

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## **CAPÍTULO I.- IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

RESUMEN.	1
1.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA.	2
1.2 PÉRDIDAS DEJADAS POR LOS SISMOS.	4
1.3 NECESIDAD DE EVALUACIÓN RÁPIDA.	5

## **CAPÍTULO II.-METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN RÁPIDA DEL DRIFT.**

RESUMEN.	9
2.1 INTRODUCCIÓN.	10
2.2 METODOLOGÍA PROPUESTA POR FEMA (1997).	10
2.3 METODOLOGÍA PROPUESTA POR MIRANDA (1997).	14
2.4 METODOLOGÍA PROPUESTA POR GUPTA Y KRAWINKLER (2000).	18
2.5 NECESIDAD DEL ESTUDIO.	20

## **CAPÍTULO III.- BASE DE DATOS Y ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO**

RESUMEN	22
3.1 DESCRIPCIÓN DE BASES DE DATOS SÍSMICOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.	23
3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SSA2EVT.	26
3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMA KW2ASC32.	29
3.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PEGACEL.	31
3.1.3 CÓDIGOS FUENTE DEL PROGRAMA PEGACEL.	40
3.2 VENTAJA DE UTILIZAR ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO.	41
3.3 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE COLOMBIA.	43
3.4 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE PERÚ.	48
3.5 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE CHILE.	56
3.6 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE ARGENTINA.	71

## **CAPÍTULO IV.- ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO**

RESUMEN	76
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE HISTÉRESIS.	77
4.2 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO	80
4.2.1 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE COLOMBIA.	81
4.2.2 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE PERÚ.	86

4.2.3 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE CHILE.	94
4.2.4 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE ARGENTINA.	108
<b>CAPÍTULO V.- RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO INELÁSTICO Y MÁXIMO ELÁSTICO.</b>	
RESUMEN	114
5.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.	115
5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEGTRA A4	116
5.2 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE COLOMBIA.	122
5.3 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE PERÚ.	127
5.4 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE CHILE.	135
5.5 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE ARGENTINA.	150
<b>CAPÍTULO VI.- AJUSTE DE CURVAS Y RESULTADOS</b>	
RESUMEN.	155
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA MATH GRAPHER.	156
6.2 RESULTADOS MEDIOS POR CADA PAÍS.	162
6.2.1 RESULTADOS MEDIOS PARA COLOMBIA	163
6.2.2 RESULTADOS MEDIOS PARA PERÚ	164
6.2.3 RESULTADOS MEDIOS PARA CHILE	165
6.2.4 RESULTADOS MEDIOS PARA ARGENTINA	166
6.3 RESULTADOS GLOBALES Y AJUSTE DE CURVAS.	167
6.3.1 AJUSTE DE CURVAS PARA $\beta_3$ USANDO UN MODELO ELASTO PLÁSTICO PERFECTO ( $\alpha=0$ ).	170
6.3.2 AJUSTE DE CURVAS PARA $\beta_3$ USANDO UN MODELO ELASTO PLÁSTICO CON RIGIDEZ POST FLUENCIA DEL 5% ( $\alpha=5\%$ ).	173
<b>CAPÍTULO VII.- RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO: INELÁSTICO A ELÁSTICO EN LA EVALUACIÓN DEL DRIFT.</b>	
RESUMEN	176
1. INTRODUCCIÓN	178
2. DESPLAZAMIENTO INELÁSTICO	181
3. REGISTROS SÍSMICOS	186
4. VALORES MEDIOS	186
5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR	188
6. AJUSTE DE CURVAS	189
CONCLUSIONES	192

## **CAPÍTULO VIII.- COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

RESUMEN.	195
8.1 COMENTARIOS.	196
8.1.1 SISMOS IMPULSIVOS	196
8.2.1 DESVIACIÓN ESTÁNDAR	203
8.2 CONCLUSIÓN	206
8.3 RECOMENDACIONES	207

## EXTRACTO

Se presenta una relación entre el desplazamiento lateral máximo inelástico con respecto al desplazamiento lateral máximo elástico, en sistemas de un grado de libertad, la misma que sirve para evaluar en forma rápida la deriva máxima de piso. Para obtener esta relación se trabajó con 63 acelerogramas de eventos registrados en América del Sur y cuya aceleración máxima del suelo fue mayor a 0.10 veces la aceleración de la gravedad.

## *EXTRACT*

A relationship between the maximum inelastic and elastic lateral displacements, in single degree of freedom systems, is presented to evaluate the maximum lateral drift. To obtain this relationship it has been worked in 63 accelerographs of south America's events whose maximum acceleration was 0.1 of g.



# **CAPÍTULO I**

## **IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

### **RESUMEN**

Se presenta una descripción de la peligrosidad sísmica en los países de América del Sur, haciendo énfasis en los de la costa del Océano Pacífico. Se hace referencia a los sismos más significativos que han afectado a los países antes mencionados y sus daños se cuantifican en pérdidas humanas y económicas.

Se describe además cómo los movimientos sísmicos afectan a las estructuras y los diferentes tipos de ondas que un movimiento sísmico produce. Finalmente se resalta la importancia del estudio de los eventos sísmicos y de la evaluación rápida de sus efectos en las estructuras.

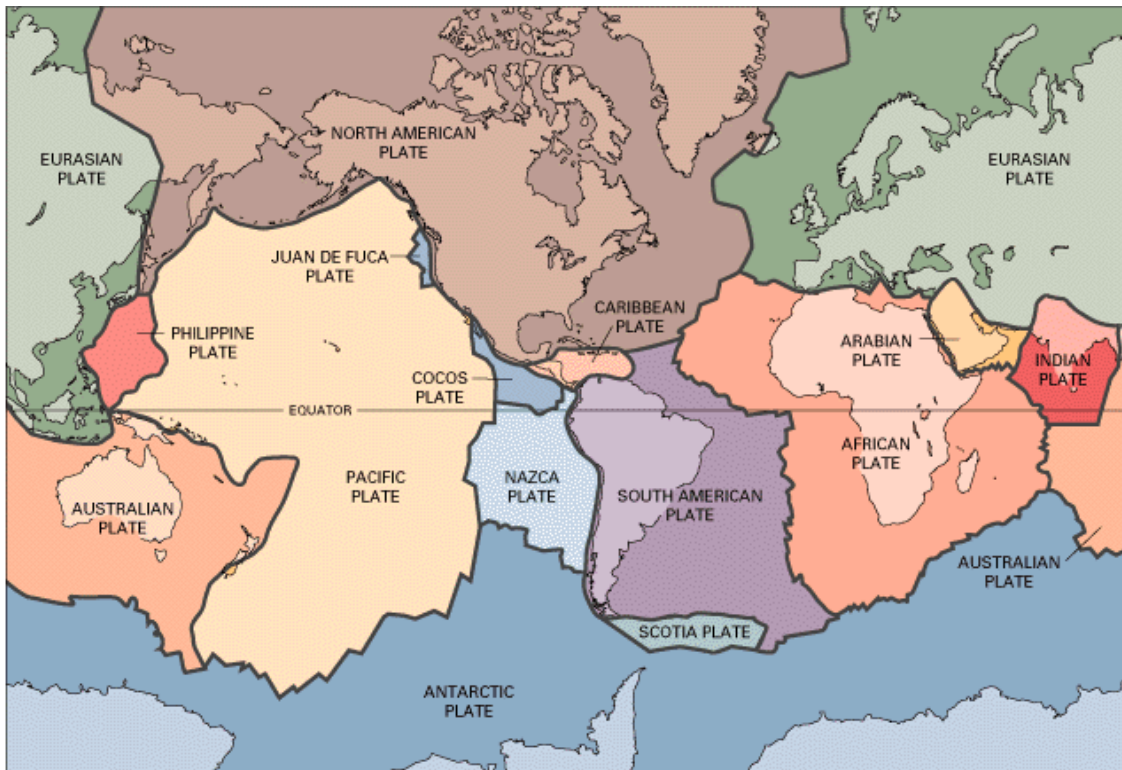
## **1.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA.**

La probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico potencialmente desastroso es una preocupación latente en todo el mundo y en especial en determinados lugares donde la actividad sísmica es muy notoria y se han evidenciado los grandes daños que puede causar un movimiento sísmico.

La ocurrencia de sismos, principalmente en el pasado han demostrado en ciertos casos un comportamiento aleatorio de las edificaciones, ya que pese a estar muy cercanas unas de otras y a ser similares han sufrido daños totalmente diferentes ante la acción de un mismo sismo, razón por la cual numerosas investigaciones se han dado en este campo todas encaminadas a mejorar los métodos de diseño y construcción de las edificaciones en busca de la seguridad de las personas que habitan en ellas sin descuidar el factor económico que se refleja en el costo de reparación de las estructuras, Bazán (2003).

Los terremotos son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de los techos de las cavernas subterráneas y hasta por explosiones; sin embargo, los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería son los de origen tectónico, que se deben al desplazamiento brusco de las grandes placas en

que está dividida la corteza terrestre, Sarria (1990); la disposición actual de estas placas puede verse en la Figura 1.1.



**Figura 1.1:** Disposición actual de las distintas Placas Tectónicas

En el caso de América del Sur y en especial de los países de la Costa del Océano Pacífico se ven afectados por un fenómeno conocido como subducción y consiste en que la Placa de Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana frente a las costas de Perú y Chile, la interacción entre ambas placas da origen a una de las zonas más sísmicas del planeta.

Históricamente se han presentado diferentes eventos sísmicos, ocasionando grandes pérdidas materiales y humanas debido fundamentalmente a

la falta de conocimiento en la ingeniería sobre el comportamiento de las edificaciones ante acciones sísmicas. América del Sur no ha sido la excepción como se aprecia en la Tabla 1.1, donde se presentan algunos sismos en el periodo comprendido entre 1996 y el 2005, que por su magnitud y los daños provocados han sido calificados como significativos.

**Tabla 1.1:** sismos significativos en América del Sur (1996-2005).

SISMOS	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	MAGNITUD	PROFUNDIDAD	INTENSIDAD
ECUADOR	28/03/1996	18:03	1.04 S	78.72 W	Mw = 5.9	15.2 Km	VII
PERU	12/11/1996	17:00	15.30 S	76.44 W	Md = 6.4	14.0 Km	VII
VENEZUELA	09/07/1997	15:24	10.43 S	63.49 W	Ms = 6.8	10.0 Km	VIII
BOLIVIA	22/05/1998	1:48	17.73 S	65.43 W	Mw = 6.8	24.0 Km	VIII
ECUADOR	04/08/1998	13:59	0.55 S	80.53 W	Ms = 7.1	39.0 Km	VIII
COLOMBIA	25/01/1999	13:19	4.41 N	75.72 W	ML= 6.2	< 15 Km	VIII
PERU	23/06/2001	15:33	16.15 S	73.40 W	Mw = 7.4	33.0 Km	VII - VIII
CHILE	17/04/2002	16:08	27.53 S	70.586 W	Mw= 6.7	62 Km	VII
CHILE	20/06/2003	13:30	30.52 S	71.42 W	Mw =6.8	12.8 Km	VI
COLOMBIA	15/11/2004	9:06	4.69 N	77.508 W	Mw = 7.2	15 Km	VI
CHILE	13/06/2005	22:44	19.99 S	69.197 W	Mw = 7.8	116 Km	VII
PERU	26/09/2005	1:55	5.674 S	76.409 W	Mw = 7.5	127 Km	VI

## 1.2 PÉRDIDAS DEJADAS POR LOS SISMOS.

En la tabla 1.2, Se presenta las pérdidas provocadas por los sismos indicados en la tabla anterior. Se muestra una lista de eventos sísmicos y se contabilizan las pérdidas humanas en muertos y heridos, también se presenta de una forma muy resumida los daños materiales que provocaron dichos sismos.

**Tabla 1.2:** Daños provocados por sismos significativos desde 1996 al 2005

<b>SISMO</b>	<b>MUERTOS</b>	<b>HERIDOS</b>	<b>PERDIDA ECONOMICA</b>
ECUADOR -1996	27	156	5 millones de US
PERU - 1996	17	1591	43 millones de US
VENEZUELA -1997	74	522	100 millones de US
BOLIVIA -1998	105	315	15 millones de US
ECUADOR -1998	3	52	30 millones de US
COLOMBIA -1999	1230	5300	1800 millones de US
PERU - 2001	102	1368	
CHILE- 2002	0	19	34 casas destruidas y 575 dañadas
CHILE- 2003	0	1	Algunos edificios y transformadores dañados.
COLOMBIA - 2004	0	14	214casas destruidas y 290 dañadas
CHILE- 2005	11	200	544 casas destruidas y 8691 dañadas
PERU- 2005	5	60	70% de casas destruidas y cerca de 200 edificios dañados en Lamas

Como se puede apreciar Colombia, Perú, Ecuador, Venezuela, Bolivia y Chile han sido afectados por fuertes sismos. En los últimos años en el Ecuador no se han experimentado eventos sísmicos que causen daños severos pero la probabilidad de que eventos de esta naturaleza ocurran está presente, es más mientras más tiempo pase sin sismos se está acumulando una mayor cantidad de energía de tal forma que es preferible tener una gran cantidad de sismos de pequeña magnitud que uno de gran magnitud.

### **1.3 NECESIDAD DE EVALUACIÓN RÁPIDA.**

El movimiento entre las diferentes placas tectónicas produce vibración en la corteza terrestre, esta vibración pone en peligro las edificaciones que sobre ella se desplantan, al ser éstas solicitadas por el movimiento de su base. Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de

inercia que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura y que pueden conducirla al colapso, Bazán (2003).

La energía liberada por un sismo se propaga desde la zona de ruptura, mediante diversos tipos de ondas que hacen vibrar la corteza terrestre. Se identifican ondas de cuerpo que viajan a grandes distancias a través de la roca y ondas superficiales que se deben a reflexiones y refracciones de las ondas de cuerpo cuando éstas llegan a la superficie o a una interfase entre estratos.

Debido a la diferencia en la velocidad de cada tipo de onda, cuando sentimos un terremoto las primeras sacudidas son debidas a las ondas P, siendo las siguientes las ondas S y por último las ondas superficiales. La diferente velocidad de cada tipo de onda es, además, la propiedad que se utiliza para determinar la localización del foco del terremoto.

Por la complejidad de los mecanismos de ruptura y por la irregularidad de las formaciones geológicas por las que viajan las ondas y por las múltiples refracciones y reflexiones que sufren durante su recorrido, el movimiento en un sitio dado es muy complejo e irregular.

El hombre para poder estudiar estos movimientos dispone de aparatos llamados sismógrafos, que se usan principalmente para determinar los epicentros

y mecanismos focales. Para fines de ingeniería los más importantes son los acelerógrafos que proporcionan la variación de las aceleraciones con el tiempo en el lugar donde están colocados, estos mismos aparatos al ser colocados en edificios permiten determinar la respuesta de éstos a la acción sísmica.

Gracias a la información obtenida de los acelerógrafos, grandes avances en la ingeniería sísmica han sido posibles. Los avances actuales están orientados al estudio de la flexibilidad de la estructura que ante el efecto de las fuerzas de inercia hace que ésta vibre de forma distinta a la del suelo mismo. La intensidad de la vibración inducida en un edificio depende tanto de las características del movimiento del terreno como de las propiedades dinámicas de la estructura. La expresión más notoria de las edificaciones ante la acción sísmica es el desplazamiento lateral que sufre la parte más alta de las mismas en relación a su base, a este desplazamiento se le conoce como distorsión global de piso, y es un indicador del daño que puede sufrir una estructura ante la acción sísmica. Para complementar la explicación se destaca que el desplazamiento lateral relativo dividido para la altura de entrepiso es la distorsión de piso.

