



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

# Propuesta para la modificación del espectro elástico de la actual norma peruana de diseño sismo resistente

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los  
bachilleres

JESUS ANGULO ADRIANZÉN  
WILLIAMS MARTIN AZAÑEDO MARTINEZ

ASESOR: JUAN ALEJANDRO MUÑOZ PELAEZ

Lima, Noviembre del 2013

## Resumen

La actual norma peruana de diseño sismo resistente (NPDSR) establece desplazamientos espectrales crecientes con el periodo estructural para estructuras con periodo mayor al de la plataforma. Esto no corresponde a la tendencia natural de los espectros, ya que para periodos largos los desplazamientos deben ser constantes e iguales al desplazamiento máximo del suelo.

En la actualidad se están construyendo en nuestro medio, edificios con aislación sísmica cuyos periodos superan los 2.5 segundos y la NPDSR no permite estimar adecuadamente los desplazamientos a los que estarían sometidas. Por esta razón, se hace necesario el ajuste del espectro de la actual norma de diseño sismo resistente.

En este trabajo se desarrolló una propuesta para los espectros de diseño en la zona de periodos mayores a 2.5 s. Para construir estos espectros no fue posible emplear el método de Newmark & Hall, ya que actualmente en el país no se cuenta con una estimación apropiada de los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo. El estudio se desarrolló estudiando tendencias y empleando regresiones basadas en promedios espectrales de la zona de periodos largos.

Se obtuvieron espectros para los tipos de suelo S1 y S3 de la norma actual, correspondientes a valores medios y promedio más desviación estándar.

Del análisis realizado se identificó el periodo a partir de la cual las aceleraciones espectrales se reducen con el cuadrado del periodo.

Se espera que con esta propuesta, se logre mejorar la estimación de desplazamientos en las estructuras peruanas de periodos mayores a 2.5 s. Esto contribuirá a mejorar el estudio y diseño de los edificios con aislamiento sísmico en el Perú.

## Índice

<b>Capítulo 1.</b>	<b>Introducción</b>	
	<u>1.1 El diseño sismo resistente y el control de desplazamientos laterales</u>	1
	<u>1.2 Los sistemas de aislamiento sísmico</u>	2
	<u>1.3 Objetivo de la tesis</u>	3
	<u>1.4 Alcance del Trabajo</u>	3
	<u>1.5 Organización del documento</u>	3
<b>Capítulo 2.</b>	<b>Espectros de Diseño para fuerzas y Desplazamientos</b>	
	<u>2.1 Espectros de diseño basados en fuerzas (sa)</u>	4
	<u>2.2 Procedimientos para obtener espectros de diseño</u>	7
	<u>2.3 Espectros de diseño de algunos países sísmicos</u>	9
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Norma Chilena</i></li> <li>• <i>ASCE</i></li> <li>• <i>Norma Colombiana</i></li> </ul>	
<b>Capítulo 3.</b>	<b>El espectro de desplazamientos de la actual Norma Peruana de DSR</b>	
	<u>3.1 Estructura del espectro</u>	20
	<u>3.2 Comparación registros peruanos con la norma</u>	22
	<u>3.3 Espectros de desplazamiento de las normas extranjeras</u>	23
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Propuesta del espectro de diseño para la zona de desplazamientos.</b>	
	<u>4.1 Metodología de Trabajo</u>	25
	<u>4.2 Obtención de información</u>	25
	<u>4.3 Procesamiento y Clasificación de Señales</u>	26
	<u>4.4 Obtención de los Espectros de diseño</u>	29
	<u>4.5 Propuesta de espectros de desplazamiento</u>	30
	<u>4.6 Propuesta de espectros de aceleración</u>	33
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Conclusiones</b>	35
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Bibliografía</b>	38
	<b>Anexo</b>	

## CAPITULO I

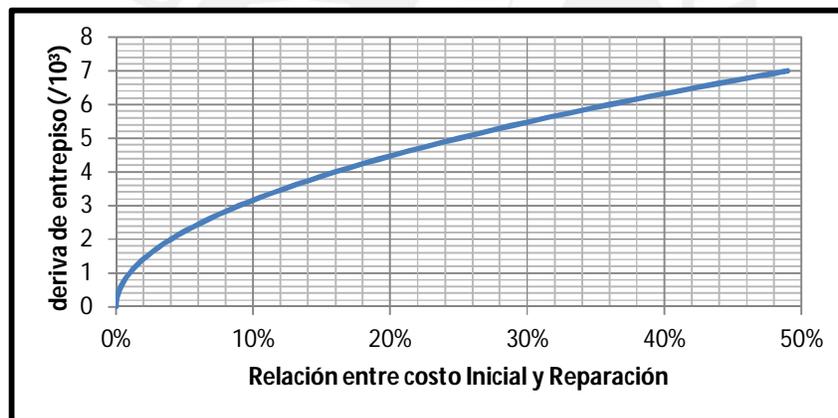
### Introducción

#### **1.1 El diseño sismo resistente y el control de desplazamientos laterales.**

El objetivo central de la ingeniería sismo resistente ha sido la protección de las obras civiles contra el colapso, con el fin de resguardar la vida en grandes terremotos. Hoy se suman nuevos objetivos que persiguen proteger el contenido de los edificios en sismos leves y reducir el daño en terremotos severos.

Existe una relación entre la deriva de entrepiso y el daño durante un evento sísmico. A mayor deriva de entrepiso mayor el daño en el edificio.

En el gráfico siguiente se muestra la relación entre el desplazamiento de entrepiso y el daño expresado como el cociente entre el monto de reparación y el costo inicial del edificio.



Referencia: MUÑOZ PELAEZ, JUAN ALEJANDRO, Apuntes del curso Ingeniería Antisísmica 1

#### **1.2 Los sistemas de aislación sísmica**

El aislamiento sísmico se obtiene empleando un juego de dispositivos (aisladores) en la base del edificio. Los aisladores son muy flexibles en las direcciones horizontales y muy rígidos en la dirección vertical. Los aisladores más difundidos son los elastoméricos y tienen como característica principal láminas de acero intercaladas con láminas de caucho, logrando una resistencia mayor en la dirección vertical y en la dirección horizontal.

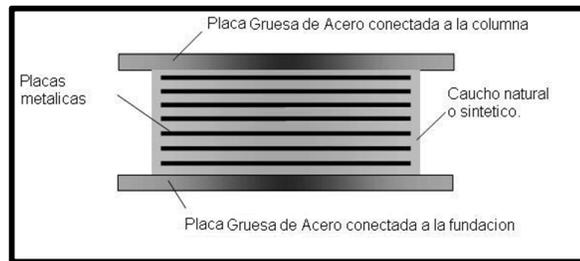


Figura 1.1 Esquema Aislador Elastomérico

Otro tipo de aisladores que existen en el medio son los aisladores deslizantes, los cuales están constituidos por un deslizador móvil y una superficie cóncava. Al momento de producirse el movimiento del aislador, la energía se va disipando sobre la superficie cóncava.

La rigidez efectiva del aislador y el periodo de oscilación de la estructura dependen del radio de curvatura de la superficie cóncava.

El sistema de aislación sísmica se encarga de aislar la estructura del movimiento del suelo; al suceder esto, el edificio se queda casi “quieto” mientras que el suelo sigue desplazándose, por lo que, el desplazamiento de la azotea se concentra en los aisladores. Debido a la incorporación del sistema de aislación al edificio, el sistema estructural presenta un aumento de periodo más allá de los 2 segundos.

Para el cálculo de los desplazamientos, muchos espectros como el del código peruano no son apropiados en las zonas de periodos largos, debido a que existen artificios que se usan en el espectro de aceleraciones, con los cuales esta zona, de periodos largos, se encuentra con unos valores mínimos (Valor mínimo de  $S_a$  limitado por  $C/R$ ).

Actualmente, los espectros de los códigos de diseño son de pseudo-aceleración y están dirigidos al cálculo de las fuerzas aplicadas al sistema estructural, por lo que, en estos espectros se pueden encontrar a las aceleraciones de diseño, en los periodos largos, con valores mínimos, a pesar que, debería haber una caída de estos con el cuadrado del periodo estructural.

### **1.3 Objetivos de la tesis**

En esta tesis se intenta proponer un nuevo espectro de aceleración para el diseño de edificios en el Perú. Este nuevo espectro permitirá predecir mejor los desplazamientos en estructuras de periodo largo. También, como parte del objetivo, se tiene la recopilación de información en cuanto a los principales registros sísmicos disponibles en el país.

### **1.4 Alcances del trabajo**

Se propondrán nuevos espectros para los tres tipos de suelo del código peruano empleando la información existente en el país y la de países vecinos de sismicidad parecida. También se empleará un procedimiento sencillo, basado en un promedio estadístico, para la obtención de los espectros objetivos de esta tesis.

### **1.5 Ordenamiento del documento**

El capítulo II, se presenta la relación entre los espectros de aceleraciones y desplazamientos para así analizar el espectro de la norma peruana. Se estudian los métodos para poder obtener espectros de aceleraciones y se muestran los procedimientos existentes para obtener espectros de diseño del ASCE (American Society of Civil Engineers) y de las normas colombiana y chilena.

En el capítulo III, se muestra el actual espectro de la norma peruana. Se realiza una comparación entre el espectro de desplazamientos de una señal significativa y el espectro de desplazamientos de la norma peruana. Se comparan los espectros de desplazamientos de la norma peruana con los espectros de códigos extranjeros.

En el capítulo IV, se define la metodología de trabajo y se presentan a las entidades que brindaron los registros de aceleración. Se muestra el procesamiento de los registros a través del programa de simulación sísmica, Seismo Signal y se clasifican los registros de acuerdo al tipo de suelo y se desarrolla la propuesta de espectros de diseño para el Perú.

En el capítulo V, se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo. En el anexo A1 se presentarán los gráficos y los cálculos realizados en el programa Seismo Signal para la obtención de espectros.

## CAPITULO II

### Espectros de diseño para fuerzas y desplazamientos

#### **2.1 Espectros de diseño basados en fuerzas (Sa)**

La ecuación de equilibrio dinámico para una estructura de un grado de libertad con movimiento en su base es:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Mx = -M\ddot{S}$$

Dividiendo entre M tendremos:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = \ddot{S}$$

Esta es la ecuación diferencial de todas las estructuras elásticas de frecuencia circular “ $\omega$ ” y amortiguamiento “ $\xi$ ”. En consecuencia toda esta familia de estructuras tendrá la misma respuesta para el desplazamiento, velocidad y aceleración.

Se define la pseudo-aceleración “ $pa(t)$ ”, como la fuerza restitutiva por unidad de masa que como se ve a continuación es una función directa del desplazamiento y de la frecuencia de la estructura:

$$pa(t) = \frac{Fr(t)}{M} = \frac{K}{M} \cdot x(t) = \omega^2x(t)$$

El valor máximo de  $pa(t)$  se denomina pseudo-aceleración espectral “ $S_a$ ” y depende solamente de la frecuencia o periodo de la estructura y de su amortiguamiento.

El espectro de pseudo-aceleración muestra los valores para diferentes periodos. La figura 2.1 muestra el espectro de pseudo-aceleración de la norma peruana de diseño sismo resistente para condiciones de suelo bueno en la costa peruana.

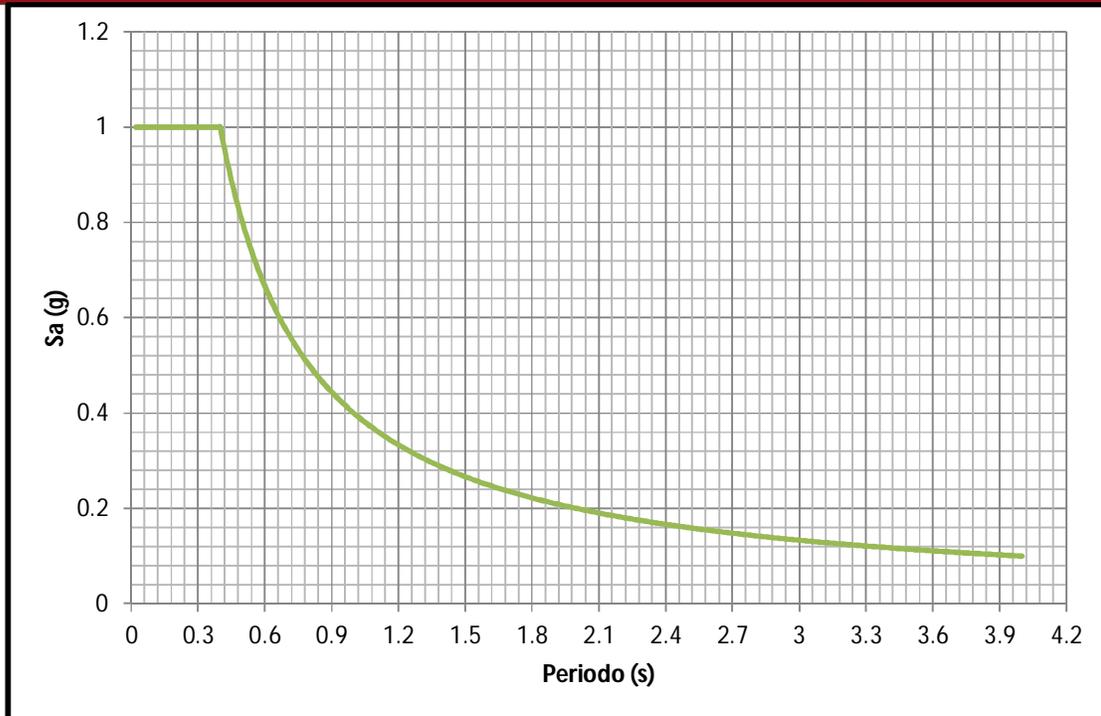


Figura 2.1 Espectro de aceleración de la actual norma peruana (suelo bueno)

Al desplazamiento máximo de una estructura durante el movimiento se le denomina desplazamiento espectral y se representa por "Sd".

