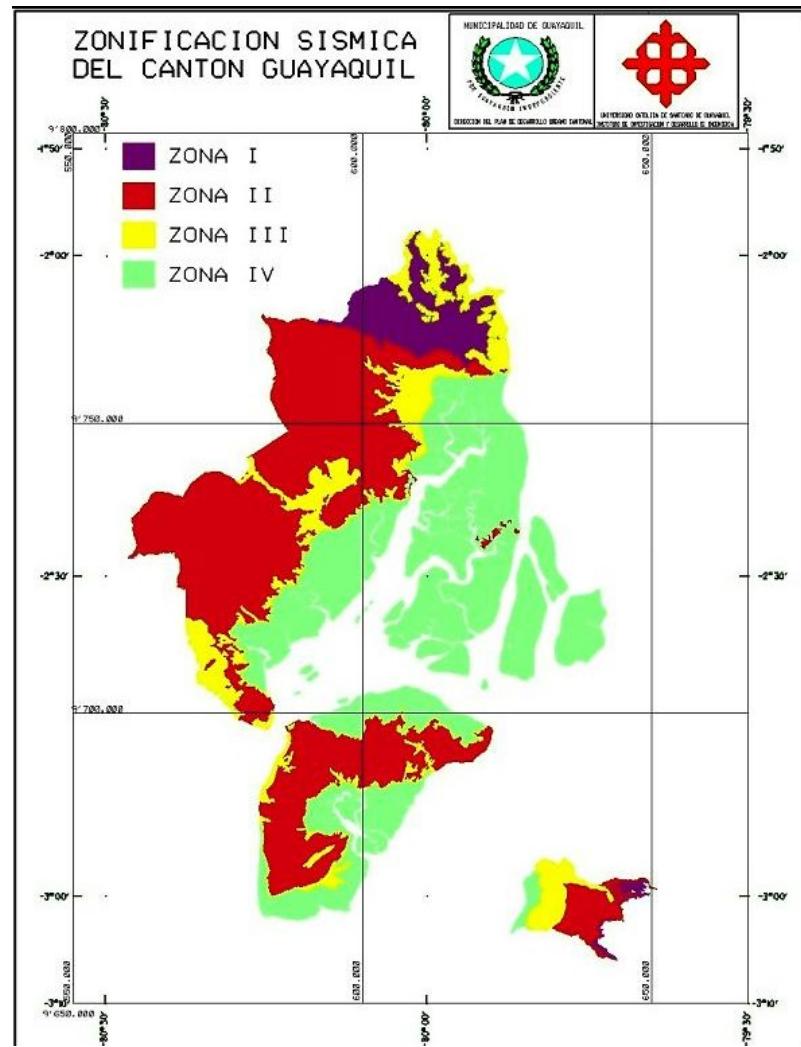
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Figura 11.4-1 Gráficas de los espectros de respuesta de diseño según el tipo de suelo en el Cantón Guayaquil.





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

5.6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE FUERZAS LATERALES

NORMA CEC-02

5.6.1 En general, una estructura puede ser calculada mediante procedimientos de cálculo de fuerzas laterales estáticos o dinámicos. El procedimiento escogido dependerá de la configuración estructural, tanto en planta como en elevación.

5.6.2 Para el cálculo de estructuras regulares tanto en planta como en elevación es suficiente la aplicación de procedimientos estáticos de determinación de fuerzas laterales. Para el caso de estructuras irregulares se utilizará el procedimiento de cálculo dinámico. También pueden utilizarse procedimientos alternativos de cálculo sísmico que tengan un adecuado fundamento basado en los principios establecidos por la dinámica de estructuras, llevados a cabo por profesionales especializados. Sin embargo, para todas las estructuras la aplicación del método estático, propuesto por éste código, se considerará como requisito mínimo.

6. DETERMINACION DE LAS FUERZAS LATERALES DE DISEÑO MINIMAS Y EFECTOS RELACIONADOS

6.1 GENERALIDADES: Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Puede asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.



NORMA CEC-02

6.1.1 La carga sísmica reactiva W para fines de este código, representa la carga reactiva por sismo, igual a la carga muerta total de la estructura. En el caso de estructuras de bodegas o de almacenaje, W se calcula como la carga muerta más un 25% de la carga viva de piso.

6.1.2 El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como su distribución espacial de masas y rigideces en la estructura.

6.1.2.1 Para el caso de estructuras de hormigón armado, en el cálculo de la rigidez se deberán utilizar los valores de las inercias agrietadas I_{cr} de los elementos estructurales, de la siguiente manera: 0,5 I_g para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable) y 0,8 I_g para columnas, siendo I_g el valor de la inercia no agrietada de la sección transversal del elemento considerado. Para el caso de muros estructurales, los valores de inercia agrietada tomarán el valor de 0,6 I_g y se aplicarán únicamente en los dos primeros pisos de la edificación (para estructuras sin subsuelos) o en los dos primeros pisos y en el primer subsuelo (para estructuras con subsuelos). Para el resto de pisos la inercia agrietada del muro estructural puede considerarse igual a la inercia no agrietada.

6.1.2.2 Para el caso de estructuras de mampostería, el valor de la inercia agrietada a utilizar para los muros será de 0,5 I_g .



NORMA CEC-02

6.2.4 Período de vibración T: El valor de T será determinado a partir de uno de los métodos descritos a continuación:

6.2.4.1 Método 1: Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (8)$$

donde:

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura

C_t = 0,09 para pórticos de acero

C_t = 0,08 para pórticos espaciales de hormigón armado

C_t = 0,06 para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales
y para otras estructuras

6.2.4.2 Método 2: El período fundamental T puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \left[\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^{-2} \right) / \left(g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i \right) \right]^{1/2} \quad (9)$$



NORMA CEC-02

6.3 DISTRIBUCION VERTICAL DE FUERZAS LATERALES.

6.3.1 En ausencia de un procedimiento más riguroso, basado en los principios de la dinámica, las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, utilizando las siguientes expresiones:

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (10)$$

$$F_t = 0,07TV \quad (11)$$

donde:

F_t = La fuerza concentrada que se aplicará en la parte más alta de la estructura, constituyéndose una fuerza adicional a la fuerza en el último piso.

n = Número de pisos de la estructura

T = El período utilizado para el cálculo del cortante basal total V .



NORMA CEC-02

Sin embargo, F_t no necesita exceder el valor de 0,25 V, y puede considerarse nulo cuando T es menor o igual a 0,7 s. La parte restante del cortante basal debe ser distribuido sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n, de acuerdo con la expresión:

$$F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (12)$$

F_x = La fuerza en el nivel x de la estructura que debe aplicarse sobre toda el área del edificio en ese nivel, de acuerdo a su distribución de masa en cada nivel .

w_i = Es el peso asignado a cada nivel de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W.

Las acciones y deformaciones en cada elemento estructural deben calcularse como resultado del efecto de las fuerzas F_x y F_t , aplicadas en los niveles apropiados de la estructura sobre su base.