De tal manera que se tiene una distorsión global y una distorsión en cada uno de los pisos, en base a estas distorsiones o Drift se evalúa el daño que se espera en una edificación.

Muchos programas como el SAP 2000, CEINCI3, RISE 3D, GT STRUDL y otros permiten calcular el Drift en una estructura utilizando modelos tridimensionales, para esto se requiere el ingreso de numerosos datos, tanto de la geometría como de las propiedades de los materiales con los que está constituida la estructura, sin embargo la entrada de datos demanda demasiado tiempo al igual que la interpretación de resultados, por este motivo es que se está trabajando a nivel mundial en metodologías rápidas de la vulnerabilidad sísmica de edificios y que sean confiables.

De igual forma si se tiene que evaluar el comportamiento de un gran conjunto de estructuras es necesario disponer de métodos más sencillos y aproximadamente tan eficaces como el análisis de estructuras en tres dimensiones, es por esto que la evaluación rápida es sumamente importante en zonas sísmicas vulnerables.

Un análisis detallado de las edificaciones que en la evaluación rápida resultan más afectadas es también muy importante por lo que un análisis en el ordenador no debe dejarse de lado.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN RÁPIDA DEL DRIFT**



## **RESUMEN**

Se presenta diferentes metodologías para la evaluación rápida del Drift, la propuesta por FEMA 273/274 (1997), la propuesta por Miranda (1997) y la propuesta por Gupta y Krawinkler (2000).

Se pone énfasis en la similitud de las metodologías propuestas y se describe cada uno de los factores que intervienen en ellas.

Para finalizar se justifica la necesidad del estudio, la misma que se puede resumir en que si se considera que las metodologías propuestas fueron desarrolladas en Norte América y en especial en Estados Unidos, para su utilización confiable en América del Sur es importante que se realice un ajuste de estas metodologías con estudios específicos de sus factores utilizando registros y estructuras propios del lugar.

### **2.1 INTRODUCCIÓN.**

La tendencia actual está encaminada a determinar de forma rápida la distorsión de piso y su relación con el comportamiento de una edificación ante una acción sísmica.

En FEMA 273/274 (1997) se propone el Método del Coeficiente de Desplazamiento, su aplicación es sencilla y encaja perfectamente en la evaluación rápida del Drift, otras metodologías similares como la propuesta por Miranda (1997) y la de Gupta y Krawinkler (2000), están encaminadas también a la evaluación rápida del Drift.

A continuación se presentan las metodologías antes nombradas utilizando la nomenclatura propia de sus autores.

## **2.2 METODOLOGÍA PROPUESTA POR FEMA (1997).**

FEMA en su guía para la rehabilitación Sísmica de Edificios, (1997), propone la siguiente ecuación para encontrar el desplazamiento máximo en el tope de un edificio  $D_t$ .

$$D_t = C_o * C_1 * C_2 * C_3 * S_a * \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2.1)$$

Siendo  $S_a$  la aceleración espectral elástica asociada al período fundamental efectivo  $T_e$  y los coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son factores de ajuste, los mismos que a continuación se enuncian:

- $C_0$  es un factor de modificación que relaciona el desplazamiento espectral y el desplazamiento en el tope del edificio, con valores desde 1 para edificaciones de 1 piso hasta 1,5 para edificios de más de 10 pisos. Es un factor de paso del sistema de 1gdl al sistema de múltiples grados de libertad que corresponden al edificio, en la tabla 2.1 se presentan los valores de este factor en función del número de pisos.

**Tabla 2.1:** Valores recomendados para  $C_0$ .

NUMERO DE PISOS	VALOR DE $C_0$
1	1.0
2	1.3
3	1.3
5	1.4
Más de 10 pisos	1.5

- $C_1$  es un factor que relaciona el desplazamiento inelástico máximo esperado con el desplazamiento calculado para la respuesta elástica lineal, en el sistema de 1gdl. FEMA recomienda  $C_1 = 1$  si  $T_e \geq T^*$  y  $C_1 = 1.5$  si  $T_e < 0.1$ . Donde  $T^*$  es el período que define el punto de cambio del segmento de aceleración constante al segmento de velocidad constante y

$T_e$  es el período fundamental efectivo. Para valores de  $T_e$  comprendidos entre 0.1 y  $T^*$ , se recomienda interpolar linealmente. En consecuencia  $C_1$  se evaluará con la siguiente ecuación:

$$C_1 = 1.5 - 0.5 \left( \frac{T_e - 0.1}{T^* - 0.1} \right) \quad (2.2)$$

Y el período  $T_e$  se evalúa con la siguiente ecuación.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.3)$$

Donde  $K_i$  es la rigidez inicial de la estructura que se la obtiene de la curva de capacidad sísmica resistente, que relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral máximo;  $K_e$  es una rigidez secante a la curva de capacidad que pasa por el punto cuya ordenada es igual a 0.6 del cortante de fluencia  $V_y$ ;  $T_i$  es el período de vibración inicial de la estructura en el rango elástico.

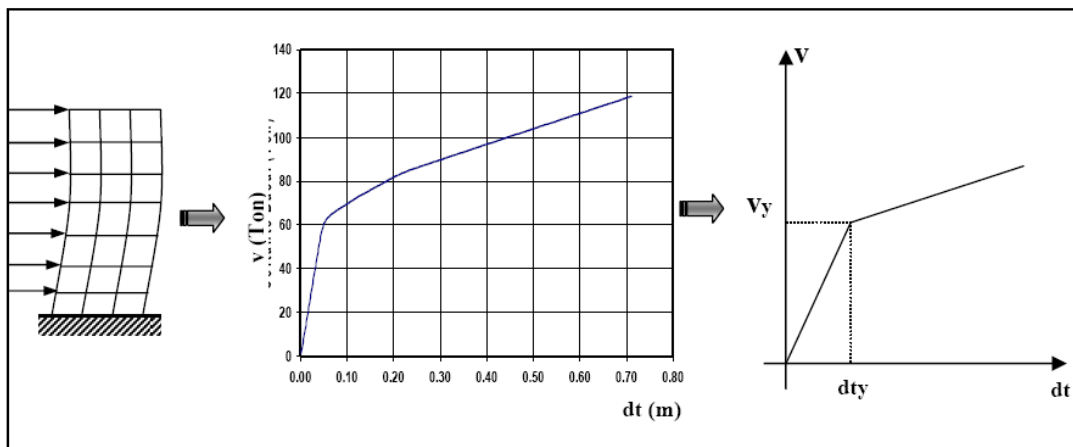
- $C_2$  es un factor que toma en cuenta los efectos de degradación de rigidez, pérdida de resistencia y el estrangulamiento de ciclos histeréticos en la respuesta del desplazamiento máximo. El valor máximo de  $C_2$  es 1.2
- $C_3$  representa el incremento de desplazamiento debido al efecto P- $\Delta$ . Para estructuras con rigidez post fluencia mayor al 5% de la rigidez elástica de la estructura el Valor de  $C_3 = 1$ , caso contrario se evalúa con:

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{2/3}}{T_e} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{\frac{S_a}{g}}{\frac{V_y}{W}} * \frac{1}{C_o} \quad (2.5)$$

Donde  $\alpha$  viene dada por la relación entre la rigidez pos fluencia con la rigidez elástica del modelo bilineal de la curva de capacidad sísmica resistente;  $V_y$  es el cortante de fluencia de la estructura y  $W$  es el peso total de la estructura.

La curva de capacidad sísmica resistente se obtiene mediante la técnica del Pushover que consiste en aplicar cargas laterales monotónicas crecientes en una dirección hasta llevar al colapso a la estructura, Aguiar (2003). En la Figura 2.1 se ilustra su cálculo, a la izquierda se aprecia un pórtico plano sometido a cargas laterales, se realiza un análisis no lineal estático y para cada incremento de carga se obtiene un cortante basal  $V$  y el desplazamiento lateral máximo  $D_t$ ; en base a estos puntos se determina la curva de capacidad la misma que se indica en la parte central de la Figura 2.1. El punto de cruce de estas dos rectas es el punto de fluencia que tiene un cortante  $V_y$  y un desplazamiento  $D_{ty}$ , Aguiar (2005).



**Figura 2.1:** Esquema de cálculo de la curva de capacidad sísmica y el modelo bilineal.

La ecuación (2.1) plantea que el desplazamiento espectral  $S_d$  asociado al período de vibración  $T_e$ , y que es igual a  $S_a / \omega^2 = T_e^2 S_a / 4\pi^2$ , sea modificado debido al comportamiento inelástico mediante el factor  $C_1$ , el mismo que ha sido obtenido de estudios estadísticos empleando por lo regular un modelo bilineal, sin considerar degradación de resistencia, degradación de rigidez y efecto de cierre de grietas, que son fundamentales en el análisis no lineal. La inclusión de estos factores en el método se lo corrige por medio del factor  $C_2$ . Por otra parte en el rango inelástico se debe tener en cuenta el efecto  $P-\Delta$ , especialmente cuando la estructura está sometida a grandes deformaciones, este efecto se lo considera mediante el factor  $C_3$ . Finalmente para pasar todos estos valores del sistema de una grado de libertad (1 gdl) al sistema con múltiples grados de libertad se lo hace por medio del factor  $C_o$ , Aguiar (2005).

### 2.3 METODOLOGÍA PROPUESTA POR MIRANDA (1997).

Miranda (1997) propone la siguiente ecuación para calcular la distorsión máxima de entrepiso.

$$\gamma = \frac{\beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4 * T^2}{4\pi^2 N h} S_a = \beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4 \frac{S_d}{H} \quad (2.6)$$

Siendo  $S_d$  el desplazamiento espectral elástico para un período determinado,  $H$  es la altura total de la edificación,  $S_a$  es la aceleración espectral elástica para un periodo determinado  $T$ ,  $N$  es el número de pisos de la estructura,

h es la altura de entre piso y los coeficientes  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  y  $\beta_4$  son factores de ajuste, los mismos que a continuación se enuncian:

- $\beta_1$  Es la relación entre el máximo desplazamiento lateral en el nivel superior de la estructura y el desplazamiento lateral máximo de un sistema de 1gdl, considerando un modelo de comportamiento lineal. Este factor depende del tipo estructural y del número de pisos de la estructura.

Miranda y Reyes (2002) a partir de la solución de un sistema continuo, de una viga de corte acoplado a una viga de flexión, encuentran las ecuaciones que permiten calcular  $\beta_1$ . En base a estas ecuaciones Aguiar (2005) recomienda que para estructuras conformadas por vigas y columnas, sin muros de corte y sin diagonales los valores de  $\beta_1$  sean los indicados en la Tabla 2.2., ya que los que proporciona el FEMA o los que se obtienen con la ecuación de Algan (1982),  $\beta_1 = 3N/(2N + 1)$  son más adecuados a edificios de H.A. con muros de corte, Aguiar (b) (2005).

**Tabla 2.2:** Valores recomendados de  $\beta_1$  para edificios en base a vigas y columnas

PISO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\beta_1$	1.00	1.06	1.15	1.24	1.32	1.38	1.43	1.48	1.51	1.55

- $\beta_2$  Describe la relación entre la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global de la estructura, que se define como el máximo desplazamiento lateral en el tope del edificio dividido por la altura total del

edificio.  $\beta_2$  depende del grado de participación de las deformaciones laterales de corte y flexión, y del tipo estructural.

Sea  $D_t/H$  la distorsión global del edificio, en donde  $D_t$  es el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio y  $H$  la altura del edificio y sea:

$$\gamma_j = \frac{D_{(j+1)} - D_{(j)}}{h_j} \approx \theta(z_j) = \frac{dD(z_j)}{dz} \quad (2.7)$$

donde  $\gamma_j$  es la distorsión del piso  $j$  definida como la relación entre el desplazamiento relativo de piso con relación a la altura de piso  $h_j$ . El desplazamiento relativo es igual al desplazamiento en el piso  $j+1$  que se ha denominado  $D_{(j+1)}$  menos el desplazamiento del piso  $j$ , identificada por  $D_j$ . Miranda (1999) al trabajar con un sistema continuo determina en forma aproximada la distorsión de piso  $j$  como la deriva de la función desplazamiento con respecto a la variable  $z$  como se indica en la ecuación (2.7). La variable  $z$  se mide desde la base del edificio. Con esta notación se tiene:

$$\gamma_j = \beta_2 \frac{D_t}{H} \quad (2.8)$$

Por tanto  $\beta_2$  es un factor que transforma la distorsión global de un edificio, en la distorsión de piso. Al tener en cuenta que la ecuación 2.7 en que la distorsión de piso es la deriva, se obtiene de la ecuación 2.8, el valor de  $\beta_2$  pero lo que interesa es el valor máximo de la distorsión de piso, razón por la cual:



$$\beta_2 = \max \left[ \frac{dD(z_j)}{dz} \frac{H}{Dt} \right] \quad (2.9)$$

Para el caso de sección constante Miranda y Reyes (2002) reportan una solución analítica y para los casos de sección variable la solución debe obtenerse con la ayuda del ordenador. En la tabla 2.3 se indican valores de  $\beta_2$  para el caso de carga triangular en función del parámetro  $\delta$ , que relaciona la rigidez lateral en el tope del edificio con la rigidez lateral en la base del edificio, Aguiar (b) (2005).

**Tabla 2.3** Valores de  $\beta_2$  para diferentes variaciones de rigidez lateral.

	$\delta=1.00$	$\delta=0.75$	$\delta=0.50$	$\delta=0.25$
$\alpha_0=5$	1.39	1.34	1.28	1.24
$\alpha_0 \geq 10$	1.46	1.40	1.33	1.25

Si el proyectista estructural no calcula  $\alpha_0$  ni  $\delta$  puede considerar  $\beta_2=1.40$  en forma aproximada.

- $\beta_3$  Expresa la relación entre el máximo desplazamiento lateral del modelo de comportamiento inelástico, y el desplazamiento máximo del modelo elástico lineal en el sistema de 1gdl. Este factor depende de la demanda de ductilidad al desplazamiento y el periodo fundamental de vibración de la estructura.
- $\beta_4$  Es un factor que permite calcular el cociente entre la relación de la distorsión máxima de entrepiso y la distorsión global, en una estructura con comportamiento inelástico con respecto a la relación de la distorsión

máxima de entrepiso y la distorsión global, en una estructura con comportamiento elástico. (Es la relación entre los factores  $\beta_2$  elástico e inelástico).

Ante un sismo la distribución de fuerzas en altura es diferente si se lo analiza con comportamiento elástico a que si se lo analiza con comportamiento inelástico y consecuentemente serán diferentes sus distorsiones. El factor  $\beta_4$  depende de la ductilidad  $\mu$  y el número de pisos  $N$ .

$$\beta_4 = 1 + \frac{\mu}{30} + \frac{N}{200} \quad (2.10)$$

## 2.4 METODOLOGÍA PROPUESTA POR GUPTA Y KRAWINKLER (2000).

Gupta y Krawinkler (2000) proponen la siguiente ecuación para el cálculo de la distorsión máxima global:

$$\theta_{MDOF,inel,P\Delta} = \alpha_{MDOF} * \alpha_{INEL} * \alpha_{\Delta P} * \alpha_{ST} \left( \frac{Sd}{H} \right) \quad (2.11)$$

Siendo  $Sd$  el desplazamiento espectral elástico para un período determinado,  $H$  es la altura total de la edificación y los coeficientes  $\alpha_{MDOF}$ ,  $\alpha_{INEL}$ ,  $\alpha_{\Delta P}$  y  $\alpha_{ST}$  son factores de ajuste, los mismos que a continuación se enuncian:

- $\alpha_{MDOF}$  Es el factor de amplificación que relaciona el desplazamiento espectral elástico en un sistema de 1gdl con la distorsión global inelástica.
- $\alpha_{INEL}$  Es el factor que relaciona la distorsión global elástica con la distorsión global inelástica.