Dado que " $pa(t)=\omega^2 x(t)$ ", para los valores máximos tendremos que:

$$Sa = \omega^2 Sd$$

El espectro de desplazamientos puede deducirse del espectro de pseudo-aceleración empleando la expresión anterior.

La figura 2.2 muestra el espectro de desplazamiento correspondiente a suelo bueno en zona 3, deducido en base al espectro de pseudo-aceleración mostrado en la figura 2.1

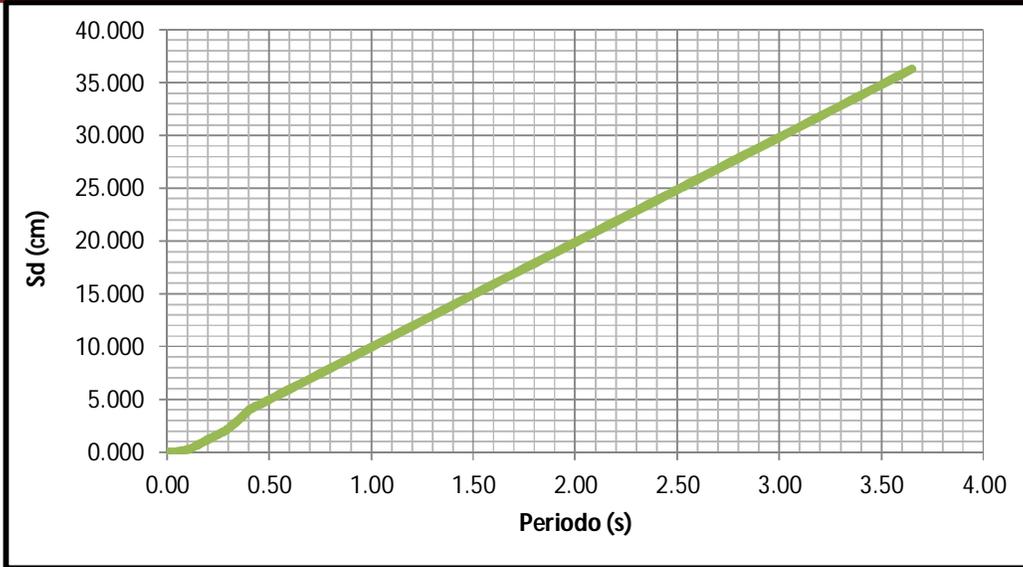


Figura 2.2 Espectro de desplazamiento de la actual norma peruana

El espectro de desplazamientos de la Norma técnica E.030 muestra valores crecientes con el periodo, sin embargo esto no sigue la tendencia natural de los espectros de desplazamiento los cuales luego de una zona de amplificación, en el rango de los periodos largos, tienden al desplazamiento del suelo.

Para estructuras de 2.5 o más segundos de periodo, el espectro desplazamientos de la Norma técnica E.030 tiene importantes discrepancias con los espectros de las señales peruanas, como se muestra la figura 2.3.

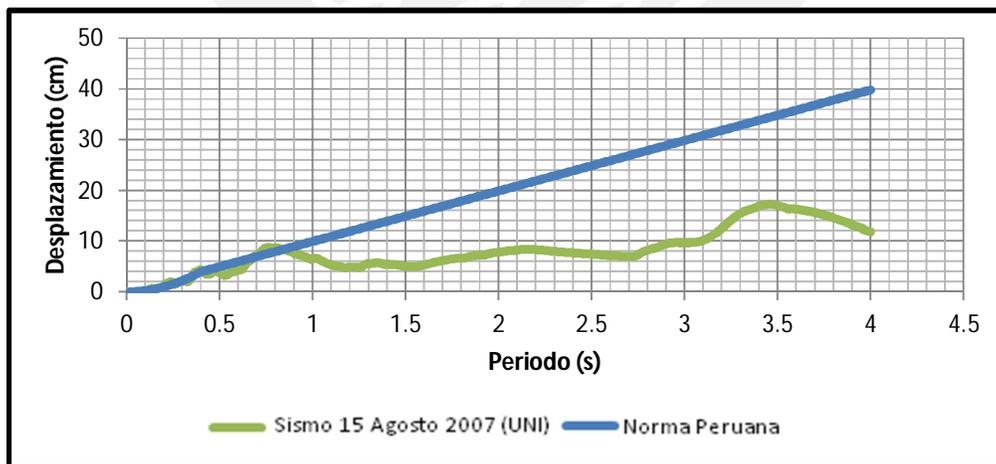


Figura 2.3 Espectro de desplazamiento de la actual norma peruana vs la señal del 15 de Agosto del 2007

Por tanto los desplazamientos que se obtengan de usar el espectro de la norma para estructuras altas o estructuras aisladas discreparían significativamente de los valores que se obtienen con registros peruanos.

Con todo lo mencionado anteriormente, se puede inferir que el actual espectro de desplazamiento de la Norma técnica E.030 no ha sido preparado para estructuras de periodo largo y en consecuencia se hace necesario proponer un espectro que contemple este tipo de estructuras.

## 2.2 Procedimientos para obtener espectros de diseño

Los procedimientos más difundidos para obtener espectros de diseño son el propuesto por Newmark & Hall en 1982 y el que se sustenta en valores medios espectrales de una colección representativa de señales

**Método de Newmark & Hall:** Se basa en los valores pico de desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo y en factores de amplificación en cada zona del espectro.

El espectro se construye en un formato tripartito en escala logarítmica con el eje horizontal en periodos, el eje vertical en velocidades y dos ejes inclinados para el desplazamiento y la aceleración. La figura 2.4 nos muestra el formato tripartito con los valores máximos del movimiento del suelo (Aceleración, Velocidad y Desplazamiento) y el espectro de diseño obtenido al multiplicar por los respectivos factores de amplificación.

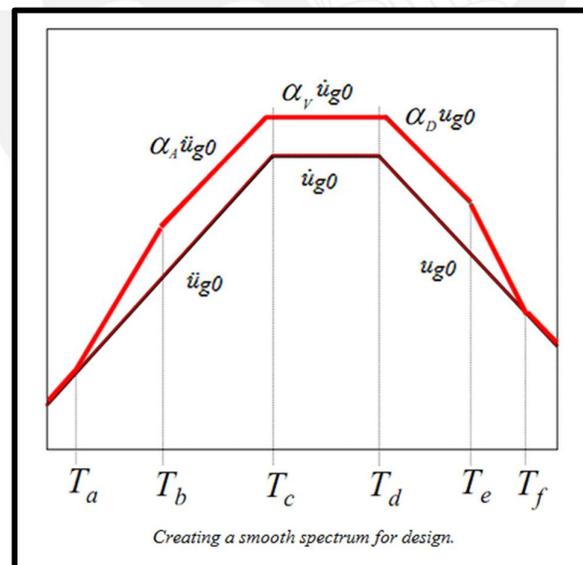


Figura 2.4 Estructura del Espectro de Newmark & Hall

La figura muestra tres zonas de amplificación para los parámetros del suelo. La zona de amplificación de aceleración, la de velocidades y la de desplazamientos.

Para poder construir un espectro de diseño usando el método de Newmark & Hall, se debe contar con los valores máximos esperados del movimiento del suelo y con los respectivos factores de amplificación.

Actualmente en el Perú no se cuenta con los valores pico de velocidad, desplazamiento, ni tampoco con los factores de amplificación necesarios. Por tanto no fue posible emplear esta metodología.

#### **Método en base a promedio de espectros (Basados en señales):**

Para este método es necesario contar con acelerogramas para cada tipo de suelo. Con los acelerogramas se calculan los espectros de aceleración y desplazamiento, se construyen curvas de espectros promedio y espectros promedio más algún factor de la desviación estándar. Con estas curvas se propondrán trazos sencillos. La figura 2.5 muestra los espectros de desplazamiento promedio y promedio más desviación estándar para suelos buenos junto con el espectro de diseño la norma técnica E.030.

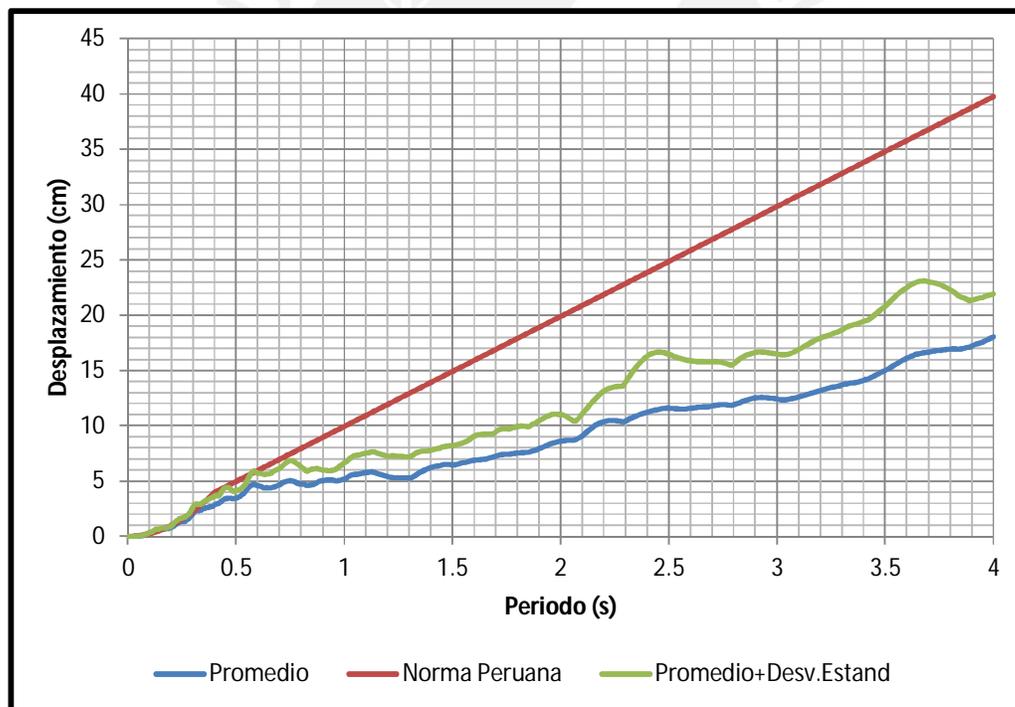


Figura 2.5 Gráfico del espectro de desplazamientos para suelos buenos

### 2.3 Espectros de diseño de algunos países sísmicos

Se presentan los espectros de los códigos chileno, colombiano y de la ASCE

#### Norma Chilena:

La norma chilena de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, Nch 2745-2003, usó el método de Newmark & Hall para la construcción de sus espectros de diseño. La figura que sigue muestra el espectro y los parámetros empleados para su construcción.

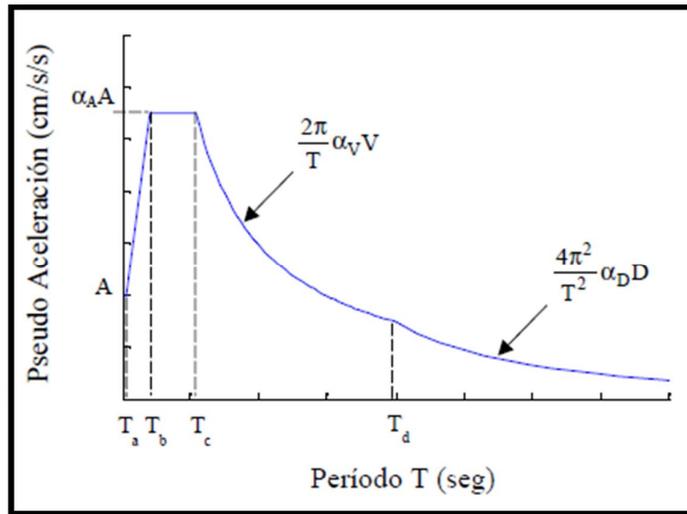


Figura 2.6 Definición del espectro de diseño de pseudo-aceleración

Tabla 6 - Definición del espectro de diseño, SDI

Suelo	$T_a,$ s	$T_b,$ s	$T_c,$ s	$T_d,$ s	$T_e,$ s	$T_f,$ s	$\alpha_A A,$ cm/s <sup>2</sup>	$\alpha_V V,$ cm/s	$\alpha_D D,$ cm
I	0,03	0,11	0,29	2,51	10	33	1 085	50	20
II	0,03	0,20	0,54	2,00	10	33	1 100	94	30
III	0,03	0,375	0,68	1,58	10	33	1 212	131	33

Figura 2.7 Tabla con variables a utilizar para la definición del espectro de diseño

La figuras 2.8 y 2.9 muestran los espectros de aceleración y desplazamiento para suelos buenos en la zona chilena de mayor sismicidad.