- $\alpha_{\Delta P}$  Es el factor de amplificación que toma en cuenta el efecto P- $\Delta$  en la distorsión global inelástica.
- $\alpha_{ST}$  Es el factor de modificación que relaciona la distorsión de piso con la distorsión global.

El trabajo de Gupta y Krawinkler está orientado a estructuras de acero, se lo presenta con el propósito de ver que coeficientes considera y de alguna manera compararlos con los propuestos por Miranda (1997) no para aplicarlos en estructuras de H.A. pero si para tener más elementos de juicio, Aguiar (b) (2005). Al comparar ambas metodologías se encuentra las siguientes similitudes entre sus factores:

- El coeficiente  $\alpha_{MDOF}$  es similar a  $\beta_1$ . Es más para estructuras de acero cuyo período esté al rededor de los 2 segundos o más. Gupta y Krawinkler proponen  $\alpha_{MDOF}=\beta_1$ . Estructuras de H.A. que tengan un periodo de 2 segundos o más son edificios muy altos y sería conveniente en dichas estructuras obtener la distorsión máxima de piso con procedimientos más exactos<sup>Aguiar (b) (2005)</sup>.
- El coeficiente  $\alpha_{INEL}$  es muy similar a  $\beta_3$  por lo que se presentará en capítulos posteriores de este proyecto un estudio más detenido.
- El coeficiente  $\alpha_{ST}$  es muy similar a  $\beta_2$ .
- El coeficiente  $\alpha_{\Delta P}$  no aparece en la ecuación de Miranda (1997), un estudio detallado de este coeficiente en ingles se tiene en Gupta y Krawinkler(2000)

y en castellano en Aguiar (2005). Las ecuaciones de cálculo son las siguientes:

$$\alpha_{p\Delta} = \frac{1}{1 - \theta_i} \quad \theta_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \quad (2.12)$$

donde el subíndice  $i$  representa el piso;  $P_i$  es la carga vertical actuante desde el piso  $i$  hasta el tope del edificio;  $\Delta_i$  es el desplazamiento relativo de piso  $i$ ;  $V_i$  es el cortante del piso  $i$ ;  $h_i$  es la altura del entrepiso  $i$ . Para cada piso se debe evaluar  $\theta_i$  y con el mayor valor se determina  $\alpha_{INEL}$ .

## 2.5 NECESIDAD DEL ESTUDIO.

La ingeniería sísmica en nuestro país así como en América del Sur necesita de nuevos aportes para su desarrollo. El conocer los efectos de la deriva de piso y su relación directa al daño que sufren las estructuras es de suma importancia, ya que permite evaluar de forma breve el comportamiento de una edificación ante una acción sísmica.

Por lo expuesto anteriormente, resulta entonces muy importante disponer de un método confiable y rápido para calcular la deriva de piso, el Método del Coeficiente de Desplazamiento, enunciado anteriormente en los antecedentes se ajusta muy bien a este requerimiento, pero por el actual desarrollo de la ingeniería sísmica en América del Sur este método resulta aproximado y no tan eficaz como el muy conocido Método del Espectro de capacidad.

La causa fundamental de tal imprecisión está en que este método ha sido estudiado para los Estados Unidos y otros países ajenos a América del Sur, y los factores que intervienen dependen de la ubicación de la estructura, el tipo estructural, el tipo de suelo y el año de construcción. Tienen en cuenta el hecho de que la rigidez lateral de las estructuras localizadas en zonas de alta sismicidad es mayor que el de estructuras ubicadas en zonas de baja sismicidad.

Es importante entonces que se realice un estudio más detallado de los factores que se utilizan en las metodologías antes descritas tomando en cuenta la forma característica de las construcciones de la zona y los registros sísmicos obtenidos en ella y así obtener resultados más ajustados a la realidad.

### **CAPÍTULO III**

#### **BASE DE DATOS Y ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO**

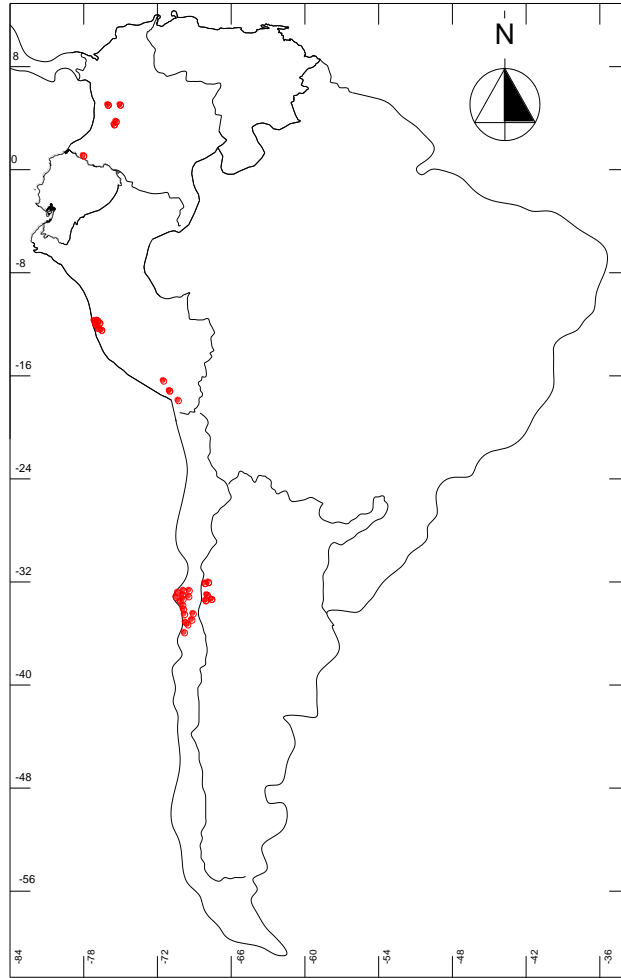
##### **RESUMEN**

Se describe la base de registros acelerográficos con la que se realizó el estudio, se expone un mapa en el que se localizan las estaciones donde se obtuvieron los registros y se describen los programas KW2ASC32, SSA2EVT y PEGACEL que se utilizaron para poner los registros en un formato similar.

Adicionalmente se presentan las ventajas de trabajar con un espectro de desplazamiento y para finalizar se exponen los espectros elásticos de desplazamiento resultantes de cada registro acelerográfico, organizándolos por países Colombia, Perú, Chile y Argentina respectivamente.

### **3.1 DESCRIPCIÓN DE BASES DE DATOS SÍSMICOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.**

Para el estudio se utilizaron 63 registros acelerográficos provenientes de Colombia, Perú, Chile y Argentina como se puede apreciar en la figura 3.1, en la que se indica donde fueron tomados estos registros acelerográficos.



**Figura 3.1:** Ubicación de fuentes de registros acelerográficos.

En la Tabla 3.1 se presenta el código del registro, el nombre de la estación y el país en que se obtuvo el registro, la fecha y magnitud del evento sísmico, la componente del registro y la aceleración máxima registrada. Es importante notar que todos los registros tienen una aceleración máxima superior a  $0.1g = 98.1$  gals.

**Tabla 3.1:** Registros acelerográficos utilizados en el estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	PAÍS	FECHA	MAGNITUD	COMPONENTE	ACELERACIÓN MÁXIMA [gals]
01a	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	7.20	E-W	-138.5
01b	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	7.20	N-S	125.4
02a	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	7.20	E-W	119.1
02b	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	7.20	N-S	111.2
03a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	6.40	E-W	-180.6
03b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	6.40	N-S	-269.3
04	ESTACIÓN LA MOLINA	PERU	09/11/1974	6.00	E-W	-116.8
05a	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	6.90	E-W	-295.2
05b	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	6.90	N-S	-234.0
06	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	31/05/1970	6.40	E-W	-104.8
07a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	-192.5
07b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	179.0
08a	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	192.3
08b	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	-207.1
09a	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	6.60	E-W	-139.6
09b	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	6.60	N-S	-156.2
10a	ILOCA	CHILE	04/09/1985	7.20	N-S	-159.0
10b	ILOCA	CHILE	04/09/1985	7.20	E-W	-110.0
11	RAPEL	CHILE	04/09/1985	7.20	E-W	-108.0
12	PAPUDO	CHILE	03/03/1985	7.80	140°	226.0
13a	LLAYLLAY	CHILE	03/03/1985	7.80	280°	-465.0
13b	LLAYLLAY	CHILE	03/03/1985	7.80	190°	-345.0
14a	SAN FELIPE	CHILE	03/03/1985	7.80	170°	-303.0
14b	SAN FELIPE	CHILE	03/03/1985	7.80	80°	425.0
15a	LLOLLEO	CHILE	08/04/1985	7.20	100°	-167.0
15b	LLOLLEO	CHILE	08/04/1985	7.20	10°	200.0
16a	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	100°	437.0
16b	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	10°	-698.0
17a	VINA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	290°	-233.0
17b	VINA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	200°	356.0
18a	VALPARAISO EL ALMENDRAL (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	50°	292.0
18b	VALPARAISO EL ALMENDRAL (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	140°	-163.0
19	COLBUN	CHILE	03/03/1985	7.80	LONG	-477.0
20a	ILOCA	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-221.0
20b	ILOCA	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	273.0
21a	MELIPILLA	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-673.0
21b	MELIPILLA	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	518.0
22a	PICHILEMU	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	254.0
22b	PICHILEMU	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	-175.0
23a	SAN FERNANDO	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	285.0
23b	SAN FERNANDO	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	333.0
24a	SAN ISIDRO	CHILE	03/03/1985	7.80	LONG	-707.0
24b	SAN ISIDRO	CHILE	03/03/1985	7.80	TRANS	696.0
25a	ZAPALLAR	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-265.0
25b	ZAPALLAR	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	299.0
26a	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	LONG	-267.0
26b	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	-332.0
27a	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	LONG	184.0
27b	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	401.0
28	MUNICIPALIDAD DE MAIPU - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	-192.0
29a	ETNA S/N 2673	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	LONG	439.5
29b	ETNA S/N 2673	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	TRANS	-222.0
30a	SSA2EVT S/N 1428	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	E-W	164.1
30b	SSA2EVT S/N 1428	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	N-S	-129.0
31a	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	518.4
31b	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	-580.1
32a	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	554.9
32b	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	-477.8
33a	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	-207.8
33b	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	141.5
34a	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	3.07	E-W	132.4
34b	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	3.07	N-S	-124.8
35	ESTACION DE PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)	COLOMBIA	19/02/1997	6.10	E-W	127.5

Existen diferentes formatos en los que se puede presentar un registro acelerográfico entre los más conocidos están:



- Binario, Las aceleraciones para cada instante son números reales de 4 bytes, sin separación entre ellos. No se da en el archivo información sobre el tiempo.
- ASCII, Se trata de un archivo en formato ASCII en el cual todos los valores corresponden a la misma serie de tiempo, aunque se tengan varias columnas. El archivo debe leerse de izquierda a derecha y de arriba a abajo.
- Raro, Se trata de un archivo en formato ASCII, de varias columnas, en que cada columna está asociada a una serie de tiempo. Por lo que es importante conocer en que columna se encuentran las aceleraciones con las que se quiere trabajar.

Pero no todos los registros acelerográficos se presentan en los formatos antes mencionados, por ejemplo el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS) de Colombia tiene su base de registros acelerográficos en forma de archivos con extensión (ssa) y también (evt), otras bases de datos como la que dispone la Red Nacional de Acelerógrafos a cargo de la Universidad de Chile utilizan archivos con extensión (evt).

El estudio se realizó utilizando el programa Degtra A4 para el cálculo de los espectros de desplazamiento elásticos e inelásticos (sobre este programa se

tratará más detenidamente en el capítulo V). Degtra A4 necesita que los registros acelerográficos estén en forma de un archivo de texto y que sus datos se presenten en formato Binario, ASCII, Raro o incluso en formato BMDSF 2.0, que se trata del formato de archivo estándar de aceleración de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes versión 2.0. Es, semejante a un archivo tipo Raro, que contiene 109 líneas inútiles y un ancho de columnas de 10 caracteres.

Por lo que fue necesario en primer lugar pasar los archivos con extensiones (ssa) y (evt) a archivos de texto, para esto se utilizó los programas KW2ASC32 y SSA2EVT. Por último para disponer de una base de registros acelerográficos uniforme se elaboró un programa (PEGACEL) utilizando Macros en Excel, que permite pasar archivos ASCII a uno con datos dispuestos en una sola columna.

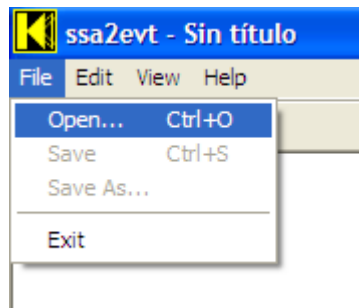
### **3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SSA2EVT**

Este programa se lo puede obtener en la página de internet de Kinematics, sirve para convertir los archivos en formato (ssa) a archivos en formato (evt), para acceder a este programa se puede seguir la siguiente ruta en el Internet:

[www.kmi.com](http://www.kmi.com) / Download / Other Downloads / SSA to EVT File Converter

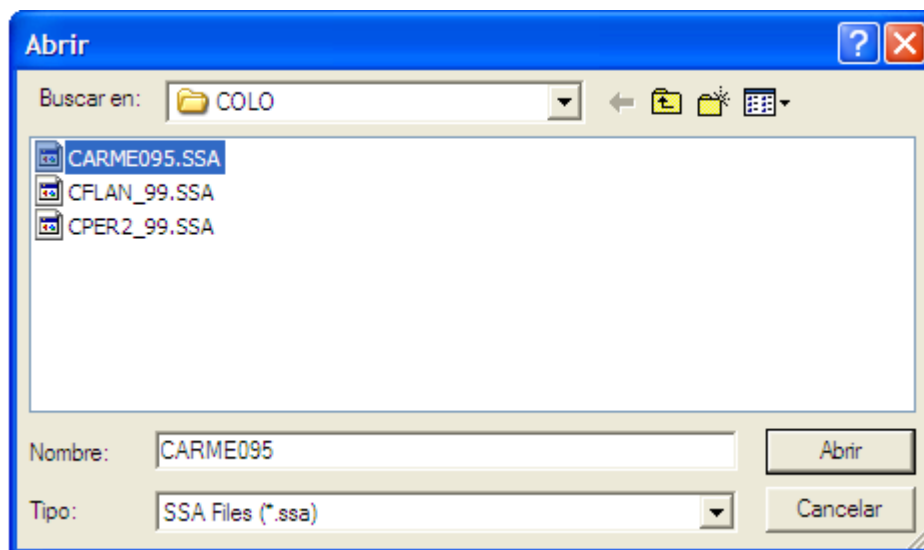
Para transformar los archivos de formato (ssa) a formato (evt) se siguen los pasos que se detallan a continuación:

- Una vez en la pantalla principal del programa SSA2EVT seleccione la opción “file” de la barra de herramientas y seleccione “Open” como se ve en la figura 3.2.



**Figura 3.2:** Selección de la opción “Open”.

- En la pantalla que se abre a continuación seleccione el archivo que desee abrir y de clic en “Abrir” tal como se ve en la figura 3.3.



**Figura 3.3:** Pantalla para la selección de archivo.

- Obtendrá una pantalla como se muestra a continuación en la figura 3.4, en la que se indican los datos principales del registro:

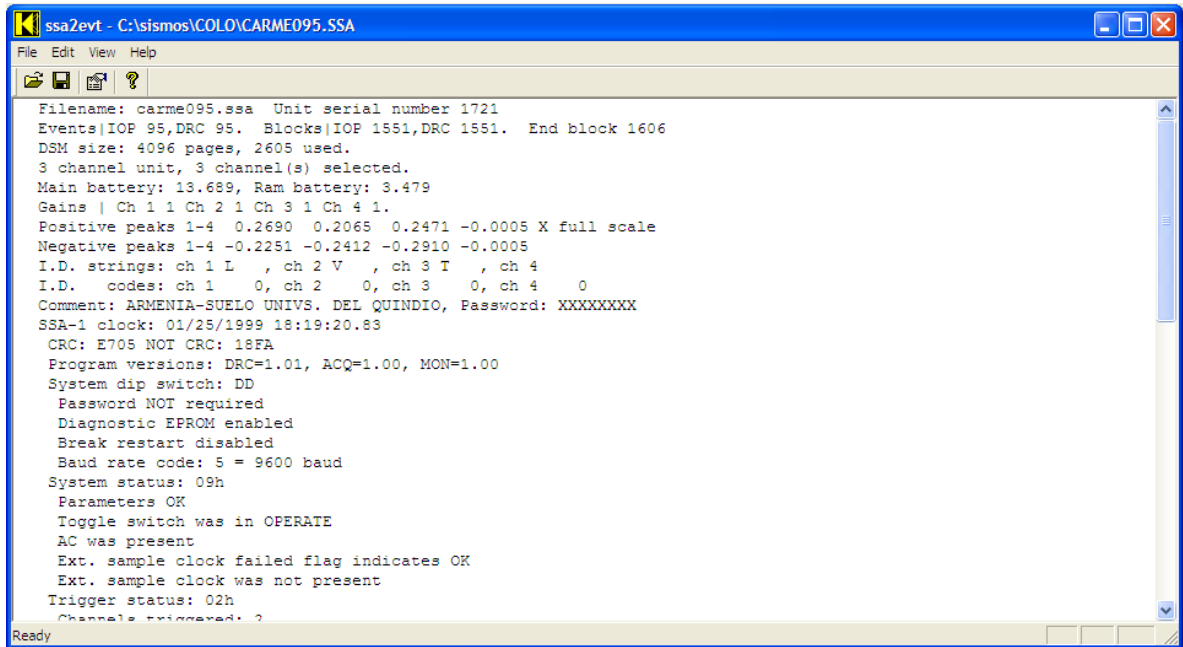


Figura 3.4: Pantalla con la Información principal del registro.

- El paso final es grabar el archivo en formato (evt), para esto se selecciona el menú **file** y de este se selecciona “save”, como se muestra en la figura 3.5. El programa entonces grabara un archivo en formato (evt) con el mismo nombre del archivo en formato (ssa) que inicialmente fue abierto.

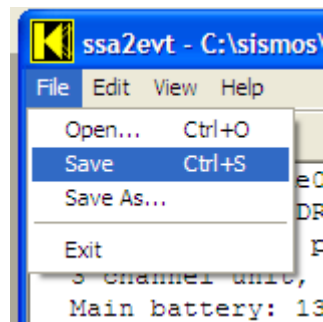


Figura 3.5: Selección de la opción “save”.

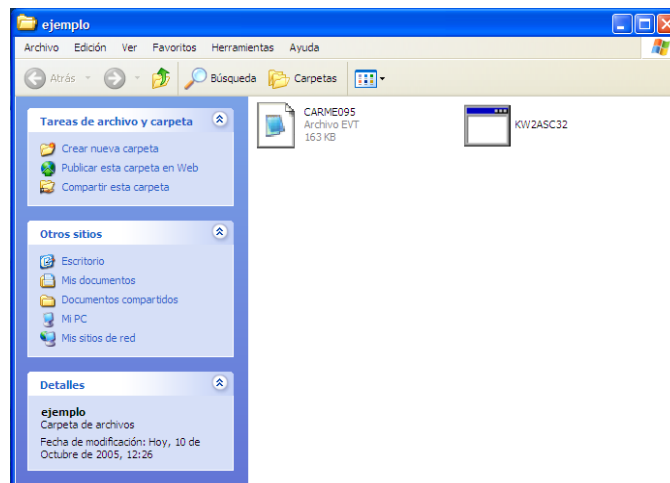
### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA KW2ASC32

KW2ASC32.exe es un programa que se lo puede obtener en la página de internet de Kinematics, es un programa que convierte los datos de formato (evt) a ASCII, para acceder a este programa se puede seguir la siguiente ruta en el Internet:

[www.kmi.com](http://www.kmi.com) / Download / Altus Support Software / DOS Support Software

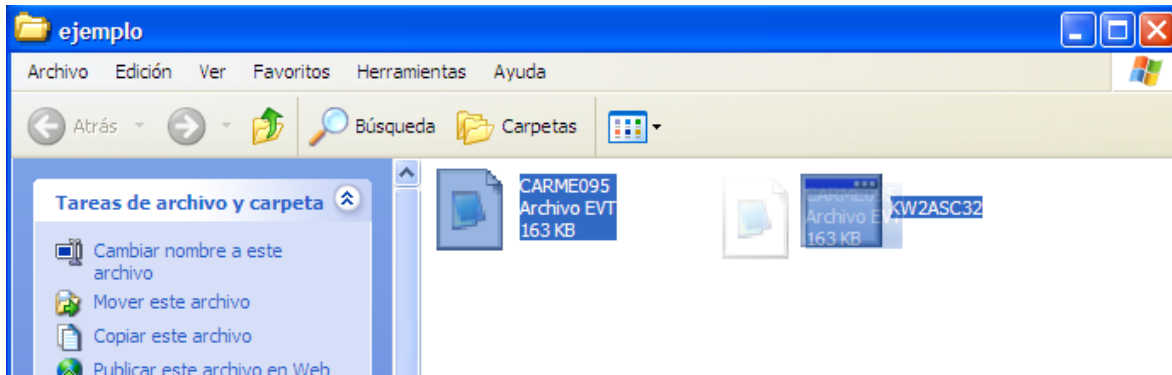
Para transformar los archivos de formato (evt) a formato que pueda leerse en el Bloc de Notas de windows o en Microsoft Word, se siguen los pasos que se detallan a continuación:

- Una vez que se disponga del archivo en formato (evt), la manera más sencilla de transformarlo es colocarlo en la misma carpeta de archivos donde está el programa KW2ASC32.exe, como se ve en la figura 3.6. (Esta carpeta debe estar grabada en el disco principal de la computadora)



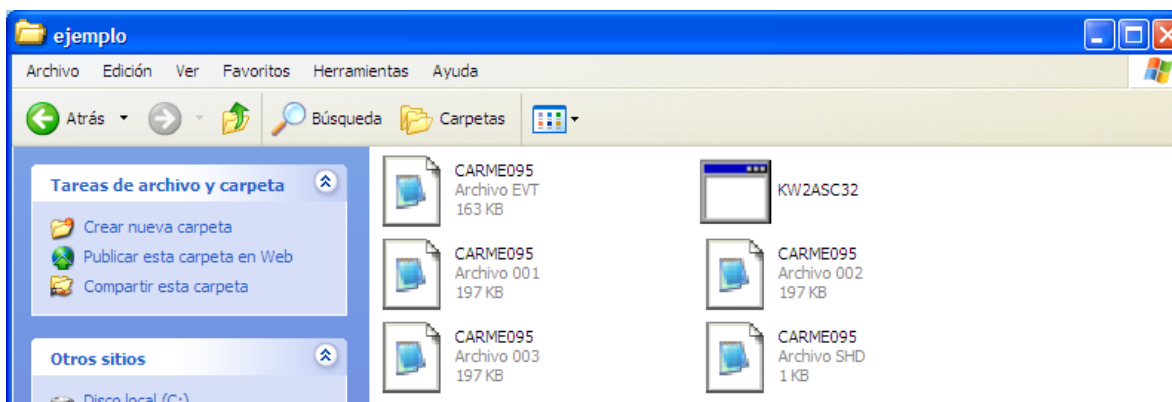
**Figura 3.6:** Archivo en formato (evt) junto al programa KW2ASC32.

- Arrastre el archivo hacia el icono del programa KW2ASC32 como se ve en la figura 3.7 y sobrepóngalo sobre el icono.



**Figura 3.7:** Arrastre del archivo(evt) hacia el programa KW2ASC32

- Una vez se ha realizado el paso anterior, nuevos archivos se crean automáticamente como se ve en la figura 3.8, los archivos corresponden al número de componentes que tenga el archivo en formato (evt) y estos están en formato ASCII con una sola columna de datos (tantos archivos se crearan como componentes tenga el registro). Un archivo adicional (SHD) también se crea, éste posee la información global del registro y se puede abrir con cualquier procesador de palabras.



**Figura 3.8:** Archivos creados luego de la ejecución del programa.

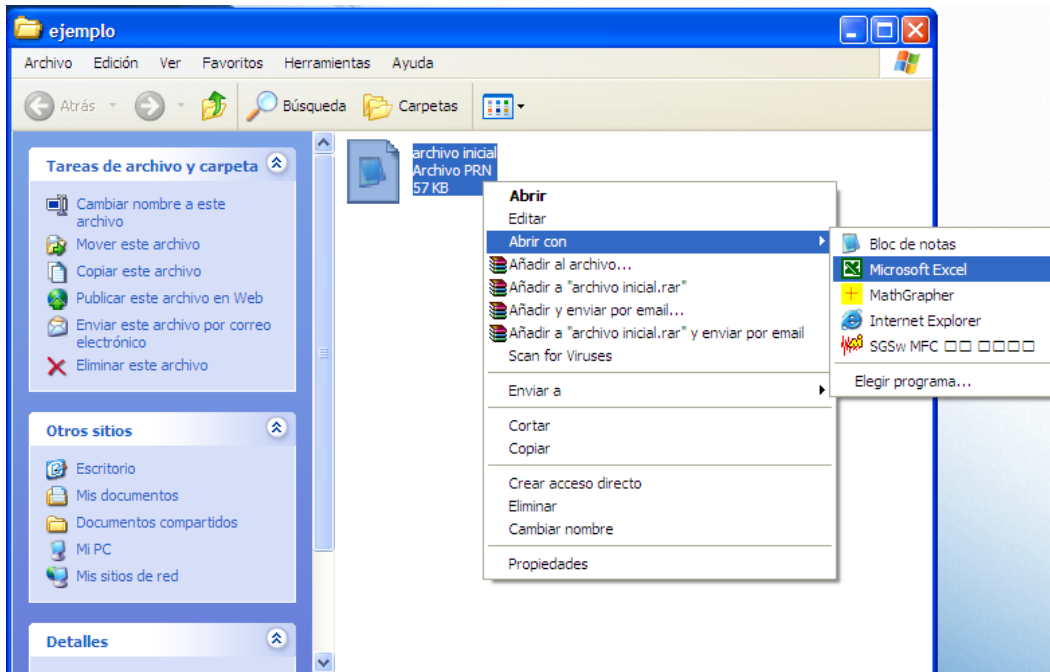
### 3.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PEGACEL

Este programa de mi autoría, se utilizó como una macro en Microsoft Excel, sirve para transformar registros acelerográficos en formato ASCII de varias columnas a registros de una sola columna.

Antes de iniciar con la transformación de archivos, el libro en Microsoft Excel llamado "PEGACEL", debe estar abierto. Este libro contiene el programa creado para transformar los archivos, el mismo que puede ser usado en otros libros de Microsoft Excel.

Una vez abierto el programa "PEGACEL", para transformar un archivo ASCII de varias columnas a uno de una sola columna se deben seguir los pasos que se detallan a continuación:

- El archivo en código ASCII, debe ser abierto con Microsoft Excel. Para esto seleccione el archivo y mediante un clic derecho seleccione la opción "abrir con", como se muestra en la figura 3.9 y seleccione Microsoft Excel para abrir el documento.



**Figura 3.9:** Abrir un archivo ASCII en Microsoft Excel.

- Se obtendrá un archivo como el que se muestra en la figura 3.10. Es necesario notar que varios datos de una fila en el archivo en formato ASCII, se han abierto en una misma celda del archivo en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	4.28E-01	2.48E+00	4.98E+00	7.73E+00	1.05E+01	1.31E+01	1.54E+01	1.72E+01
2	1.86E+01	1.95E+01	1.98E+01	1.95E+01	1.86E+01	1.73E+01	1.56E+01	1.37E+01
3	1.19E+01	1.05E+01	9.56E+00	9.13E+00	9.09E+00	9.15E+00	8.96E+00	8.14E+00
4	6.42E+00	3.70E+00	6.91E-02	-4.19E+00	-8.66E+00	-1.29E+01	-1.66E+01	-1.93E+01
5	-2.12E+01	-2.21E+01	-2.22E+01	-2.18E+01	-2.09E+01	-1.98E+01	-1.82E+01	-1.63E+01
6	-1.40E+01	-1.11E+01	-7.89E+00	-4.40E+00	-8.87E-01	2.38E+00	5.16E+00	7.25E+00
7	8.58E+00	9.19E+00	9.19E+00	8.79E+00	8.21E+00	7.62E+00	7.16E+00	6.91E+00
8	6.87E+00	7.01E+00	7.27E+00	7.60E+00	7.92E+00	8.15E+00	8.19E+00	7.93E+00
9	7.26E+00	6.11E+00	4.48E+00	2.48E+00	3.35E-01	-1.63E+00	-3.04E+00	-3.55E+00
10	-2.96E+00	-1.23E+00	1.42E+00	4.61E+00	7.80E+00	1.04E+01	1.21E+01	1.25E+01
11	1.16E+01	9.65E+00	7.00E+00	4.08E+00	1.32E+00	-9.92E-01	-2.70E+00	-3.80E+00
12	-4.40E+00	-4.65E+00	-4.73E+00	-4.77E+00	-4.82E+00	-4.91E+00	-5.01E+00	-5.07E+00

**Figura 3.10:** Registro Acelerográfico en formato ASCII de varias columnas.



- Para que los datos del archivo estén en celdas individuales, seleccione la primera columna de la hoja de cálculo como se muestra en la figura 3. 11, y mediante el menú "Datos", seleccione la opción "Texto en columnas".