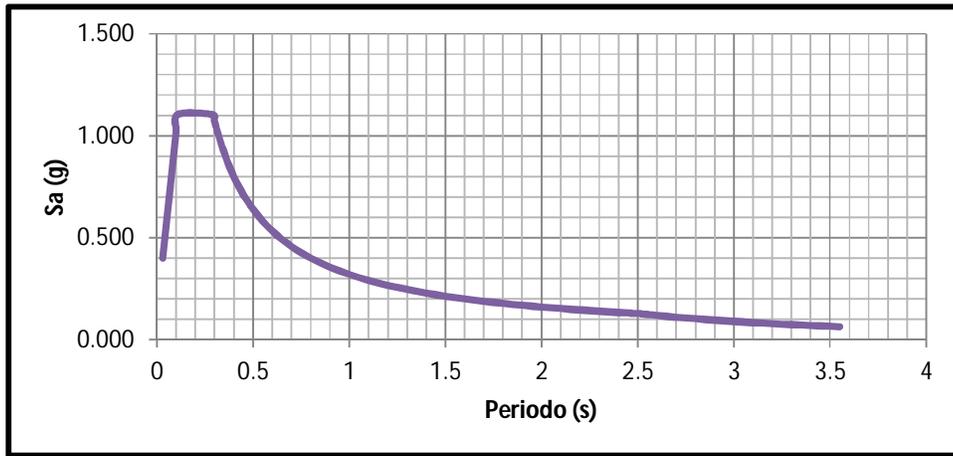


Figura 2.8 Espectro de aceleración de la norma chilena en suelos buenos

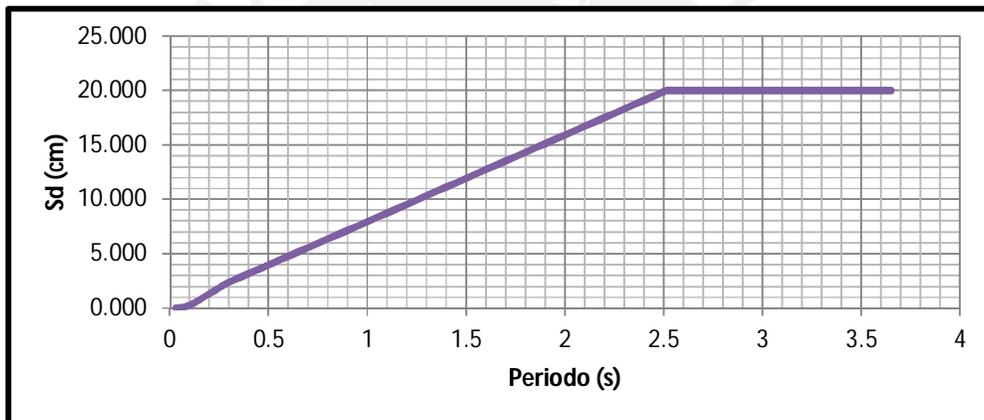


Figura 2.9 Espectro de desplazamiento de la norma chilena en suelos buenos

Como se aprecia en la figura 2.9 para periodos mayores a 2.5 seg. el desplazamiento espectral es constante.

**Norma ASCE 7-10 (E.E.U.U):**

El ASCE- 2010, propone el espectro mostrado en la figura 2.10:

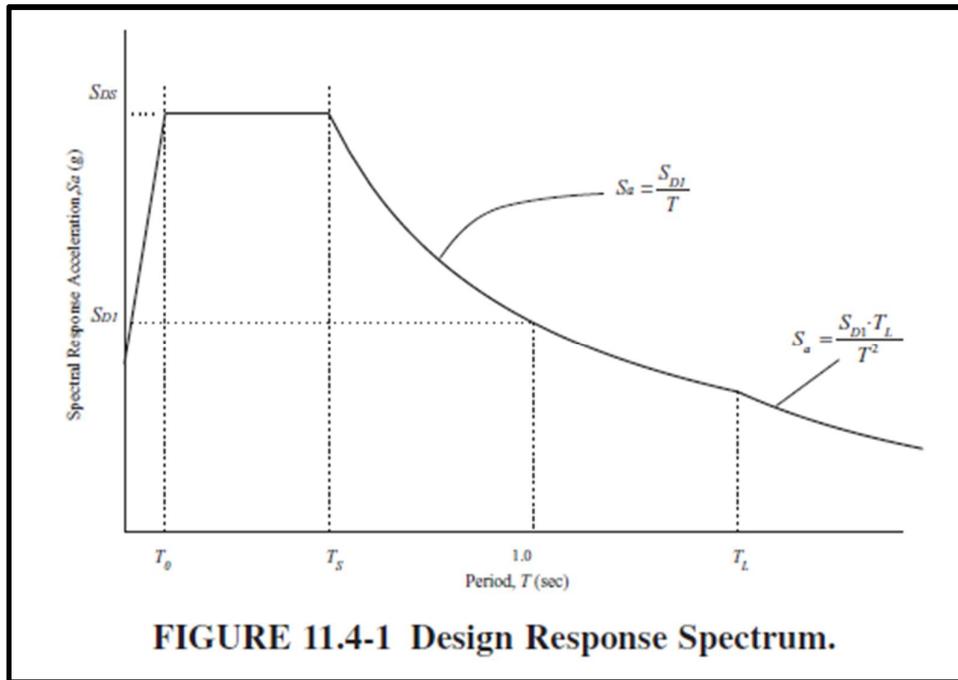


Figura 2.10 Estructura del Espectro de diseño según el ASCE

Para obtener los valores espectrales, se usan factores de amplificación (Fa y Fv) junto a mapas de iso-aceleración espectral (figuras 2.11 y 2.12)

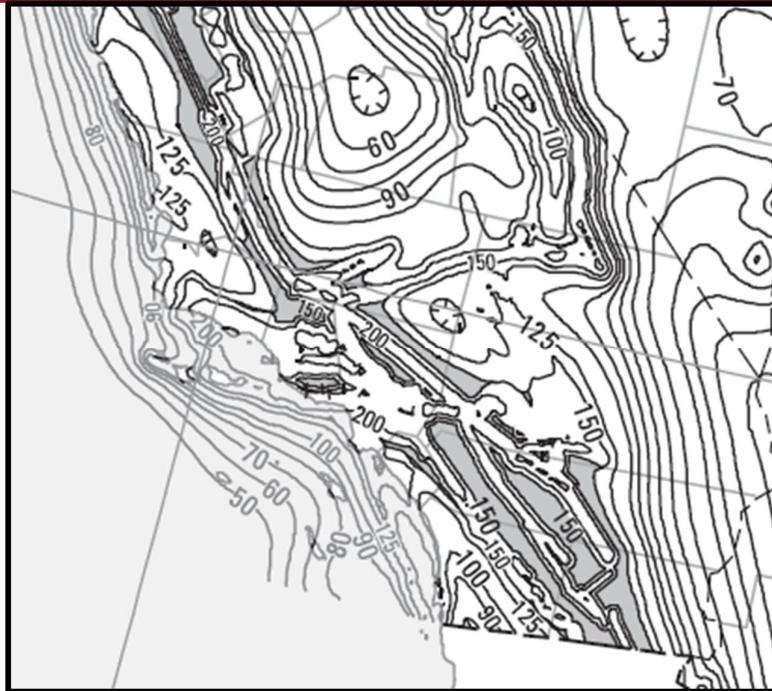


Figura 2.11 Grafica para elección de los valores  $S_I$  y  $S_s$

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake ( $MCE_E$ ) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of  $S_s$ .

Site Class	Mapped Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake ( $MCE_E$ ) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	See Section 11.4.7				

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of  $S_I$ .

Figura 2.12 Tablas con valores de diseño

Las Figuras 2.13 y 2.14, muestran el espectro de aceleración y desplazamiento para que zona en suelos buenos según la ASCE.

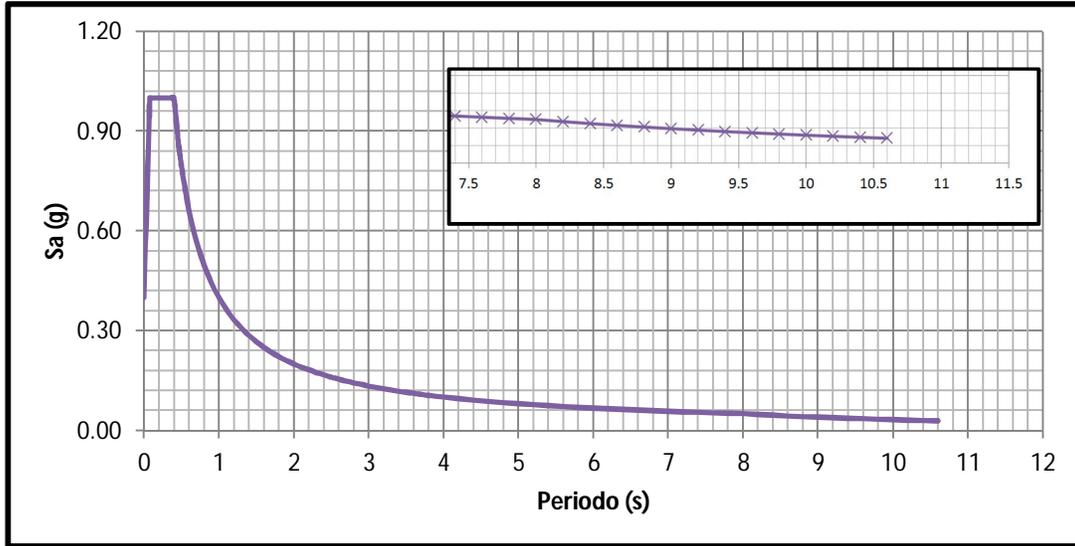


Figura 2.13 Espectro de aceleración de la ASCE para suelos buenos

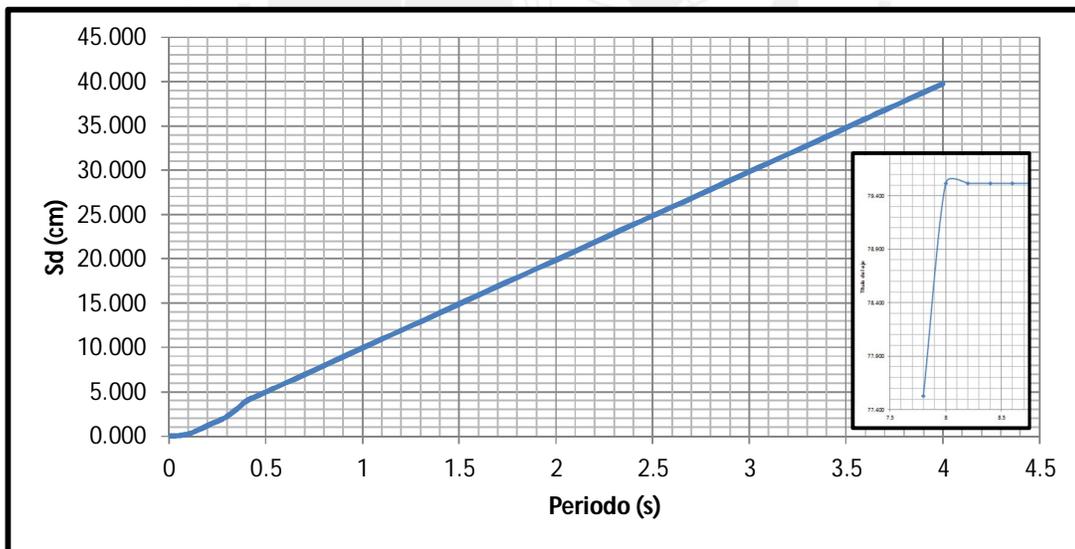


Figura 2.14 Espectro de desplazamientos de la ASCE para suelos buenos

**Norma colombiana:**

En la figura 2.15 se observa la estructura del espectro propuesto (Obtenido del Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10):

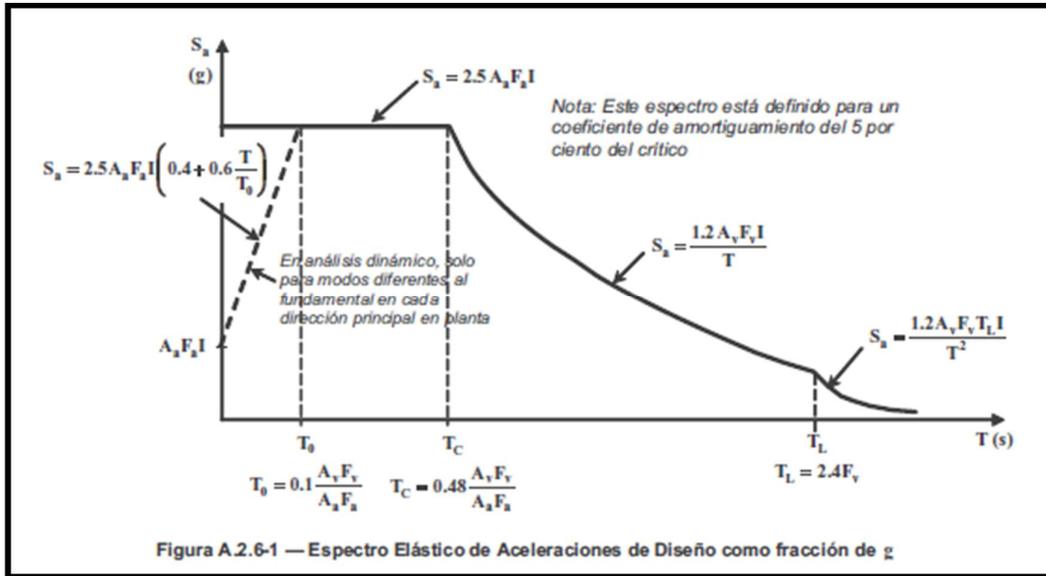


Figura 2.15 Estructuración del espectro de aceleración

Valores de  $A_v$  y  $A_a$  definidos en los siguientes gráficos (Figuras 2.16 y 2.17):