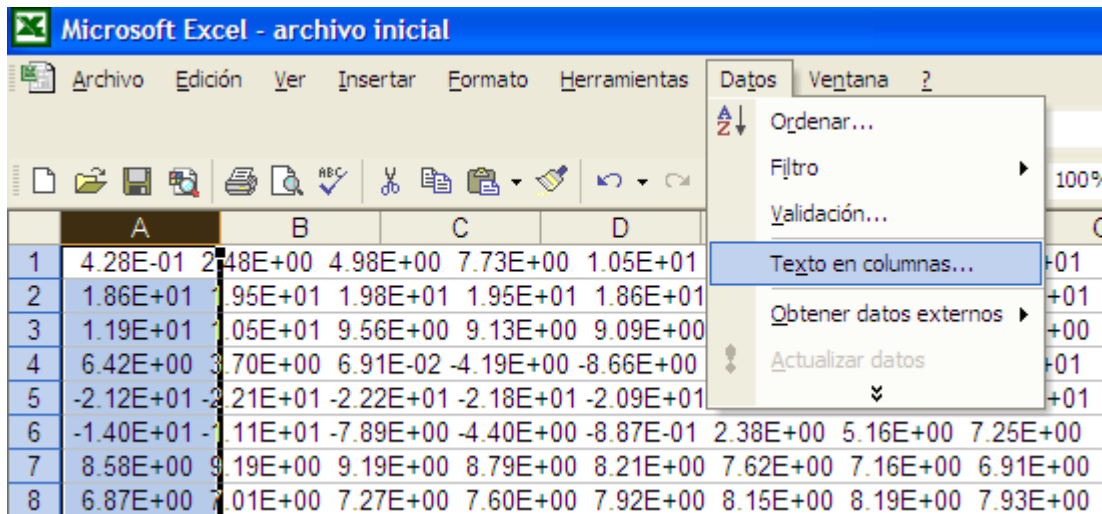


Figura 3.11: Opción "Texto en columnas" del menú "Datos" en Excel.

- Aparecerá un cuadro como el que se muestra figura 3.12, elija la opción "delimitados" y a continuación de clic en el botón "siguiente".

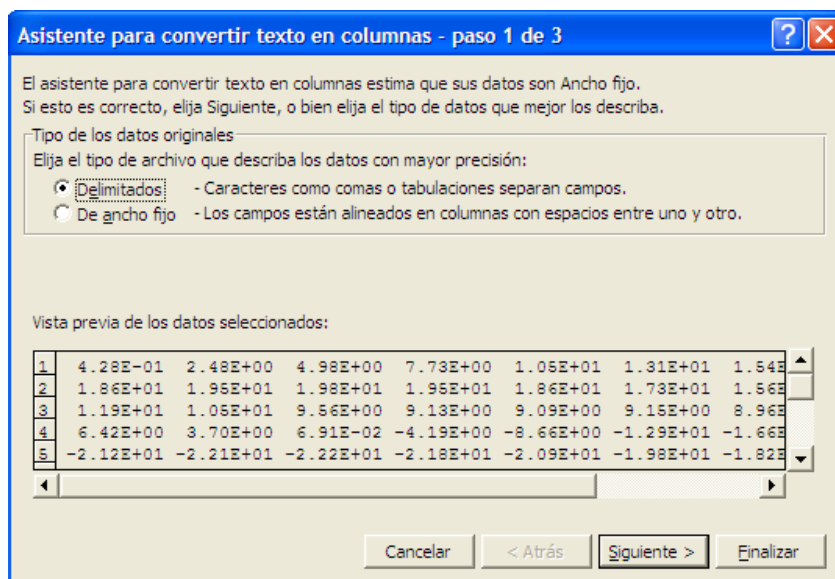
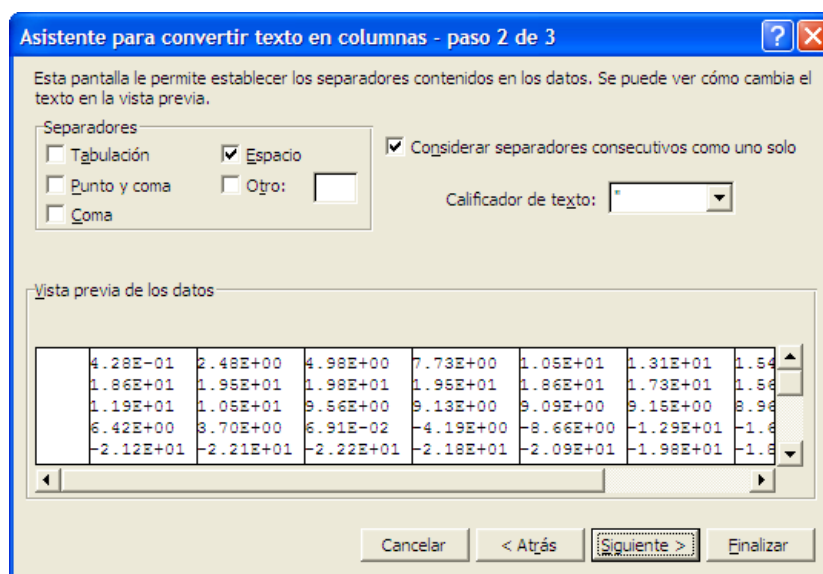


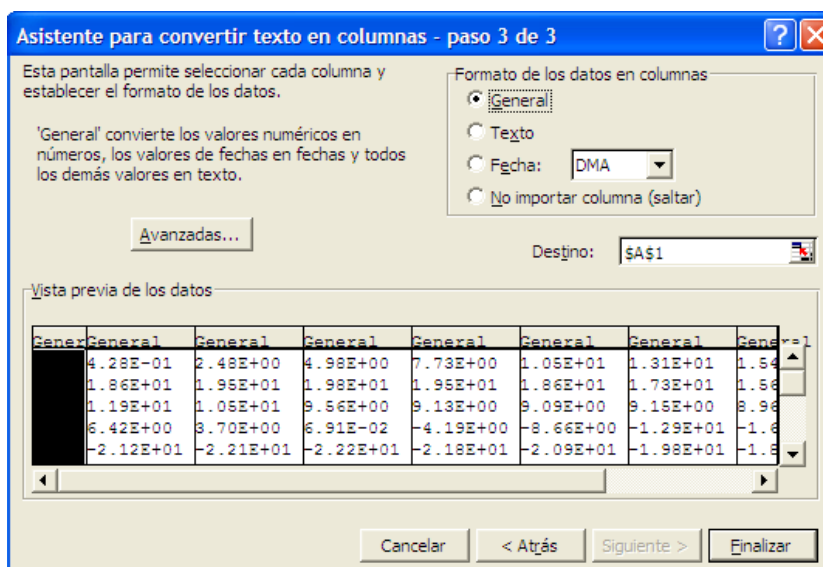
Figura 3.12: Paso uno para convertir el texto en columnas.

- En el recuadro "Separadores" deje marcado solamente la opción "Espacio" como se muestra en la figura 3.13 y a continuación de clic en siguiente.



**Figura 3.13:** Paso dos para convertir el Texto en columnas.

- En el recuadro "Formato de los datos en columnas " seleccione la opción "General" como se muestra en la figura 3.14 y a continuación haga clic en finalizar.



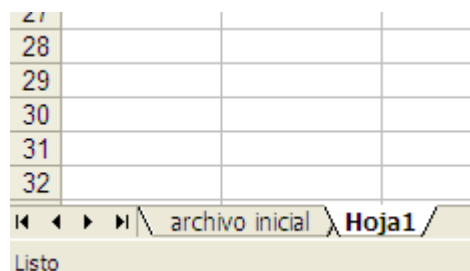
**Figura 3.14:** Paso tres para convertir el Texto en columnas.

- El resultado será una hoja de cálculo de Microsoft Excel con los datos del archivo en formato ASCII ubicados en cada una de sus celdas. En ocasiones una columna en blanco se crea por defecto en esta hoja de cálculo, elimínela de tal forma que se obtenga una hoja de cálculo como se muestra en la figura 3.15.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	4.28E-01	2.48E+00	4.98E+00	7.73E+00	1.05E+01	1.31E+01	1.54E+01	1.72E+01
2	1.86E+01	1.95E+01	1.98E+01	1.95E+01	1.86E+01	1.73E+01	1.56E+01	1.37E+01
3	1.19E+01	1.05E+01	9.56E+00	9.13E+00	9.09E+00	9.15E+00	8.96E+00	8.14E+00
4	6.42E+00	3.70E+00	6.91E-02	-4.19E+00	-8.66E+00	-1.29E+01	-1.66E+01	-1.93E+01
5	-2.12E+01	-2.21E+01	-2.22E+01	-2.18E+01	-2.09E+01	-1.98E+01	-1.82E+01	-1.63E+01
6	-1.40E+01	-1.11E+01	-7.89E+00	-4.40E+00	-8.87E-01	2.38E+00	5.16E+00	7.25E+00
7	8.58E+00	9.19E+00	9.19E+00	8.79E+00	8.21E+00	7.62E+00	7.16E+00	6.91E+00
8	6.87E+00	7.01E+00	7.27E+00	7.60E+00	7.92E+00	8.15E+00	8.19E+00	7.93E+00
9	7.26E+00	6.11E+00	4.48E+00	2.48E+00	3.35E-01	-1.63E+00	-3.04E+00	-3.55E+00

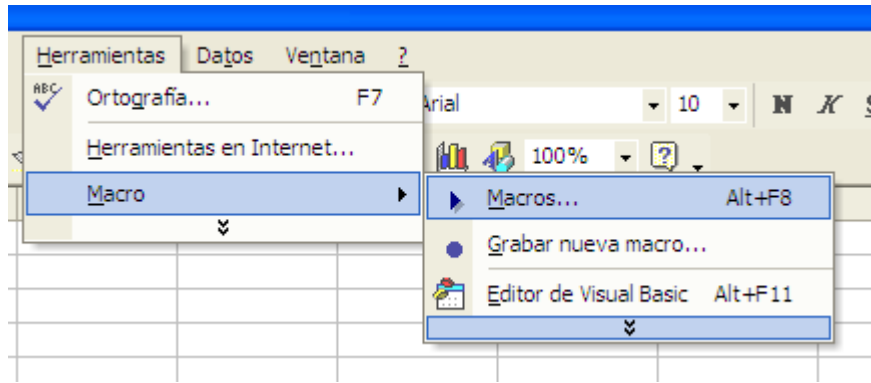
**Figura 3.15:** Archivo de datos dispuestos en celdas individuales.

- Inserte una nueva hoja de cálculo y muévela después de la hoja actual como se muestra en la figura 3.16



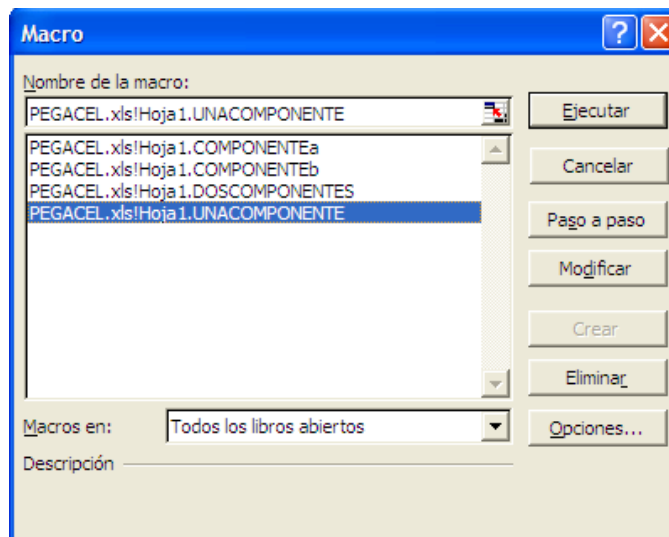
**Figura 3.16:** Nueva hoja de cálculo en el archivo de Microsoft Excel.

- En el menú "Herramientas " seleccione la opción "Macro" y a continuación seleccione "Macros", como se muestra figura 3.17.



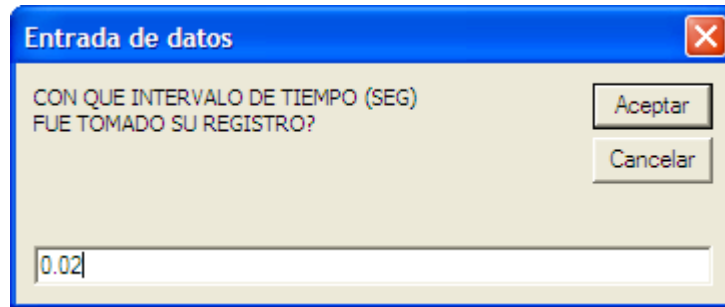
**Figura 3.17:** Opción “Macros” en Microsoft Excel.

- Una pantalla como la que se muestra figura 3. 18 se abre, seleccione la opción una componente y haga clic en ejecutar.



**Figura 3.18:** Selección del sub programa “UNA COMPONENTE”.

- El programa pide inmediatamente ingresar el intervalo de tiempo como se muestra en la figura 3.19, llene el casillero y haga clic en aceptar.



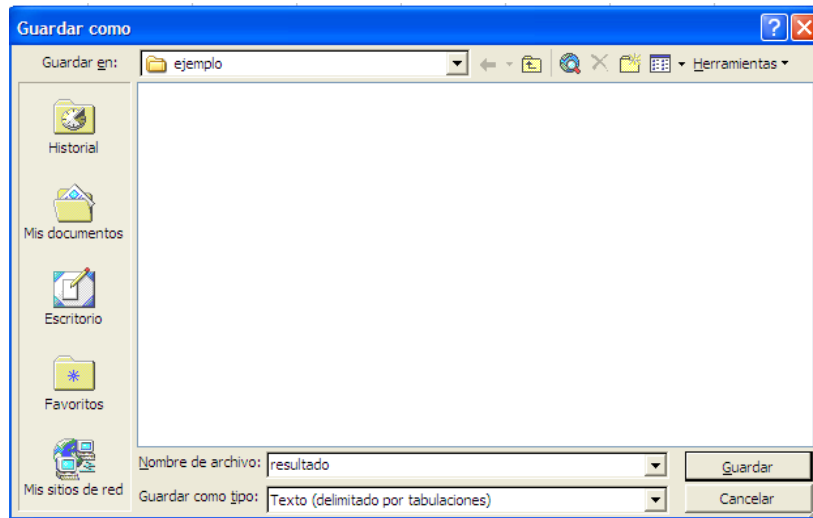
**Figura 3.19:** Intervalo de tiempo del registro.

- Se obtiene entonces una hoja de cálculo con dos columnas como se muestra en la figura 3.20. En la primera columna está el tiempo en segundos y en la segunda los datos de aceleración del registro.

	A	B
1	DT	COMP(a)
2	0.02	0.428
3	0.04	2.48
4	0.06	4.98
5	0.08	7.73
6	0.1	10.5
7	0.12	13.1
8	0.14	15.4

**Figura 3.20:** Resultado final del subprograma “UNA COMPONENTE”.

- Para tener un archivo con una sola columna, elimine la columna con los datos de tiempo y grave la hoja de cálculo como un archivo de tipo “Texto (delimitado por tabulaciones)”, como se ve en la figura 3.21



**Figura 3.21:** Pantalla para gravar un archivo de tipo “Texto (delimitado por tabulaciones).”

El programa PEGACEL tiene otros subprogramas, su utilidad se describe a continuación:

- **DOS COMPONENTES:** Permite convertir dos componentes de un registro de una sola vez, el resultado es una hoja de cálculo con tres columnas. Se utiliza cuando ambas componentes del registro tienen el mismo número de datos.
- **COMPONENTE a:** Se utiliza cuando las componentes del registro no son similares, es decir cuando una de las componentes tiene más datos que la otra. Dispone los datos de la primera componente del registro en una sola columna.
- **COMPONENTE b:** Se utiliza cuando las componentes del registro no son similares, es decir cuando una de las componentes tiene más datos que la otra. Dispone los datos de la segunda componente del registro en una sola columna.