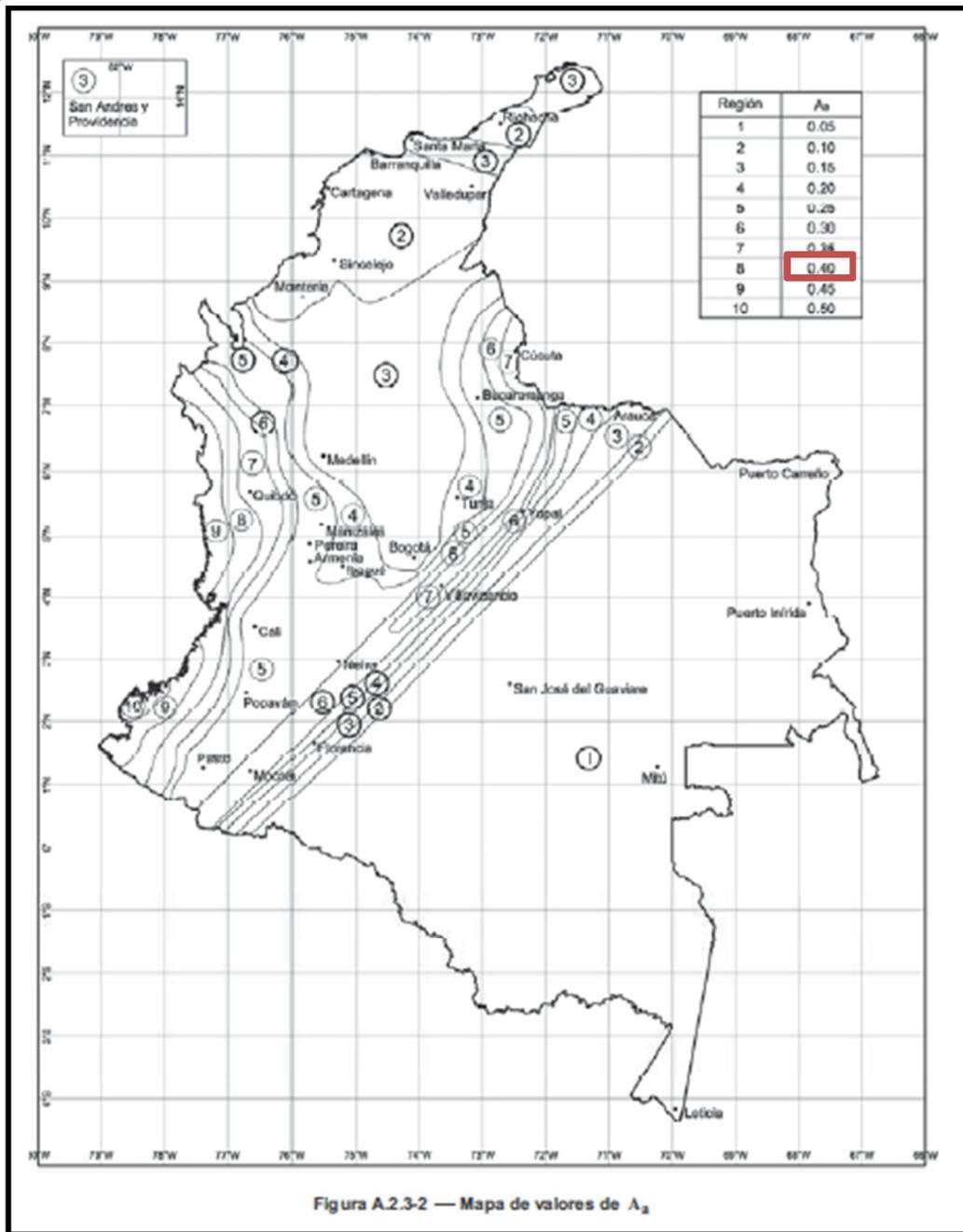


Figura 2.16 Mapa de Valores de  $A_a$

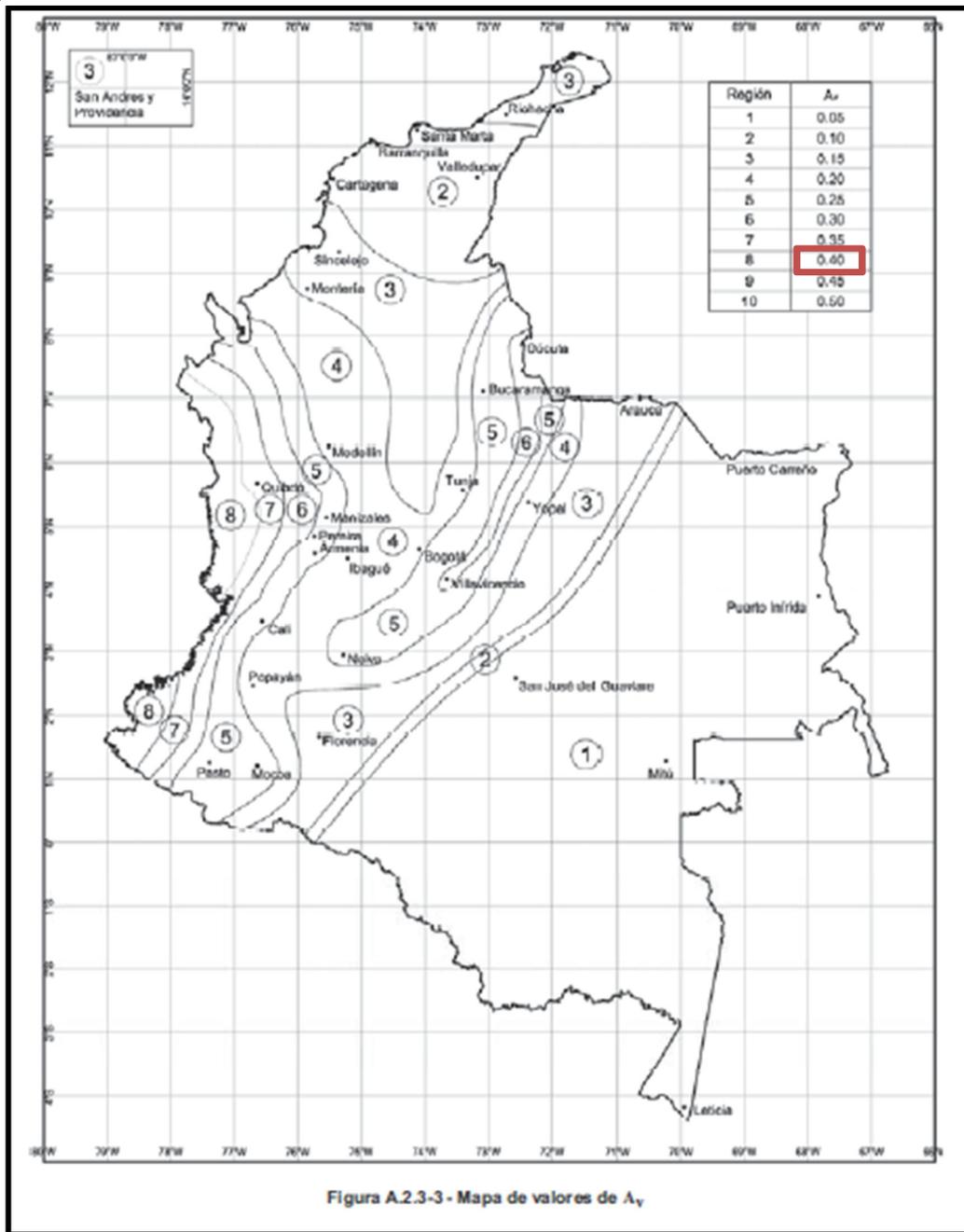


Figura 2.17 Mapa de Valores de  $A_v$

Fa y Fv, dependen del tipo de suelo y de la intensidad del movimiento sísmico. Se obtienen de las tablas que se muestran a continuación (Figura 2.18 y 2.19):

**Tabla A.2.4-3**  
Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Figura 2.18 Valores del Coeficiente Fa

**Tabla A.2.4-4**  
Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Figura 2.19 Valores del Coeficiente Fv

Elección del factor de importancia de la estructura (Figura 2.20)

**Tabla A.2.5-1**  
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Figura 2.20 Valores del Coeficiente de Importancia

Usando los valores escogidos con las fórmulas propuestas en la estructura del espectro (Figura 2.15) se llegan a los siguientes espectros de aceleración y desplazamiento para suelos buenos (Figura 2.21 y 2.22 respectivamente):

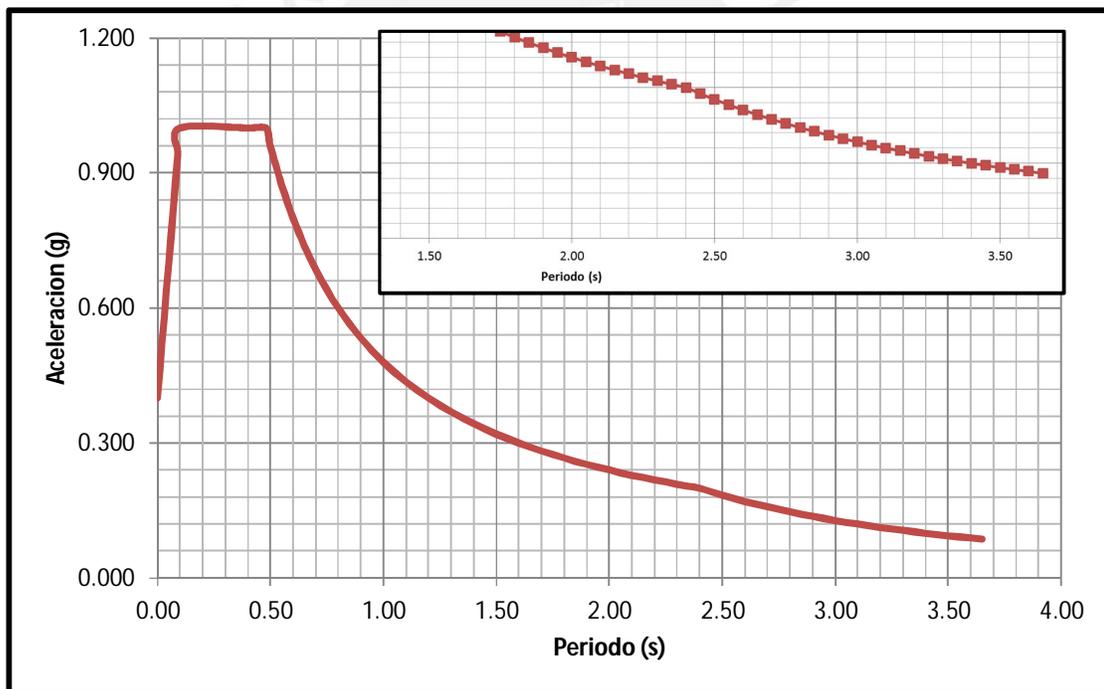


Figura 2.21 Espectro de aceleración de la norma colombiana en suelos buenos

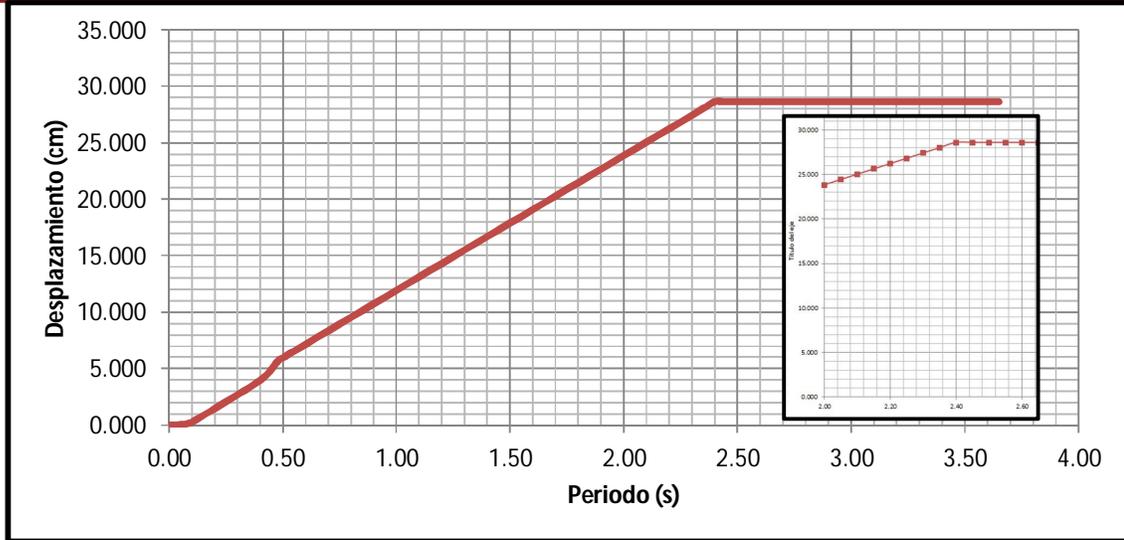


Figura 2.22 Espectro de desplazamiento de la norma colombiana en suelos buenos



## CAPITULO III

### El espectro de desplazamientos de la actual norma peruana de diseño sismo resistente

#### **3.1 Estructura del espectro:**

Se construyó el espectro para suelos buenos en la zona 3, siguiendo las indicaciones de la norma.

Para suelo bueno, se tiene como base los siguientes valores: Factor de zona (Figura 3.1), se escoge la zona 3 en donde el valor de Z es mayor.

ZONA	Z
3	0,4
2	0,3
1	0,15

Figura 3.1 Factores de zona

Al tratarse de suelo bueno, se toma el Tipo de suelo S1 con los valores para  $T_p$  y S mostrados en la Tabla. (Figura 3.2)

Tipo	Descripción	$T_p$ (s)	S
S <sub>1</sub>	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S <sub>2</sub>	Suelos intermedios	0,6	1,2
S <sub>3</sub>	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S <sub>4</sub>	Condiciones excepcionales	*	*

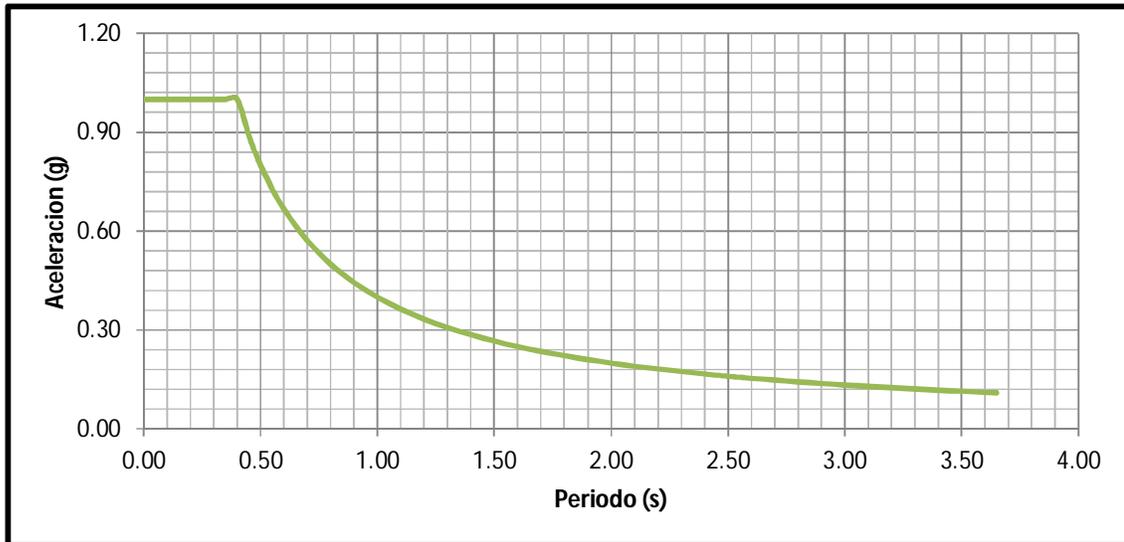
Figura 3.2 Parámetros de Suelo

El valor de C depende del periodo como se muestra en la ecuación.

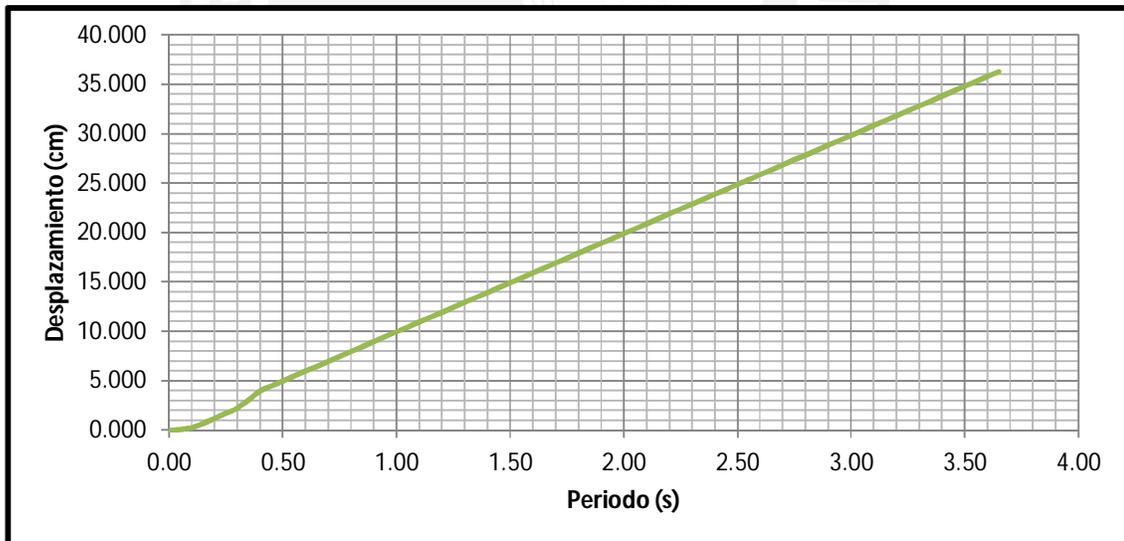
$$C = 2,5 \cdot \left( \frac{T_p}{T} \right); C \leq 2,5$$

Ecuación 3.1 Factor de amplificación sísmica

Espectros de aceleración y desplazamiento de la Norma Técnica E 0.30 para suelos buenos en la zona 3 (Figura 3.3 y 3.4)



3.3 Actual espectro de aceleración de la norma peruana para suelos buenos



3.4 Actual espectro de desplazamiento de la norma peruana para suelos buenos

### 3.2 Comparación registros peruanos con la norma:

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran los espectros de la norma peruana junto a la señal del sismo del 15 de agosto 2007 registrada en la Universidad Nacional de Ingeniería sobre suelo bueno.

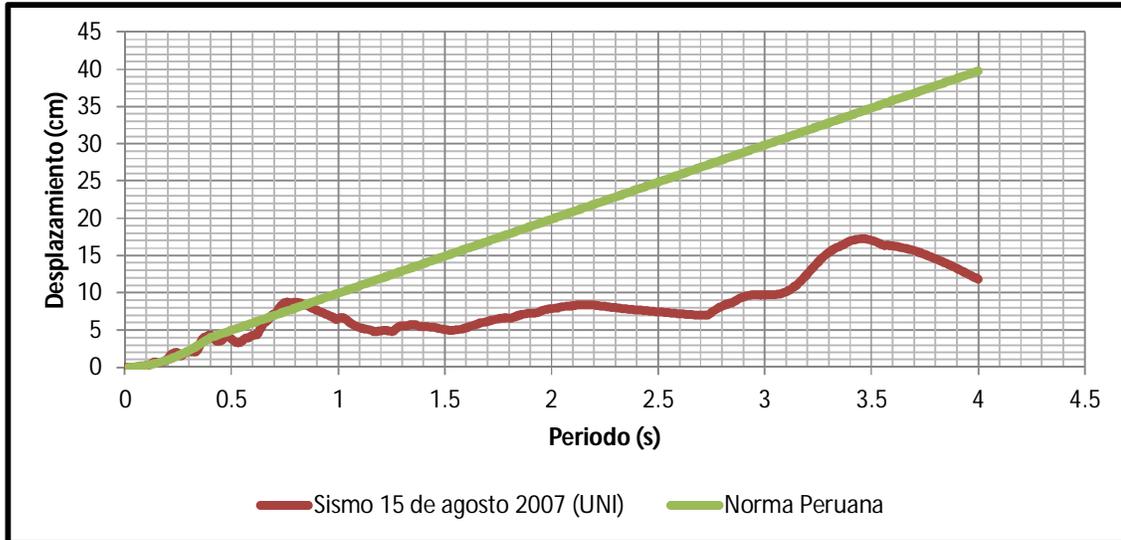


Figura 3.5 Comparación espectro de desplazamiento de la actual norma peruana vs la señal de sismo del 15 de Agosto del 2007 (UNI)

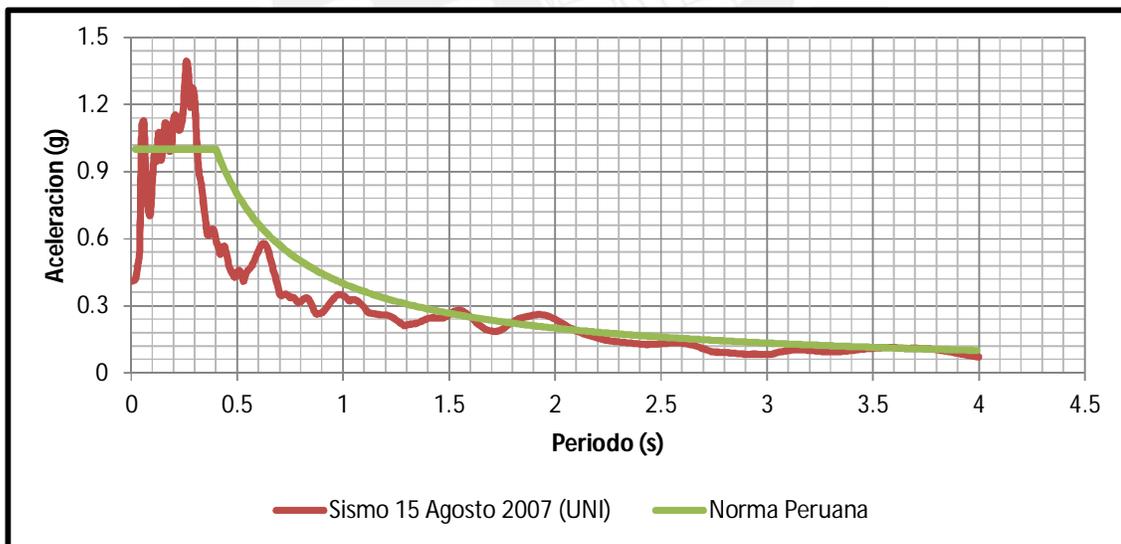


Figura 3.6 Comparación espectro de aceleración de la actual norma peruana con señal de sismo del 15 de Agosto del 2007 (UNI)

Como se observa en las figuras 3.5, a partir de periodos mayores a 1.5 s, los valores del espectro difieren de sobremanera respecto a la señal mostrada, es por esto que se afirma que el espectro no contempla periodos largos y he ahí la necesidad de representar el espectro para este tipo de periodos.

### 3.3 Espectros de desplazamiento de las normas extranjeras:

Se realizará una comparación entre el espectro peruano y los espectros de códigos extranjeros. (Chile, Colombia y EE.UU.).

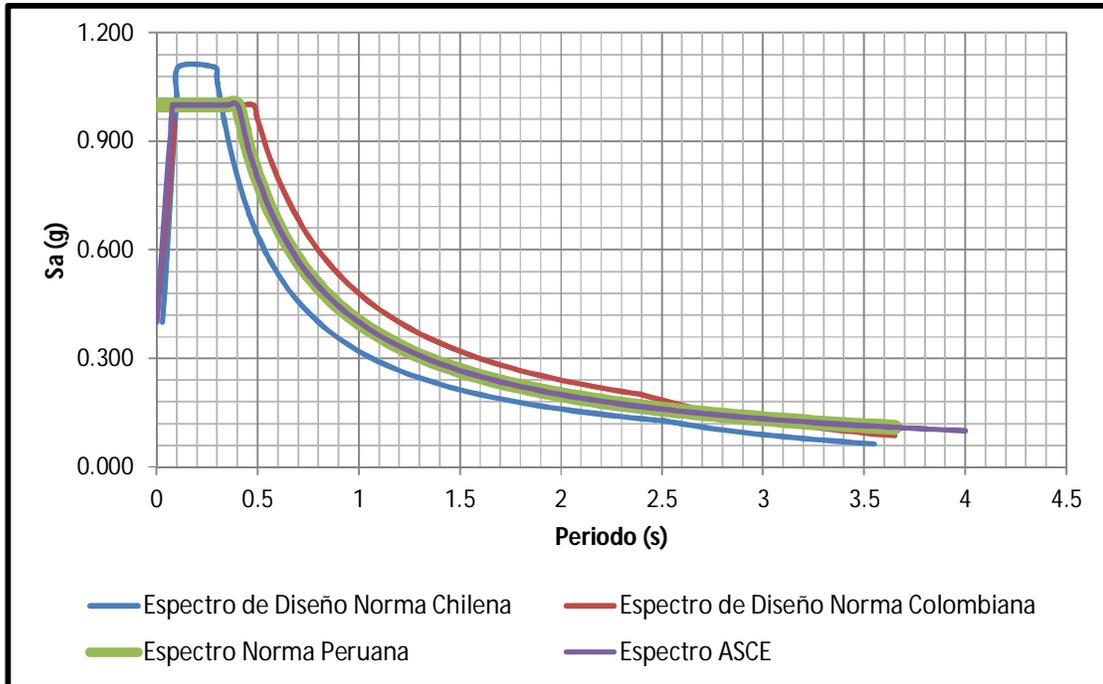


Figura 3.7 Comparativo espectro de aceleraciones en Normas Extranjeras

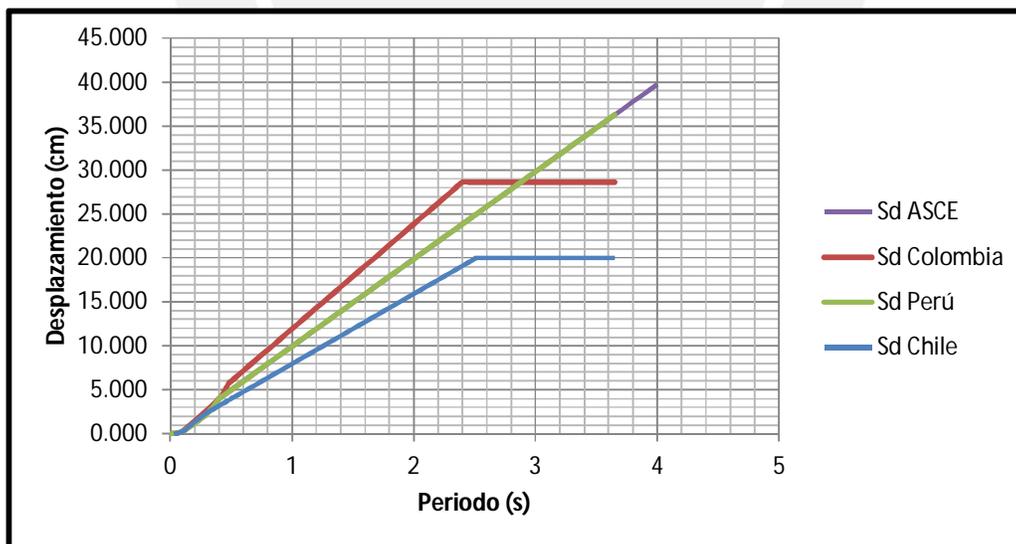


Figura 3.8 Comparativo espectro de desplazamientos en Normas Extranjeras

Se observa claramente los puntos de quiebre propuestos por los 3 códigos extranjeros para la zona de desplazamientos.