El subprograma “COMPONENTE a” trabaja conjuntamente con el subprograma “COMPONENTE b” para obtener una hoja de cálculo con tres columnas al igual que el subprograma “DOS COMPONENTES”, su utilización es muy similar al subprograma "UNA COMPONENTE" pero con las siguientes variaciones:

- Estos subprogramas trabajan con dos componentes a la vez por lo que se necesita dos hojas de cálculo, en la primera se colocan los datos de la primera componente en celdas individuales, y en la segunda hoja de igual manera los datos de la segunda componente:
- Se inserta una tercera hoja de cálculo al final de las dos anteriores y se ejecuta el subprograma.
- El resultado en la tercera hoja de cálculo son tres columnas como se muestra figura 3.22. En la primera el tiempo en segundos, en la segunda los datos de la primera componente del registro y en la tercera columna los datos de la segunda componente.

	A	B	C
1	DT	COMP(a)	COMP(b)
2	0.005	1	24
3	0.01	2	23
4	0.015	3	22
5	0.02	4	21
6	0.025	5	20
7	0.03	6	19
8	0.035	7	18
9	0.04	8	17
10	0.045	9	16
11	0.05	10	15
12	0.055	11	14
13	0.06	12	13
14	0.065	13	12
15	0.07	14	11

**Figura 3.22:** Archivo con dos componentes del registro.

### 3.1.3 CÓDIGOS FUENTE DEL PROGRAMA PEGACEL

```
Sub UNACOMPONENTE()  
Dim DT As String  
Dim FILA As Integer  
Dim FILA2 As Integer  
Dim COL As Integer  
DT = InputBox("CON QUE INTERVALO DE TIEMPO (SEG)" & Chr(13) & "FUE TOMADO SU REGISTRO? ",  
"Entrada de datos ")  
FILA = 1  
FILA2 = 1  
Worksheets(2).Cells(1, 1).Value = "DT"  
Worksheets(2).Cells(1, 2).Value = "COMP(a)"  
For COL = 1 To 100  
Worksheets(2).Cells(FILA + 1, 1).Value = DT * FILA  
Worksheets(2).Cells(FILA + 1, 2).Value = Worksheets(1).Cells(FILA2, COL).Value  
FILA = FILA + 1  
If Worksheets(1).Cells(FILA2, COL + 1).Value = "" Then  
FILA2 = FILA2 + 1  
COL = 0  
End If  
If Worksheets(1).Cells(FILA2, 1).Value = "" Then  
End  
End If  
Next COL  
End Sub
```

```
Sub DOSCOMPONENTES()  
Dim DT As String  
Dim FILA As Integer  
Dim FILA2 As Integer  
Dim COL As Integer  
DT = InputBox("CON QUE INTERVALO DE TIEMPO (SEG)" & Chr(13) & "FUE TOMADO SU REGISTRO? ",  
"Entrada de datos ")  
FILA = 1  
FILA2 = 1  
Worksheets(3).Cells(1, 1).Value = "DT"  
Worksheets(3).Cells(1, 2).Value = "COMP(a)"  
Worksheets(3).Cells(1, 3).Value = "COMP(b)"  
For COL = 1 To 100  
Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 1).Value = DT * FILA  
Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 2).Value = Worksheets(1).Cells(FILA2, COL).Value  
Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 3).Value = Worksheets(2).Cells(FILA2, COL).Value  
FILA = FILA + 1  
If Worksheets(1).Cells(FILA2, COL + 1).Value = "" Then  
FILA2 = FILA2 + 1  
COL = 0  
End If  
If Worksheets(1).Cells(FILA2, 1).Value = "" Then  
End  
End If  
Next COL  
End Sub
```

```
Sub COMPONENTEa()  
Dim DT As String  
Dim FILA As Integer  
Dim FILA2 As Integer  
Dim COL As Integer  
DT = InputBox("CON QUE INTERVALO DE TIEMPO (SEG)" & Chr(13) & "FUE TOMADO SU REGISTRO? ",  
"Entrada de datos ")  
FILA = 1
```



```

FILA2 = 1
Worksheets(3).Cells(1, 1).Value = "DT"
Worksheets(3).Cells(1, 2).Value = "COMP(a)"
For COL = 1 To 100
    Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 1).Value = DT * FILA
    Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 2).Value = Worksheets(1).Cells(FILA2, COL).Value
    FILA = FILA + 1
    If Worksheets(1).Cells(FILA2, COL + 1).Value = "" Then
        FILA2 = FILA2 + 1
        COL = 0
    End If
    If Worksheets(1).Cells(FILA2, 1).Value = "" Then
        End
    End If
Next COL
End Sub

Sub COMPONENTEb()
Dim DT As String
Dim FILA As Integer
Dim FILA2 As Integer
Dim COL As Integer
DT = InputBox("CON QUE INTERVALO DE TIEMPO (SEG)" & Chr(13) & "FUE TOMADO SU REGISTRO? ",
"Entrada de datos ")
FILA = 1
FILA2 = 1
Worksheets(3).Cells(1, 1).Value = "DT"
Worksheets(3).Cells(1, 3).Value = "COMP(b)"
For COL = 1 To 100
    Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 1).Value = DT * FILA
    Worksheets(3).Cells(FILA + 1, 3).Value = Worksheets(2).Cells(FILA2, COL).Value
    FILA = FILA + 1
    If Worksheets(2).Cells(FILA2, COL + 1).Value = "" Then
        FILA2 = FILA2 + 1
        COL = 0
    End If
    If Worksheets(2).Cells(FILA2, 1).Value = "" Then
        End
    End If
Next COL
End Sub

```

### 3.2 VENTAJA DE UTILIZAR ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO.

En la metodología descrita en el capítulo II para calcular rápidamente el Drift se presentan las siguientes ecuaciones:

- FEMA (1997)

$$Dt = Co * C1 * C2 * C3 * Sa * \frac{Te^2}{4\pi^2} \quad (3.1)$$

- Miranda (1997)

$$\gamma = \beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4 \frac{Sd}{H} \quad (3.2)$$

- Gupta y Krawinkler (2000)

$$\theta_{MDOF,inel,PA} = \alpha_{MDOF} * \alpha_{INEL} * \alpha_{\Delta P} * \alpha_{ST} \left( \frac{Sd}{H} \right) \quad (3.3)$$

Donde Sd es el desplazamiento espectral elástico para un período determinado y Sa es la aceleración espectral elástica.

Existe una relación aproximada entre ambos términos:

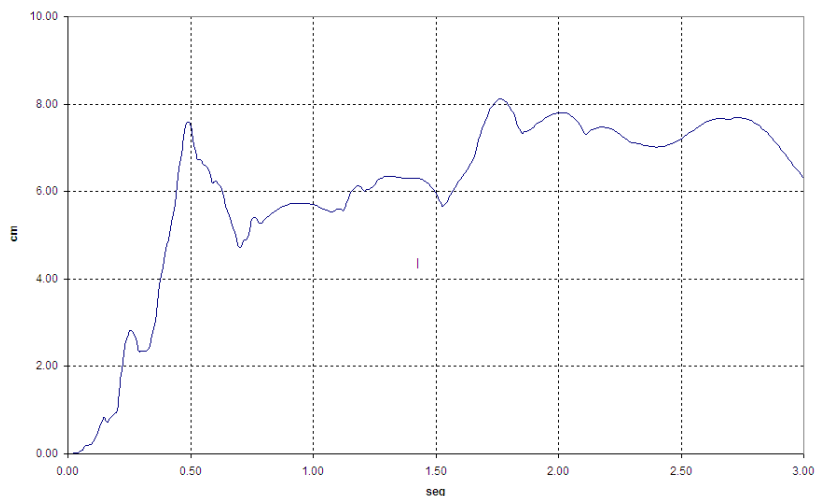
$$\frac{T^2}{4\pi^2} Sa = Sd$$

Es costumbre trabajar en Ecuador y en países de América del Sur con espectros de aceleración, por lo que podría usarse la relación antes mencionada para transformar estos espectros de aceleración a espectros de desplazamiento, sin embargo el programa DEGTRA A4, permite calcular espectros de desplazamiento elásticos por lo que a sus datos se pueden aplicar directamente las ecuaciones antes mencionadas.

Los Espectros de desplazamiento elásticos calculados con el programa DEGTRA A4 se presentan a continuación, organizados por países de la siguiente forma:

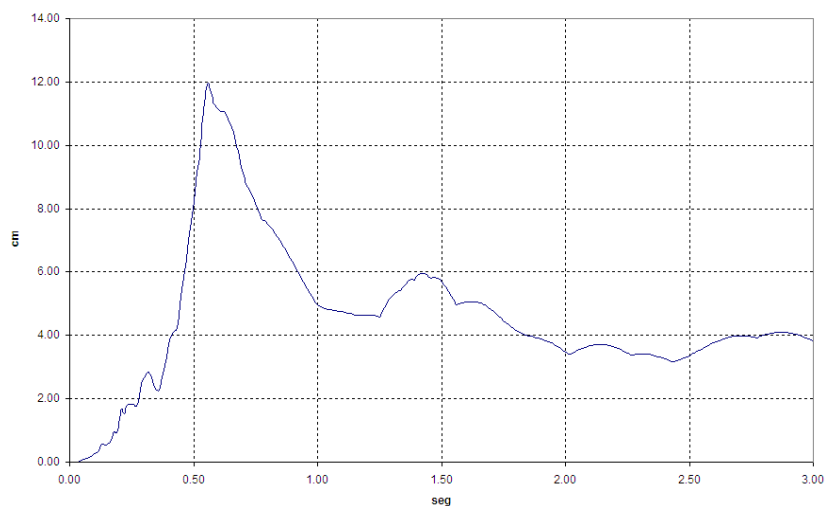
### 3.3 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE COLOMBIA.

En la Figura 3.23 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente E-W (registro código 31a).



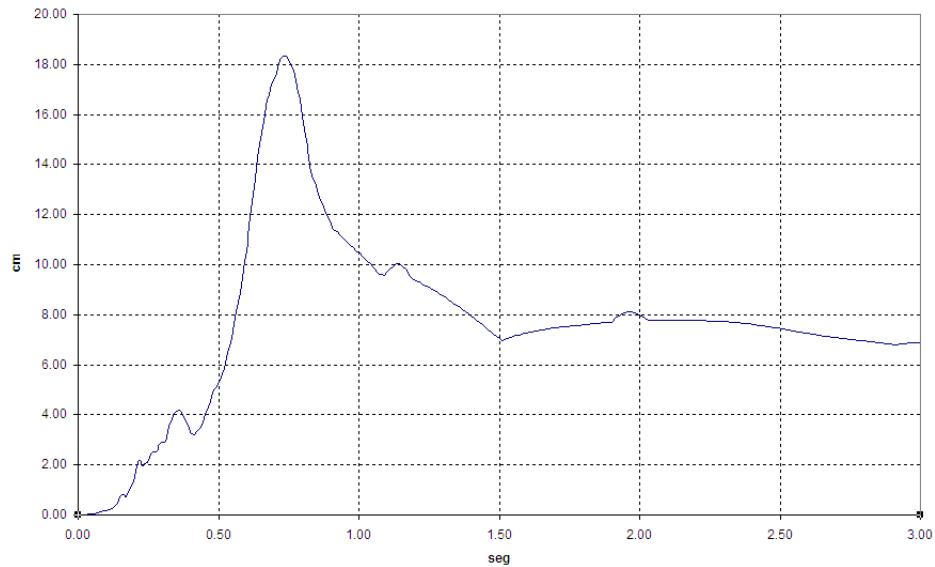
**Figura 3.23:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 31a).

En la Figura 3.24 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente N-S (registro código 31b).



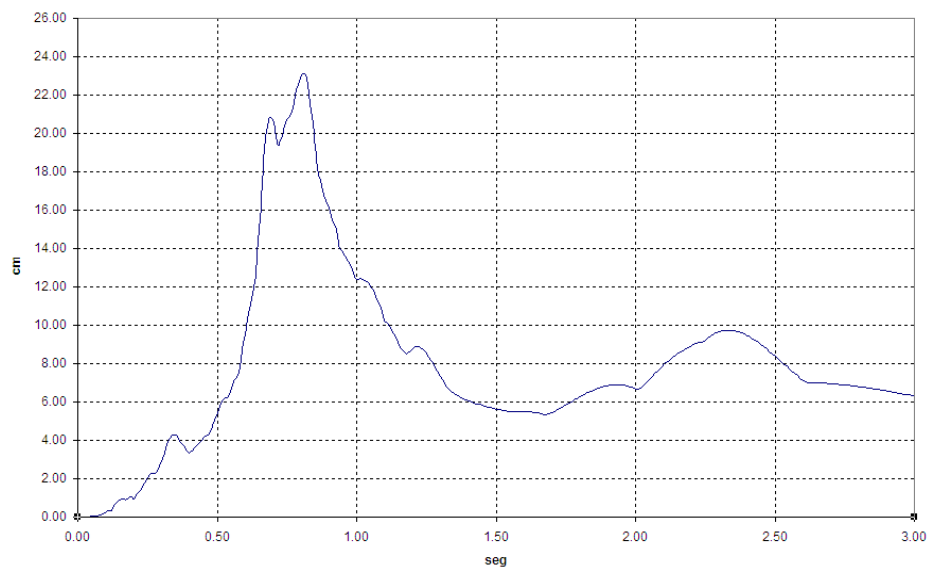
**Figura 3.24:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 31b).

En la Figura 3.25 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación "FILANDIA (CFLAN)", componente E-W (registro código 32a).



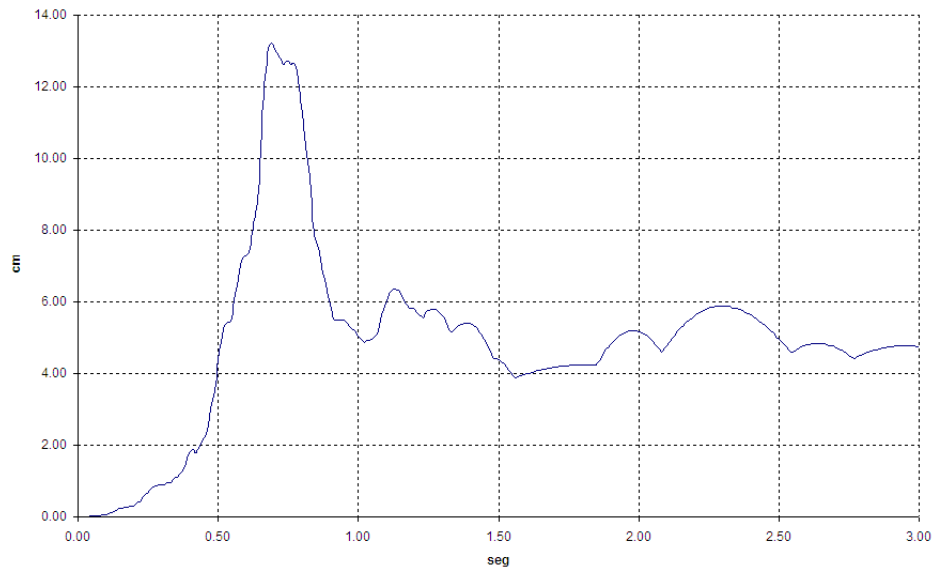
**Figura 3.25:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 32a).

En la Figura 3.26 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación "FILANDIA (CFLAN)", componente N-S (registro código 32b).