En el espectro de desplazamiento (Figura 3.8) se encuentra más definida la zona de desplazamiento constante.

En el caso del ASCE (EEUU), el punto de quiebre propuesto se encuentra aproximadamente en 8 segundos, para casos prácticos de esta tesis, tomaremos periodos de hasta 4 segundos.

En cuanto a la norma peruana, como se mostro antes, es posible generar un quiebre en el espectro de desplazamiento tomando como referencia sismos pasados

En el siguiente capítulo se desarrolla una propuesta para una zona de desplazamiento constante.



## CAPITULO IV

Propuesta del espectro de diseño para la zona de desplazamientos**4.1 Metodología de trabajo**

Se obtuvieron los registros de los sismos importantes ocurridos a la fecha. Luego se procesaron a través del programa de cómputo Seismo Signal y se obtuvieron los espectros de aceleración y los espectros de desplazamientos. Se realizaron las gráficas de los espectros de desplazamiento promedio y desplazamiento promedio más desviación estándar. Finalmente se propusieron curvas sencillas para la zona de desplazamiento.

**4.2 Obtención de información**

Se trabajaron con los registros mostrados en la siguiente tabla:

AÑO	ACELERACIÓN MÁXIMA (g)	EPICENTRO	ESTACIÓN DE REGISTRO	CODIGO
17/10/1966	0.274	Lima	Instituto Peruano Geofísico	1966
31/05/1970	0.106	Ancash	Instituto Peruano Geofísico	1970
03/10/1974	0.196	Lima	Instituto Peruano Geofísico	1974
15/08/2007	0.080	Pisco	La Molina	2007MOLEO
15/08/2007	0.075	Pisco	Jorge Alva Hurtado	2007UNIEO
15/08/2007	0.055	Pisco	Consejo Departamental de Lima	2007CIPEO
15/08/2007	0.277	Pisco	Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica	2007ICAE0

### 4.3 Procesamiento y clasificación de señales sísmicas

Algunas señales se procesaron con el programa SeismoSignal para hacer correcciones de línea base y filtrado de frecuencias. La figura 4.1 muestra la historia de aceleración, velocidad y desplazamiento correspondientes al registro sin corregir 2007ICAEO.

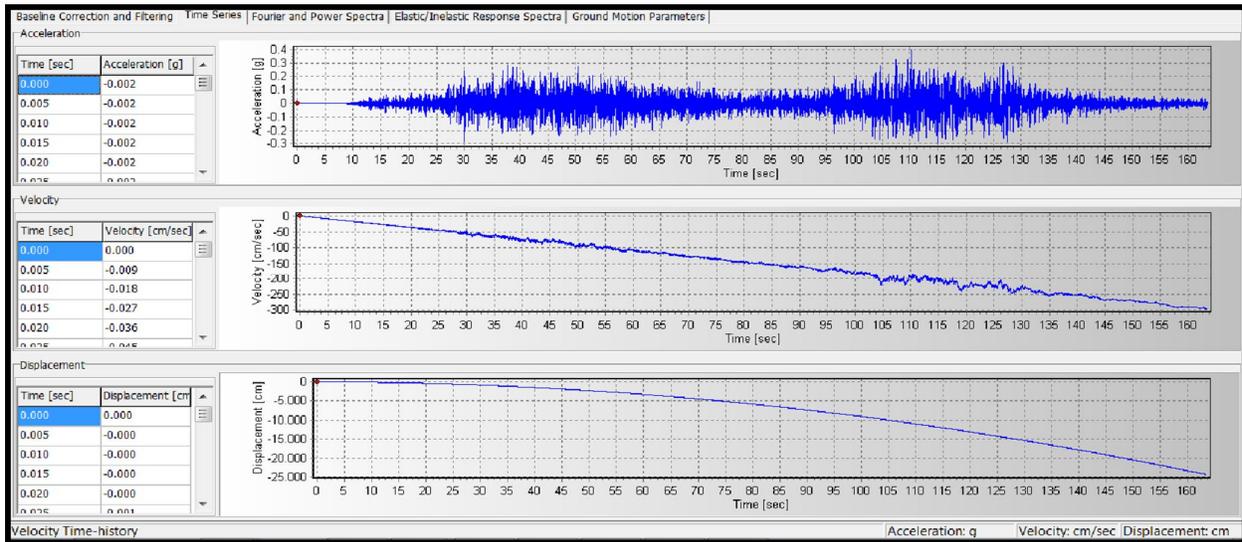


Figura 4.1 La imagen muestra al registro sin corrección de base ni filtrado.

Luego de hacer el filtrado y escalamiento se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 4.2.

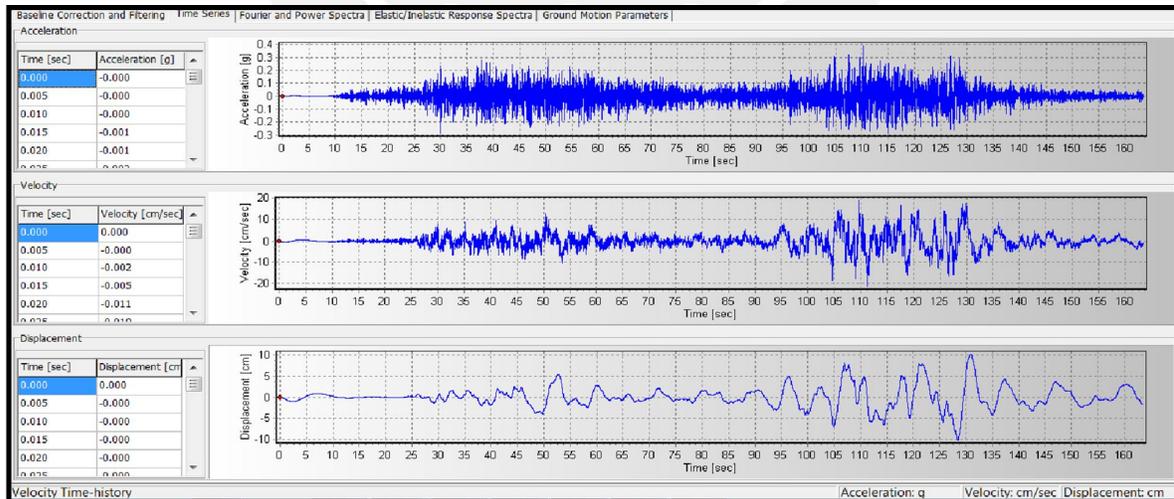


Figura 4.2 Imagen correspondiente a la señal anterior pero esta vez filtrada.

Obsérvese que al realizar el proceso de filtrado (el cual consiste en eliminar las ondas sísmicas que se atenúan a lo largo del registro ya que estas alteran la información a estudiar), el valor de la velocidad para periodos largos es aproximadamente cero.

Todas las señales corregidas se escalaron a 0.40 g y se emplearon para calcular los espectros de aceleración y desplazamiento.

La figura 4.3 y 4.4 muestran los espectros de aceleración y espectro de desplazamiento del registro 1970-7005N82.

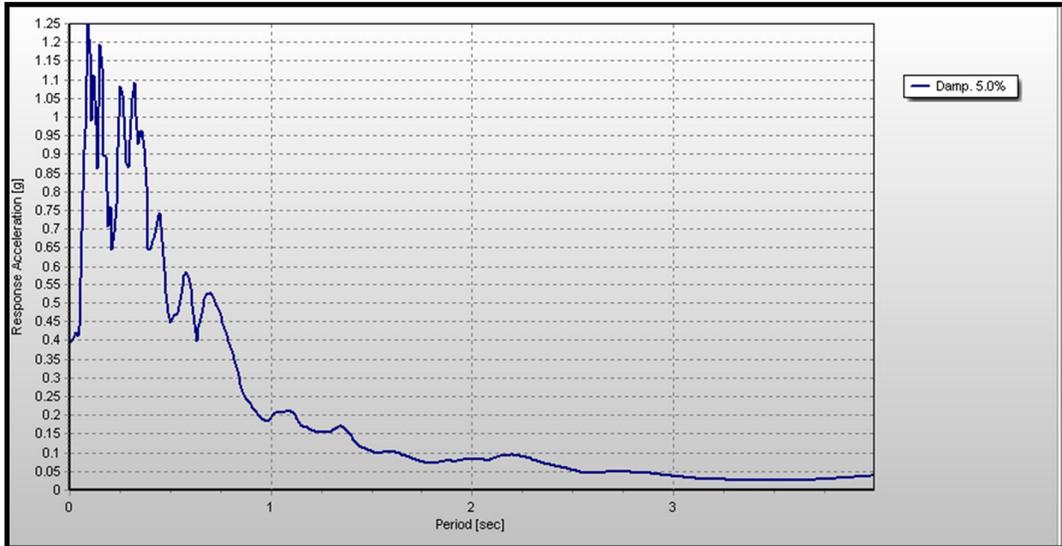


Figura 4.3 Espectro de aceleraciones correspondiente al registro 1970-7005N82

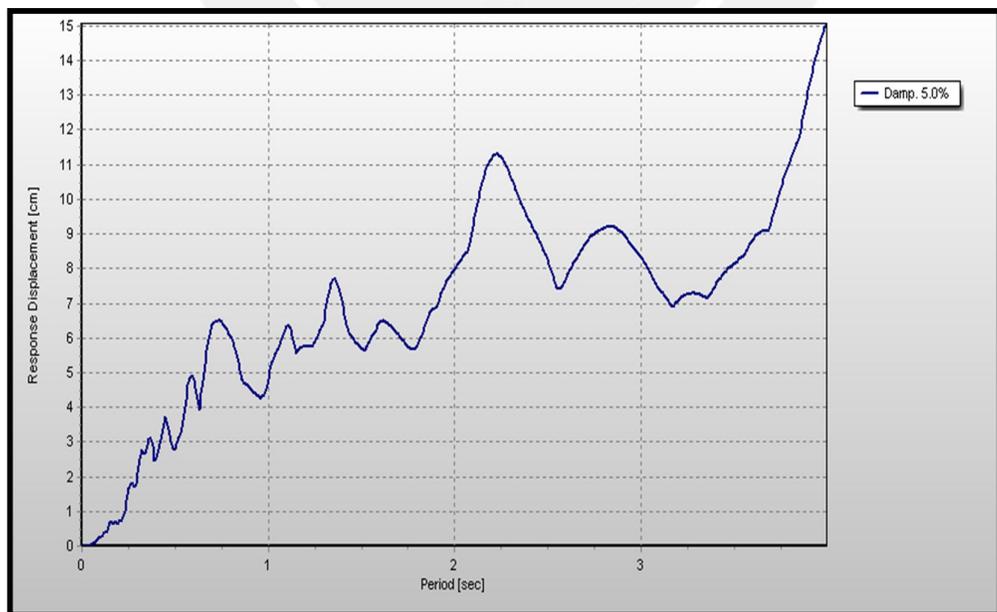


Figura 4.4 Espectro de desplazamientos del registro 1970-7005N82.

### Clasificación de las señales por tipo de suelo

La clasificación del registro se hizo identificando la mayor similitud del espectro obtenido con los espectros de la norma peruana de diseño sismo resistente correspondiente a los tres tipos de suelo.

La figura 4.5 muestra el espectro de la señal del sismo 5 de mayo de 1970 junto a los tres espectros de la norma peruana. Este registro se clasificó como de suelo tipo I.

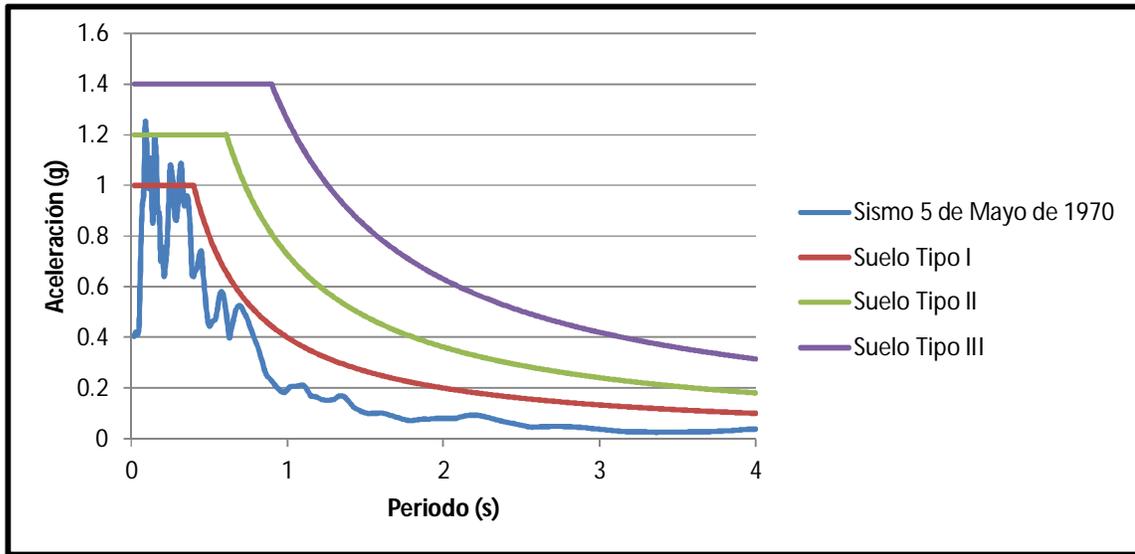


Figura 4.5 señal del sismo 5 de mayo de 1970 vs Espectros de la norma actual (3 tipos de suelo)

La figura 4.6 muestra el espectro de una señal que se clasificó como de tipo III. Espectro de aceleraciones correspondiente al sismo del 15 de agosto del 2007, registrada en Ica.

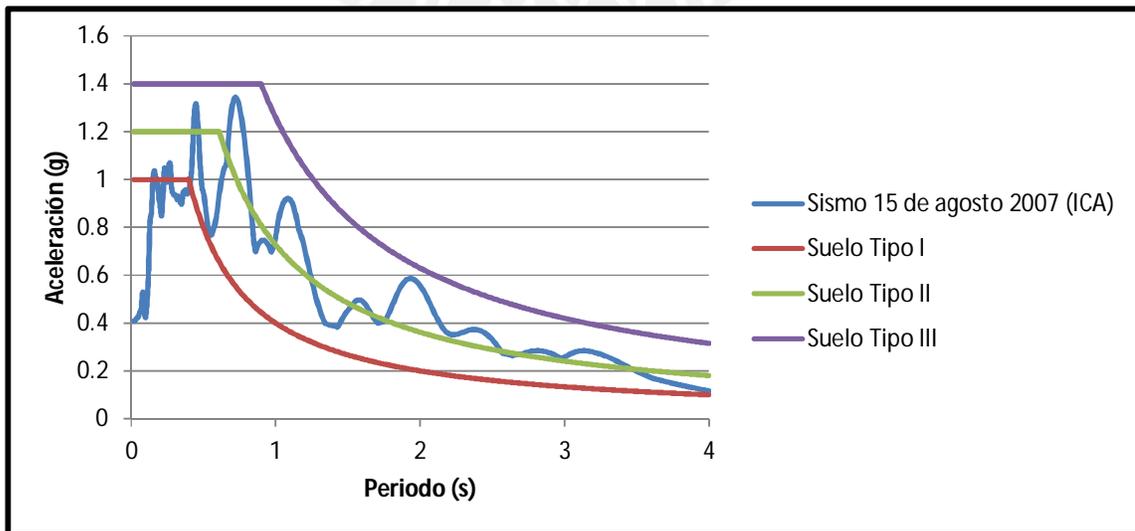


Figura 4.6 Señal 15 de Agosto del 2007 vs Espectros de la norma actual (3 tipos de suelo)

#### 4.4 Obtención de los Espectros Promedio

Con los espectros para cada tipo de suelo se obtuvieron los espectros “promedio aritmético (PA)” y “promedio mas una desviación” (PMD). Las figuras 4.7 y 4.8 muestran los espectros de desplazamientos PA y PMD correspondientes a suelo tipo I y III

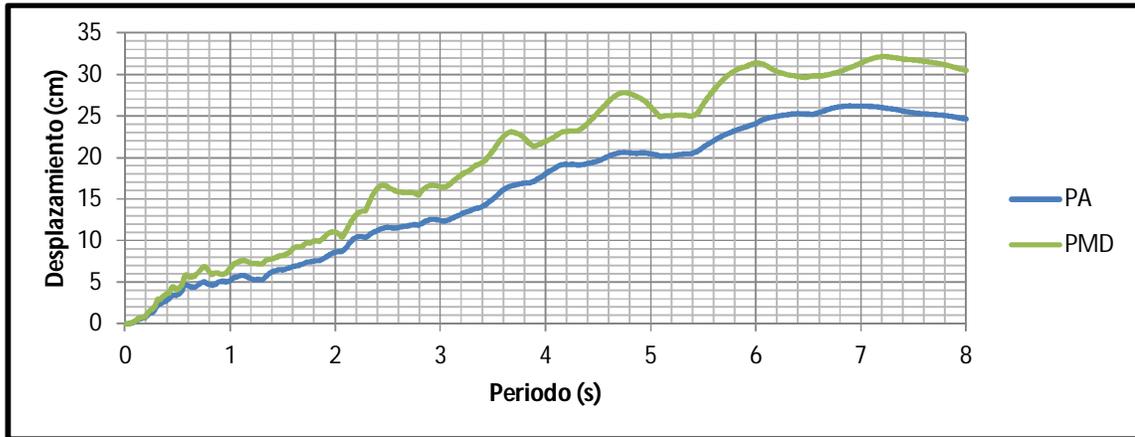


Figura 4.7 Correspondiente a los espectros de desplazamiento PA y PMD para suelo tipo I.

**Suelo Malo:**

Se muestra la el espectro de desplazamientos para promedios y promedios más desviación estándar de los registros seleccionados.

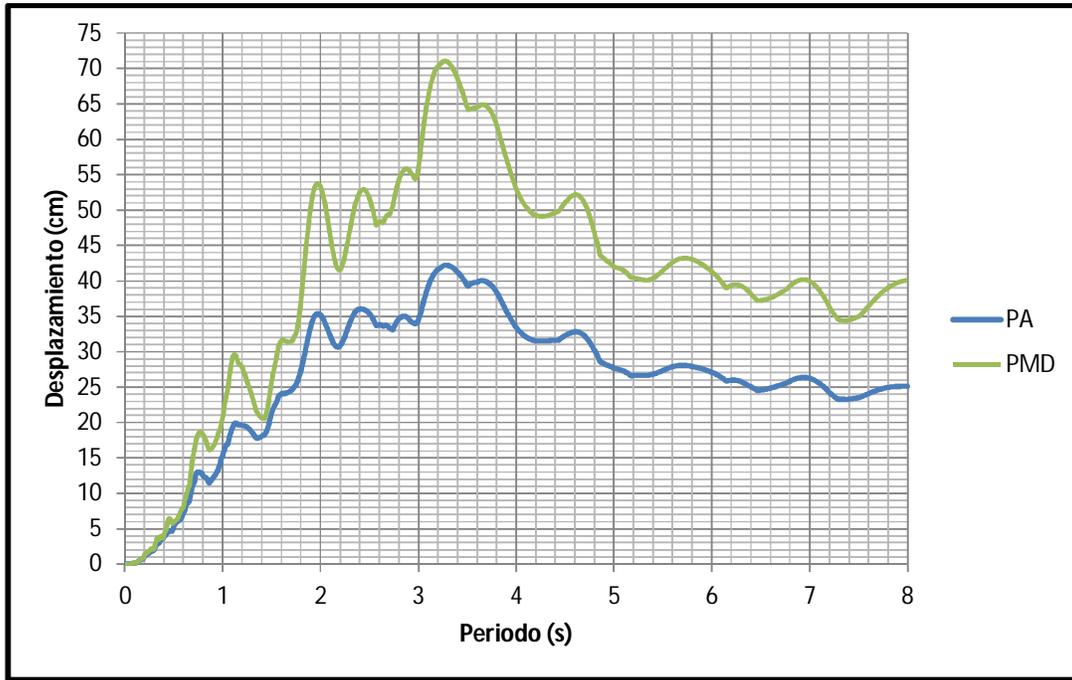


Figura 4.8 correspondiente a los espectros de desplazamiento PA y PMD para suelo tipo III.

**4.5 Propuesta de espectros de desplazamiento**

Las figuras 4.9 y 4.10 muestran los espectros promedio junto a los de la NTE.030 para suelos Tipo I y III

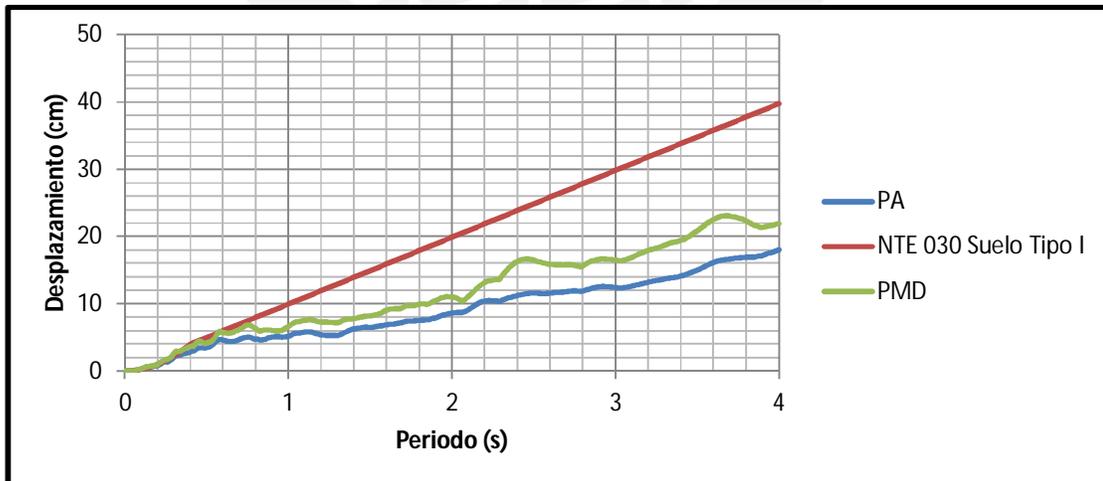


Figura 4.9 Gráfico comparativo

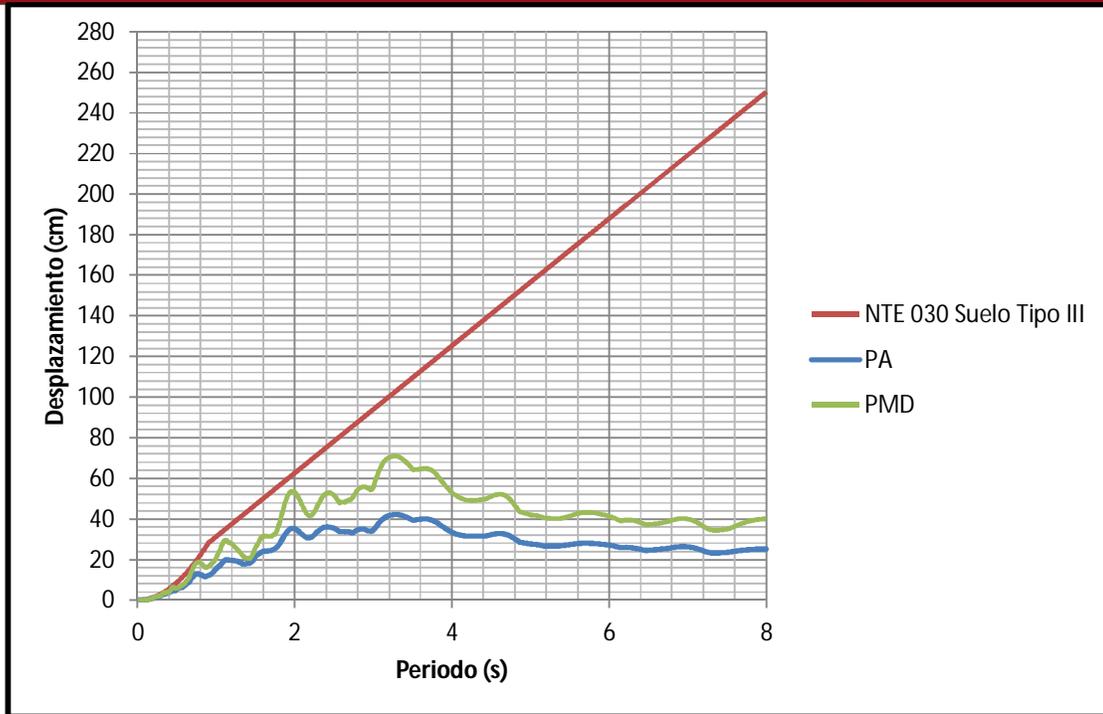


Figura 4.10 Gráfico comparativo

Para ambos tipos de suelo, se observa que el espectro de desplazamientos de la NTE-030 tiene valores muy por encima de los valores espectrales correspondientes a los espectros promedio (hasta en 100 % para la zona de 3 a 4 segundos).

En este trabajo se propone emplear una zona de desplazamientos espectrales constantes para periodos largos

La figura 4.11 muestran el tramo de desplazamiento constante sugerido para suelo tipo I, a partir de 2.5 seg.

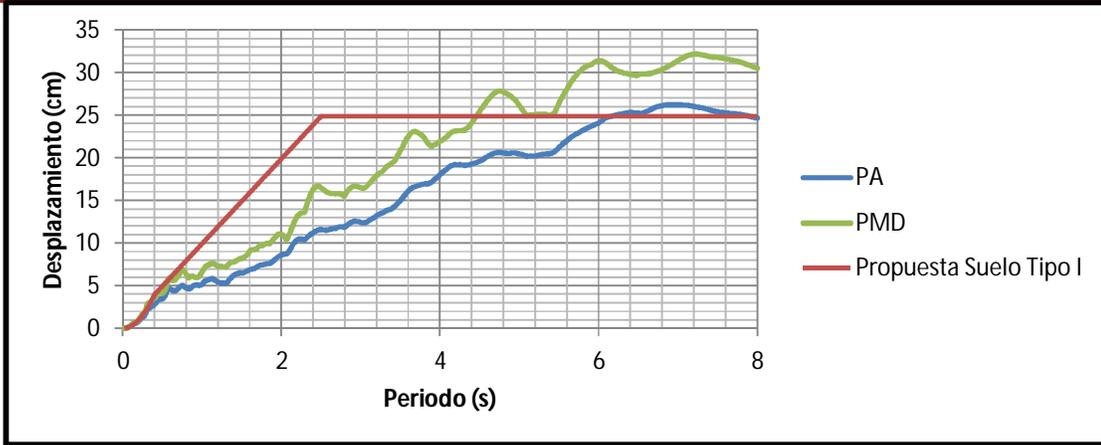


Figura 4.11 Se muestra la propuesta de posible espectro desplazamiento.

Para el caso de suelo Tipo III el tramo constante sugerido empieza en 1.50seg como se muestra en la figura 4.12.