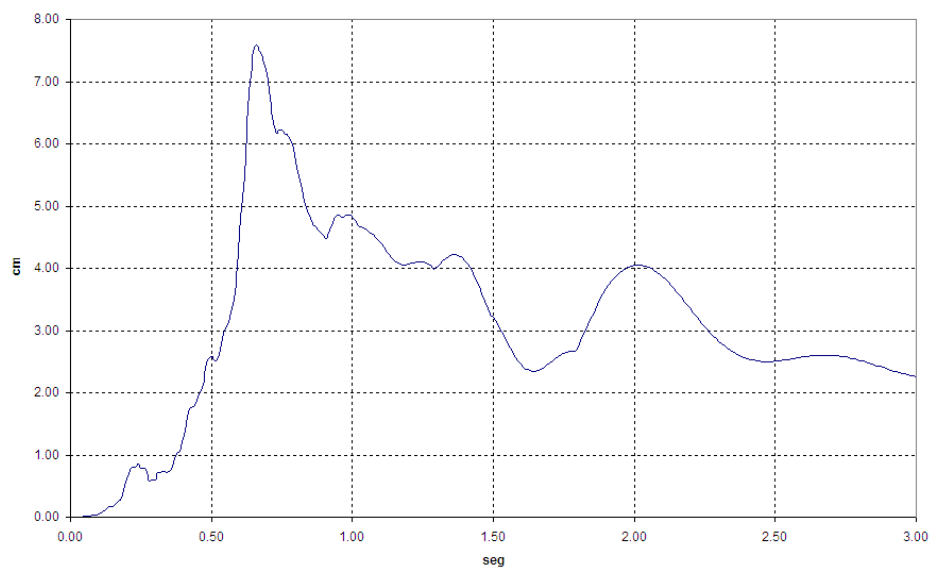
**Figura 3.26:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 32b).

En la Figura 3.27 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente E-W (registro código 33a).



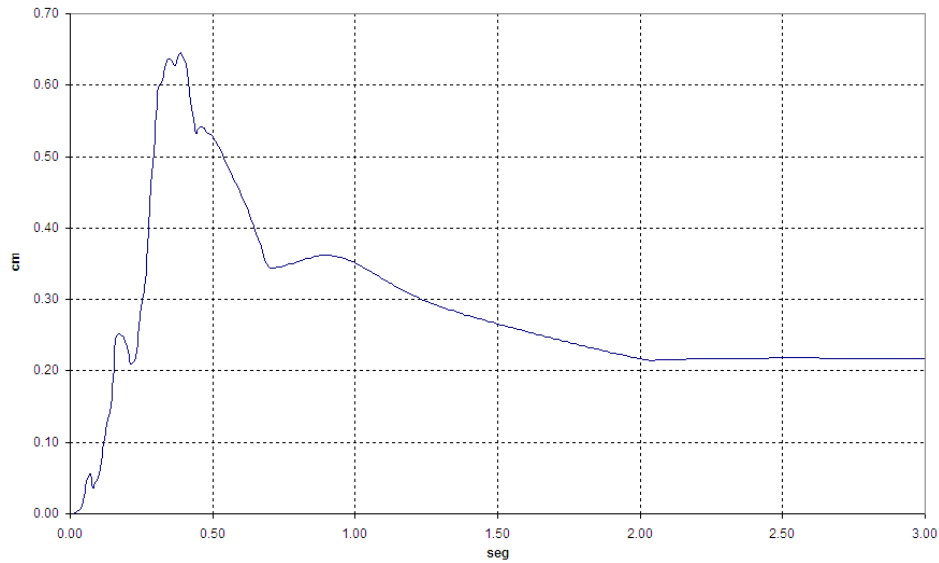
**Figura 3.27:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 33a).

En la Figura 3.28 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente N-S (registro código 33b).



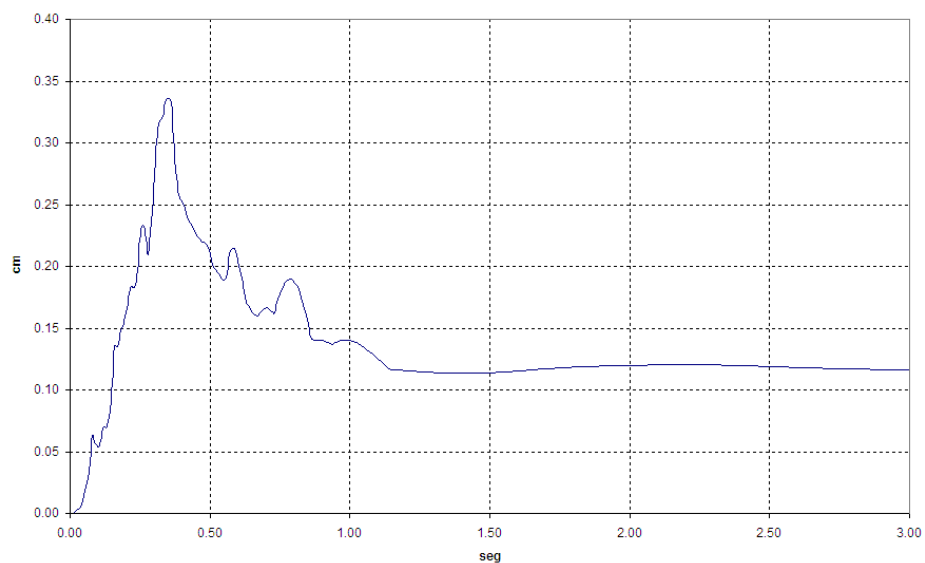
**Figura 3.28:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 33b).

En la Figura 3.29 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 17/07/1998 registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente E-W (registro código 34a).



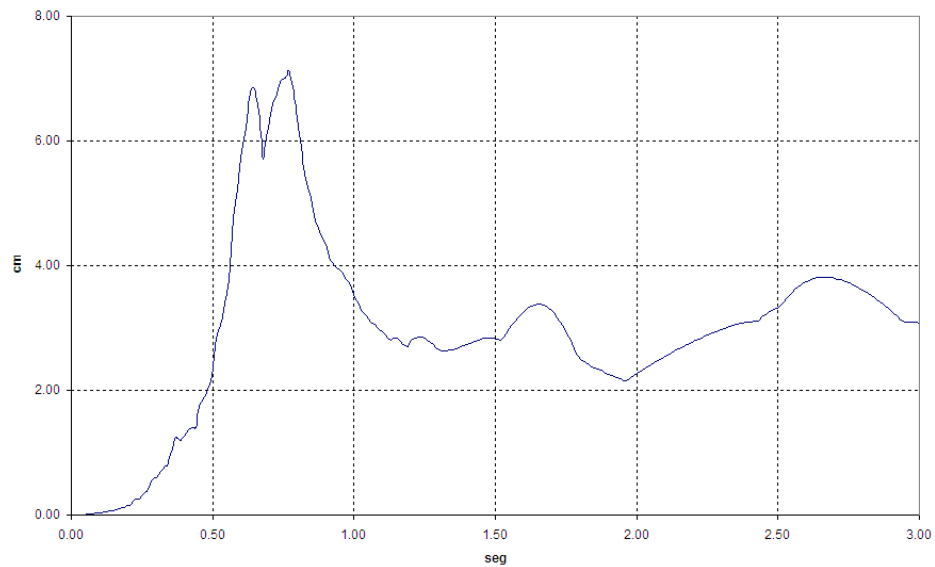
**Figura 3.29:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 34a).

En la Figura 3.30 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 17/07/1998 registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente N-S (registro código 34b).



**Figura 3.30:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 34b).

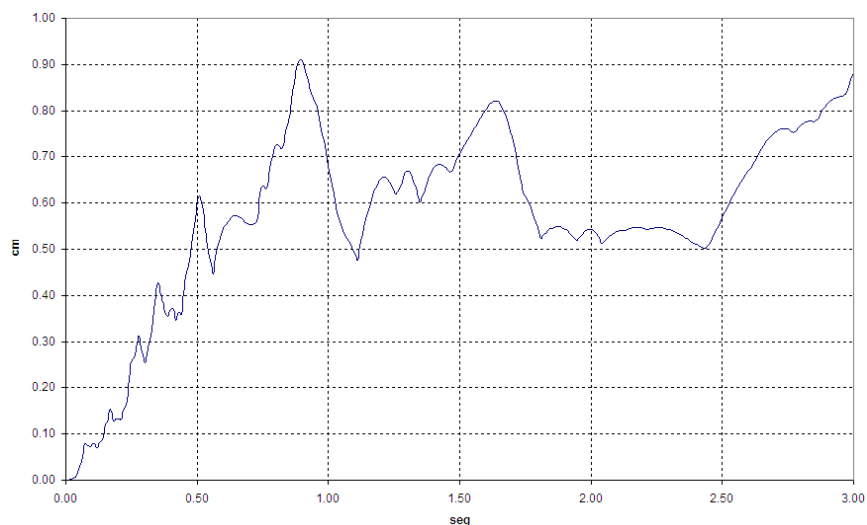
En la Figura 3.31 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 19/02/1997 registrado en la Estación “PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)”, componente E-W (registro código 35).



**Figura 3.31:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 35).

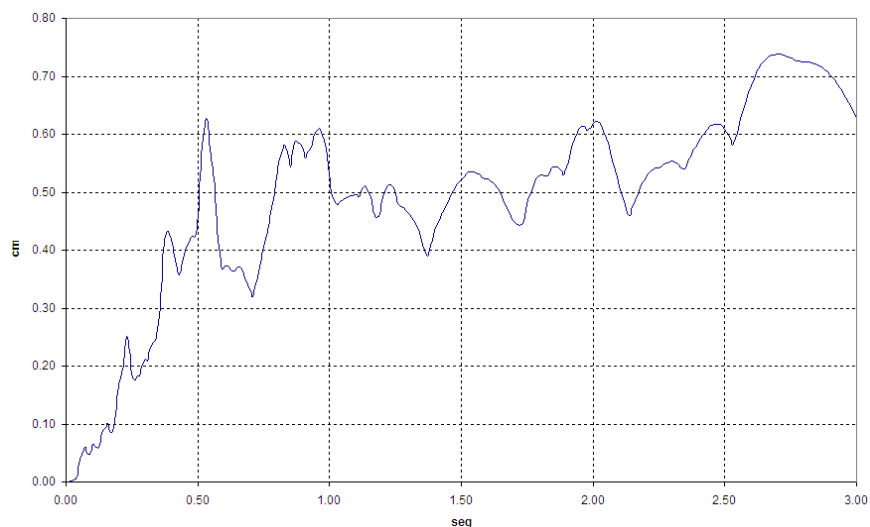
### 3.4 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE PERÚ.

En la Figura 3.32 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “CHARACATO”, componente E-W (registro código 01a).



**Figura 3.32:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 01a).

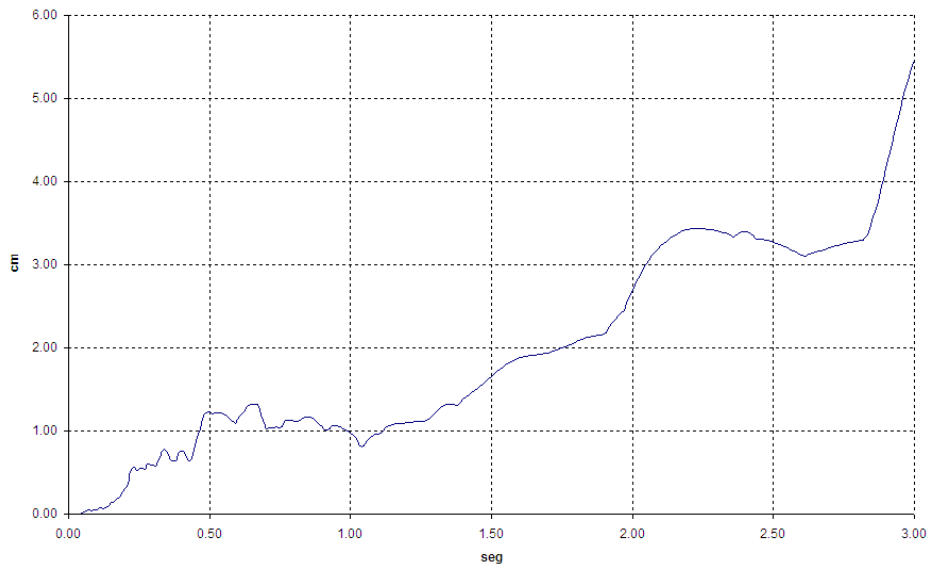
En la Figura 3.33 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “CHARACATO”, componente N-S (registro código 01b).



**Figura 3.33:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 01b).

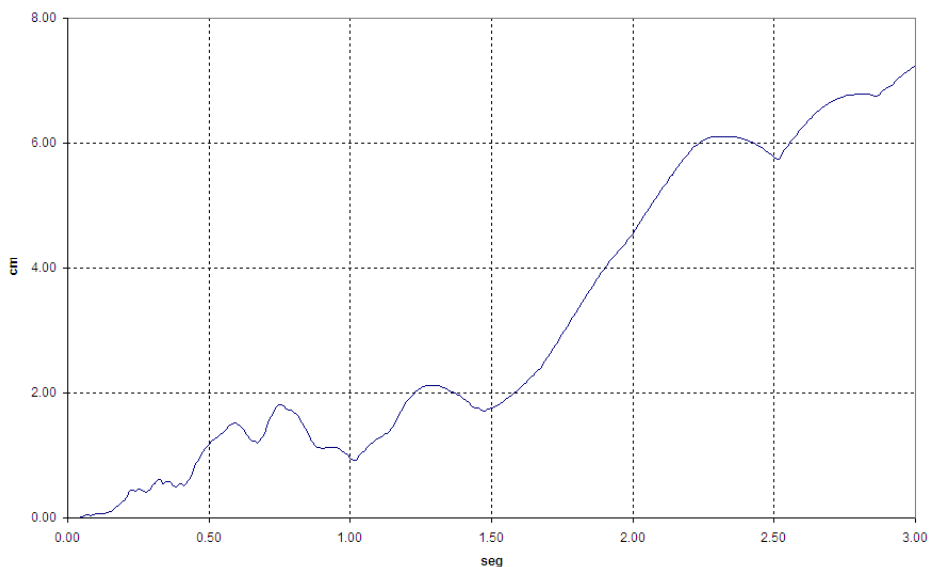


En la Figura 3.34 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente E-W (registro código 02a).



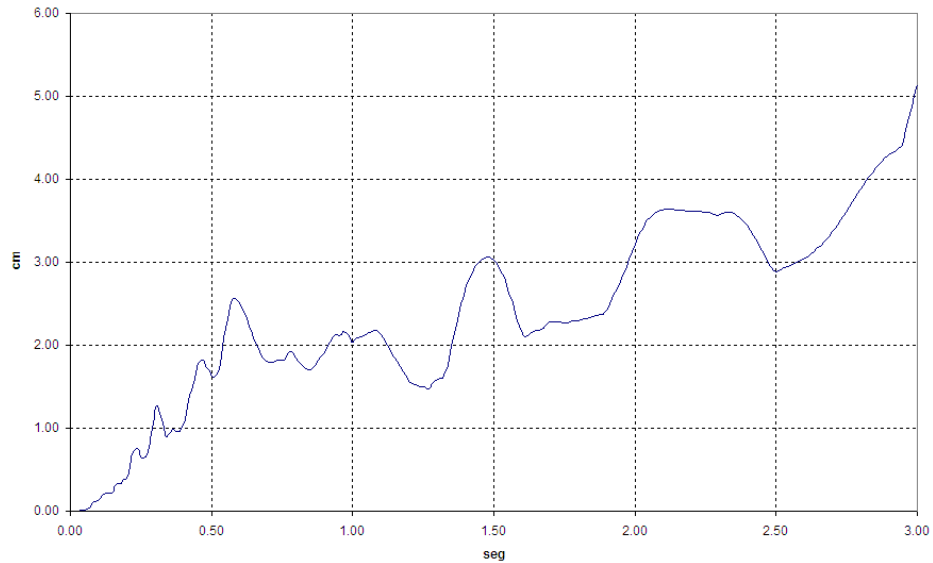
**Figura 3.34:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 02a).