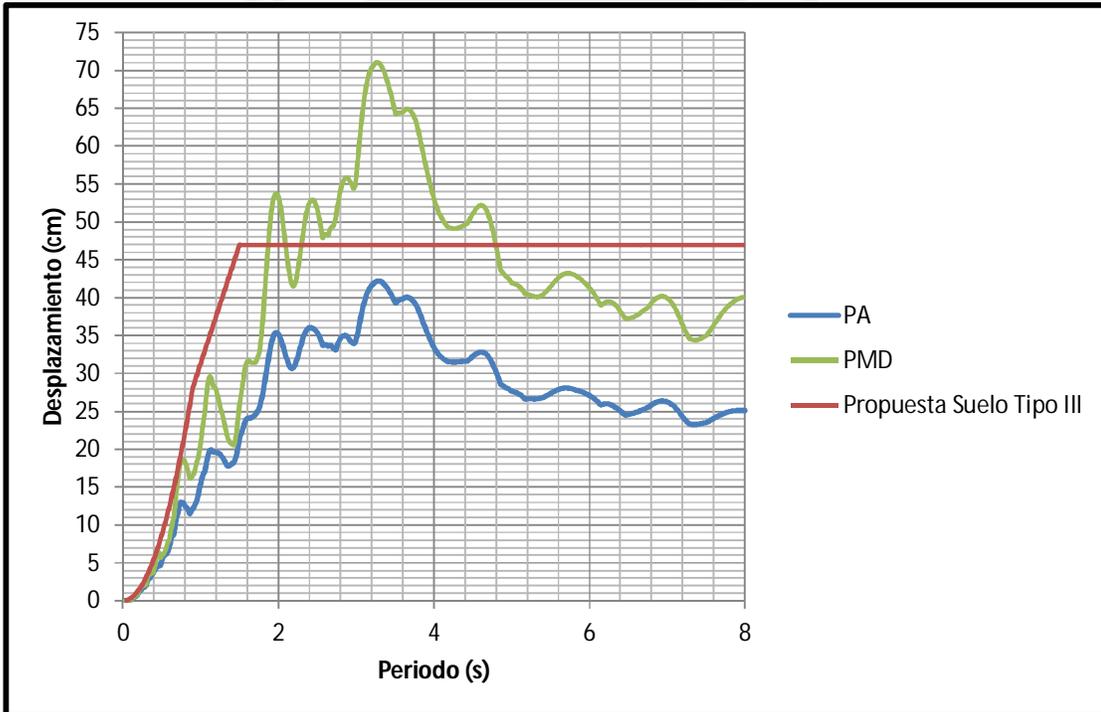


Figura 4.12 Se muestra la propuesta de posible espectro desplazamiento.

#### 4.6 Propuesta de espectros de aceleración

Con los espectros de desplazamiento calculados, se puede construir el espectro de aceleración. En particular para los tramos de desplazamiento constante, los tramos del espectro de aceleración tienen una variación en  $1/T^2$ .

Las figuras 4.13 y 4.14 muestran los espectros de aceleración propuestos para los Suelos Tipo I y III.

##### Suelo Tipo I

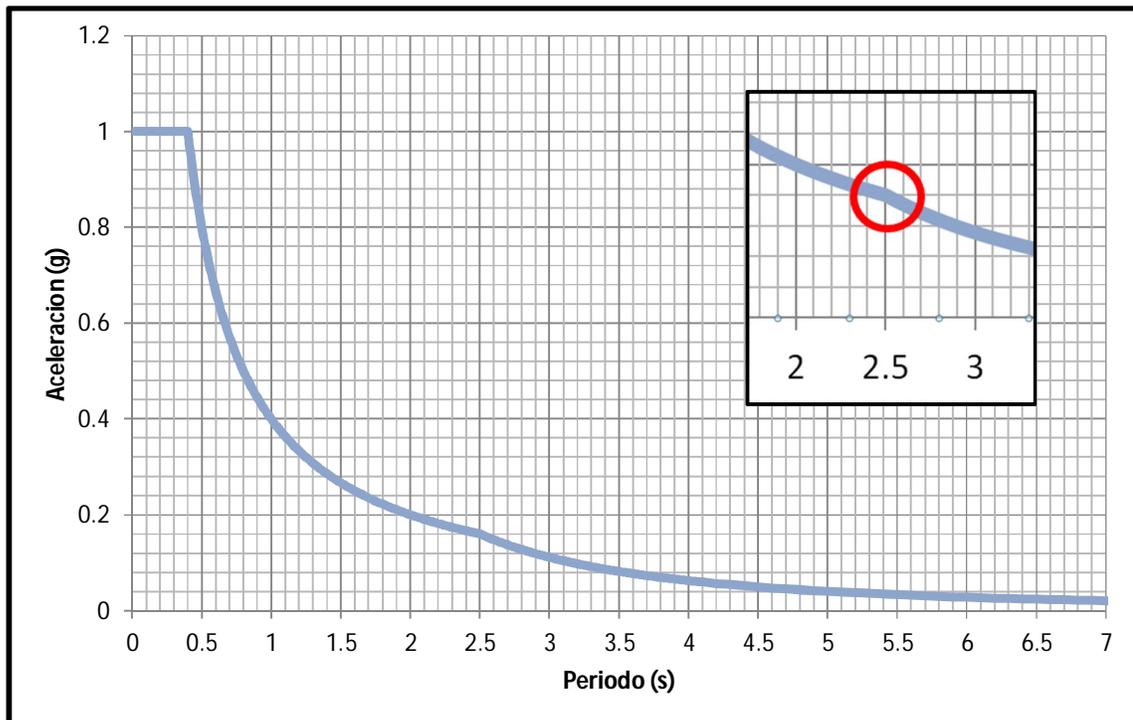


Figura 4.13 Espectro de Aceleración propuesto para la norma peruana.

**Suelo Tipo III**

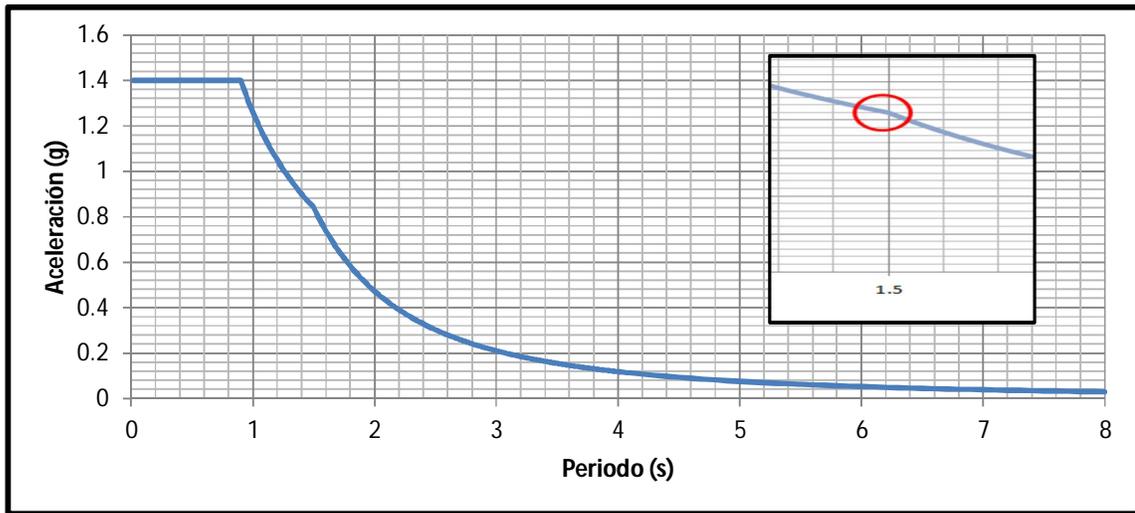
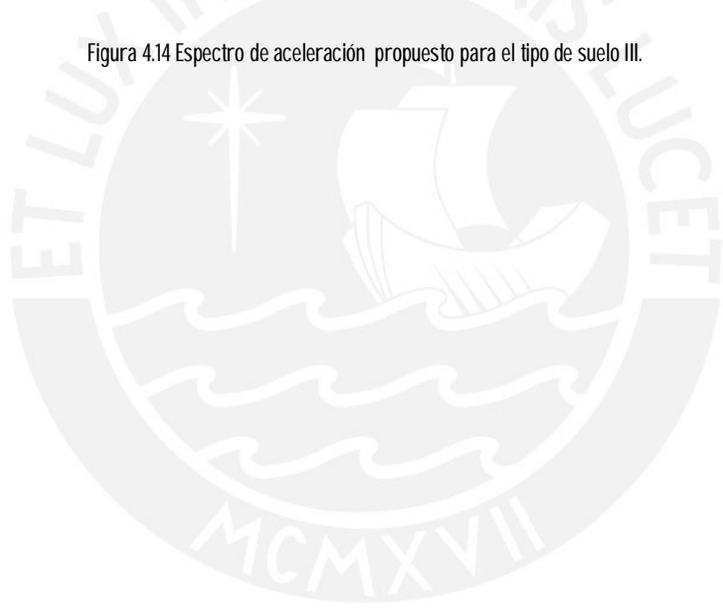


Figura 4.14 Espectro de aceleración propuesto para el tipo de suelo III.



## CAPITULO V

### Conclusiones

- En el país no se cuenta con un banco de registros de aceleración adecuadamente organizado. La información disponible se encuentra en las páginas de internet del Instituto Geofísico del Perú, el CISMID y en la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- No existe información clara respecto a las características del suelo en que se han registrado la mayoría de nuestros acelerogramas. (Falta de información para agrupar las señales por tipo de suelo, no estaban bien definidos los tipos de suelo en las señales captadas y poca información)
- El tipo de suelo II no se tomo en cuenta para la presente tesis puesto que no se contaba con la información necesaria para poder afirmar que la señal obtenida había sido tomada en suelo con las características propias del Tipo II.
- Al identificar que los desplazamientos en el espectro seguían en aumento conforme el periodo de la estructura aumentaba, esto comparándolo con lo que pasa en la realidad (procesando las señales de sismos ocurridos) se llegó a la conclusión que el espectro peruano no estaba adecuado para este tipo de estructuras.
- Conforme el periodo de la estructura va en aumento, el desplazamiento de esta tiende a estabilizarse para llegar al punto de ir casi constante.
- En el espectro propuesto en la norma, para tipos de suelo I y III, tienen un discrepancia respecto a las señales procesadas de alrededor de 54% y 60% respectivamente, tomando un periodo de alrededor de 1.50seg.
- El códigoASCE -07 establece como punto de inicio para la zona de desplazamientos valores cercanos a los 10 segundos. En el presente estudio se sugieren valores de 1.50 a 2.50.

- Para construir los espectros de diseño se estudiaron dos procedimientos. El método de Newmark & Hall y el método basado en el procesamiento estadístico de los espectros de señales registradas.
- El método de Newmark & Hall, propone la construcción de espectros en base a los valores máximos del movimiento del suelo junto a factores de amplificación en cada zona del espectro. No fue posible emplear este método ya actualmente en el país no se cuenta con una estimación apropiada para los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo.
- Para este trabajo se empleo el método de procesamiento estadístico de los espectros de respuesta correspondientes a las principales señales de aceleración compiladas.
- Para elegir el espectro en periodos largos correspondiente a los tipos de suelo I y III se tomo un punto intermedio entre el “promedio aritmético (PA)” y el promedio mas una desviación” (PMD) de los valores espectrales, los cuales nos dieron como resultado un valor de 2.50seg para el tipo de suelo I y de 1.50seg para el Tipo de Suelo III.
- El criterio adoptado, fue corroborado con los periodos tomados en los códigos extranjeros para tipos de suelo similares.
- Para el espectro propuesto, en estructuras en Suelo Tipo I, el desplazamiento se mantendría constante alrededor de los 25cm, comparando este valor con los propuestos en la norma chilena y colombiana, 20 cm y 28 cm respectivamente, el valor sustentado en esta tesis se encontraría cercano a lo propuesto por otros códigos.
- En estructuras en suelo Tipo III, el desplazamiento propuesto llega alrededor de los 47 cm, comparando este valor con el descrito en la norma Chilena y Colombiana, los cuales son 34 cm y 158 cm respectivamente, tendríamos un valor intermedio.

- Se espera que con la propuesta de los espectros de diseño, se afinen los cálculos y se asuman de una mejor manera los desplazamientos que se presentan en las estructuras de periodos largos.
- Actualmente, el espectro de aceleraciones de la norma sismo resistente peruana no cuenta con una adecuada calibración en la zona de desplazamientos, ya que para esta zona, las aceleraciones espectrales se reducen entre  $T$  debiendo reducirse entre  $T^2$ .
- El espectro de la norma peruana tiene más del 100 % en discrepancia en desplazamiento respecto a los registros empleados en este trabajo.



## CAPITULO VI

Bibliografía

- MUÑOZ PELAEZ, JUAN ALEJANDRO, Apuntes del curso Ingeniería Antisísmica1, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima 2008.
- RIDDELL R. Y NEWMARK N. M, Statistical analysis of the response of nonlinear systems subjected to earthquakes, University of Illinois, Department of civil engineering, Urbana Illinois 1979.
- NEWMARK N. M y Hall W.J, Earthquake spectra design, University of California, Department of civil engineering, California 1982.
- Norma Chilena Oficial Nch2745.Of2003 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, Instituto nacional de normalización (INN), Chile 2003
- Norma Chilena Oficial Nch433.Of96 Diseño sísmico de edificios, Instituto nacional de normalización (INN), Chile 1996.
- Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers (ASCE), E.E.U.U 2010.
- Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismo resistente, Perú 2007
- Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, Colombia 2010.
- Reglamento Nacional de construcción RNC-07, Dirección general de normas de construcción y desarrollo urbano, Nicaragua 2007.