En la Figura 3.35 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente N-S (registro código 02b).



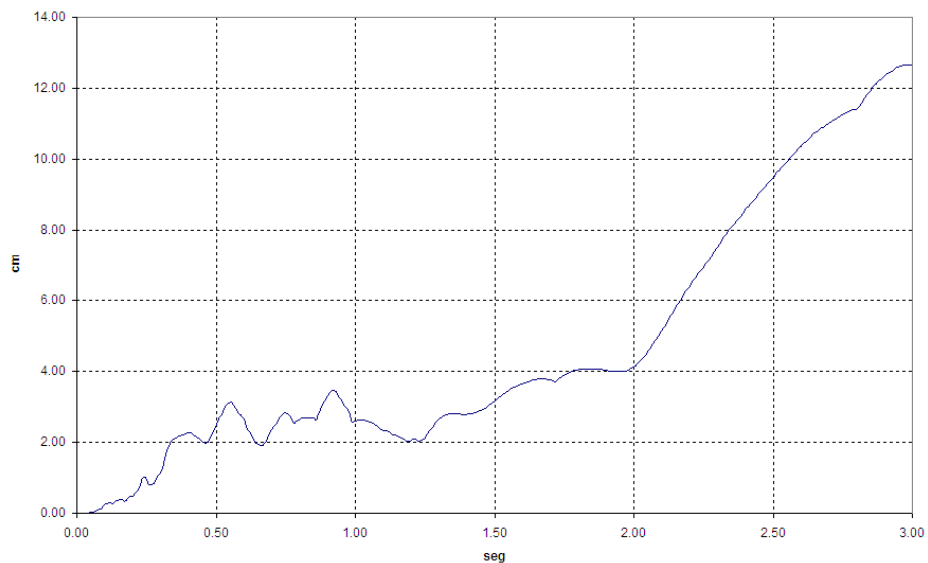
**Figura 3.35:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 02b).

En la Figura 3.36 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 17/10/1966 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 03a).



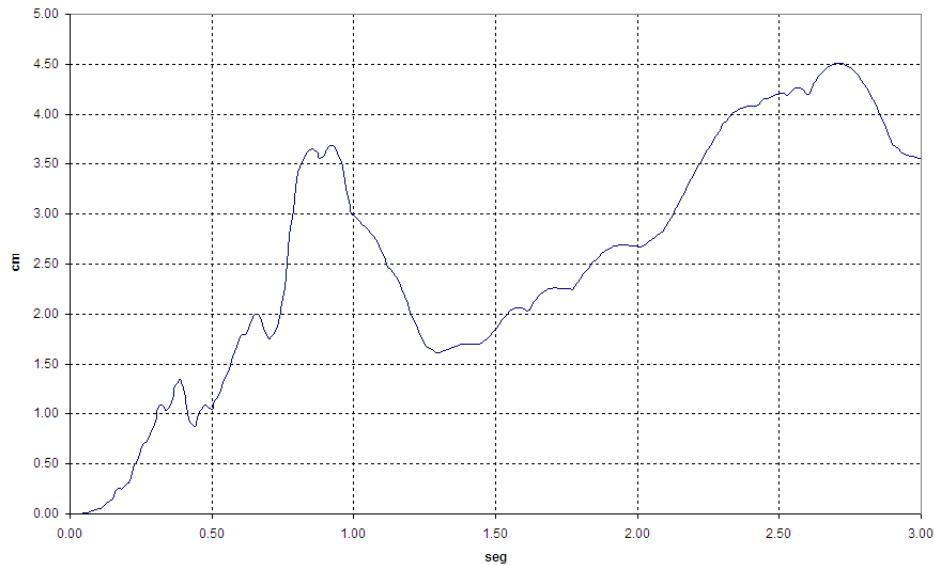
**Figura 3.36:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 03a).

En la Figura 3.37 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 17/10/1966 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 03b).



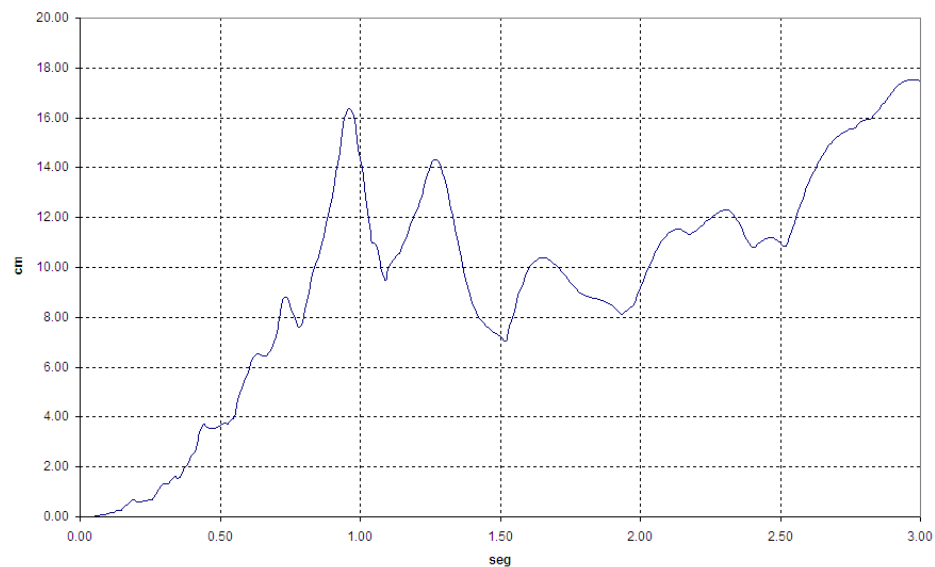
**Figura 3.37:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 03b).

En la Figura 3.38 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 09/11/1974 registrado en la Estación “LA MOLINA”, componente E-W (registro código 04).



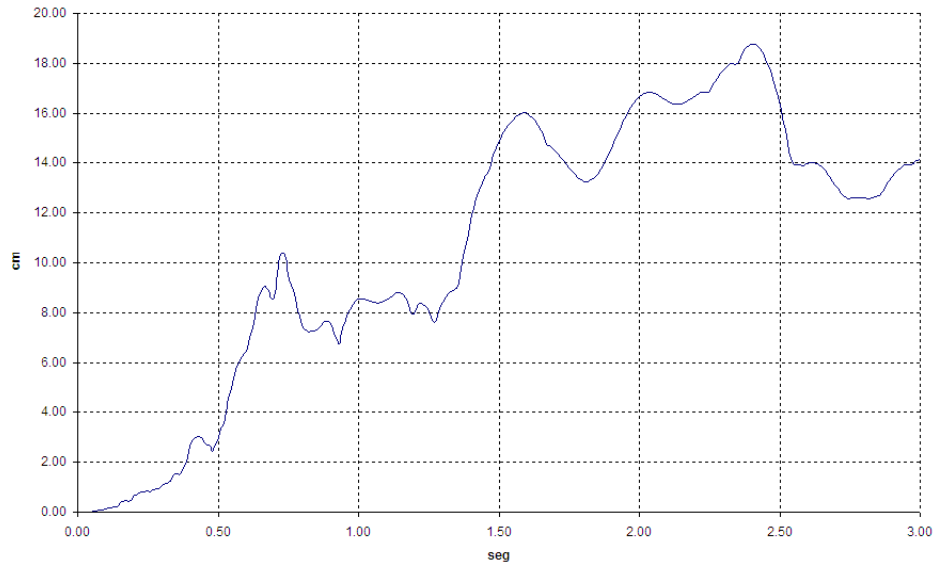
**Figura 3.38:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 04).

En la Figura 3.39 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/06/2001 registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente E-W (registro código 05a).



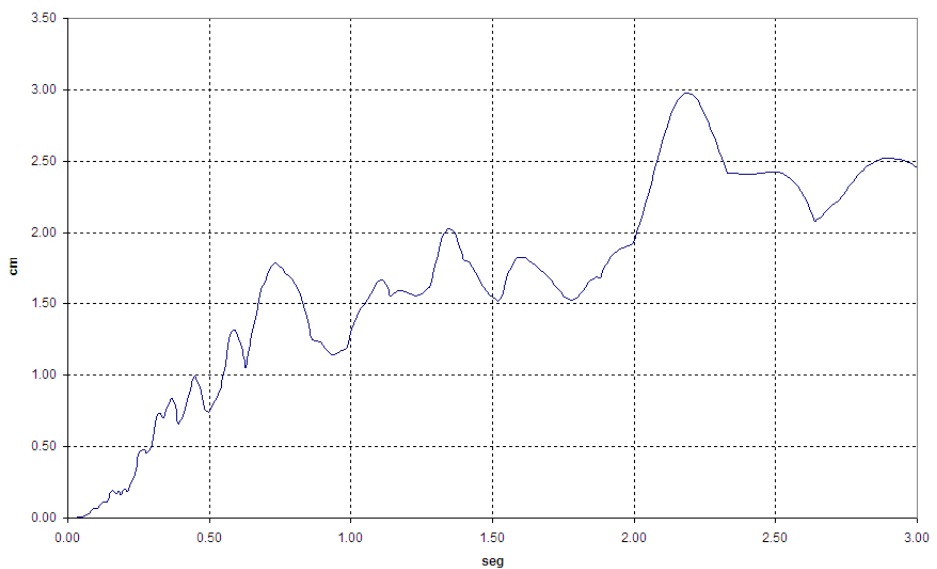
**Figura 3.39:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 05a).

En la Figura 3.40 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/06/2001 registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente N-S (registro código 05b).



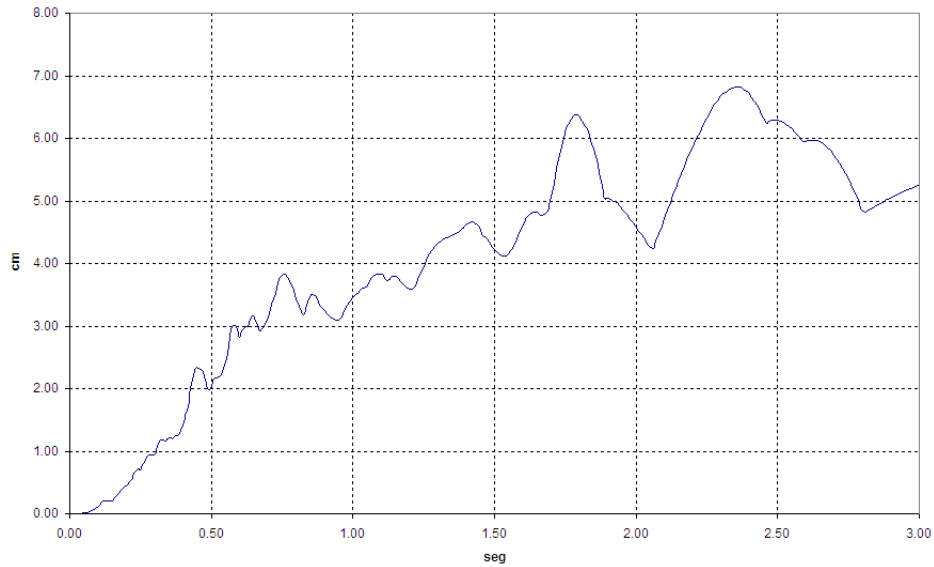
**Figura 3.40:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 05b).

En la Figura 3.41 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 31/05/1970 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 06).



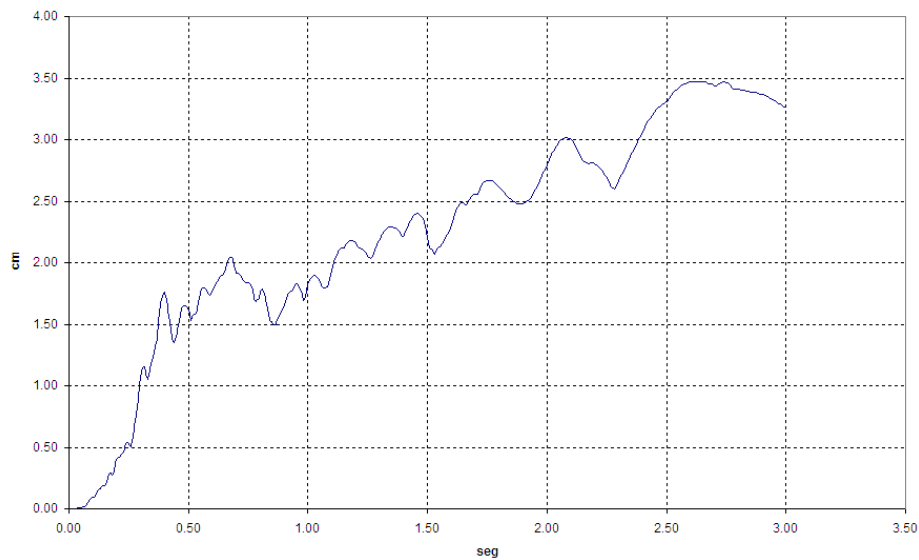
**Figura 3.41:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 06).

En la Figura 3.42 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 07a).



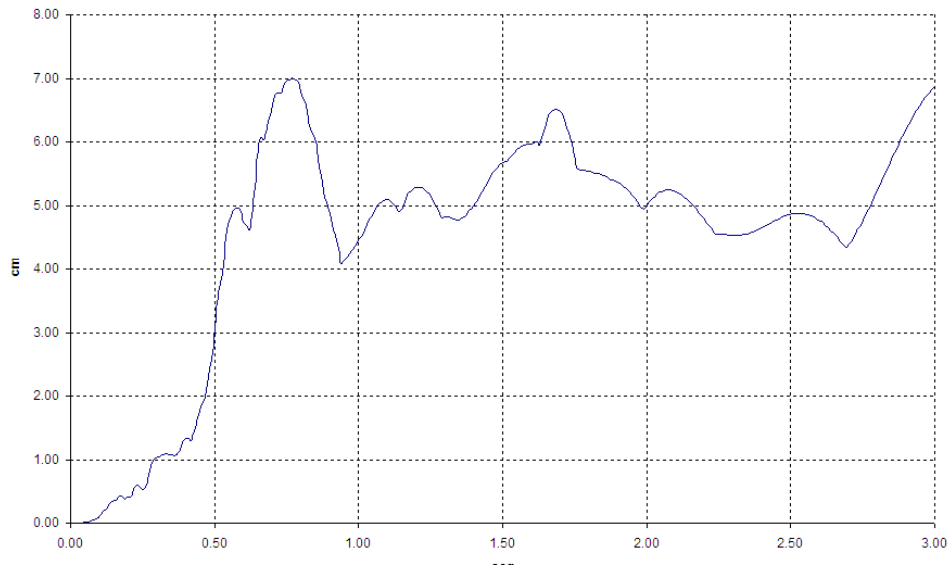
**Figura 3.42:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 07a).

En la Figura 3.43 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 07b).



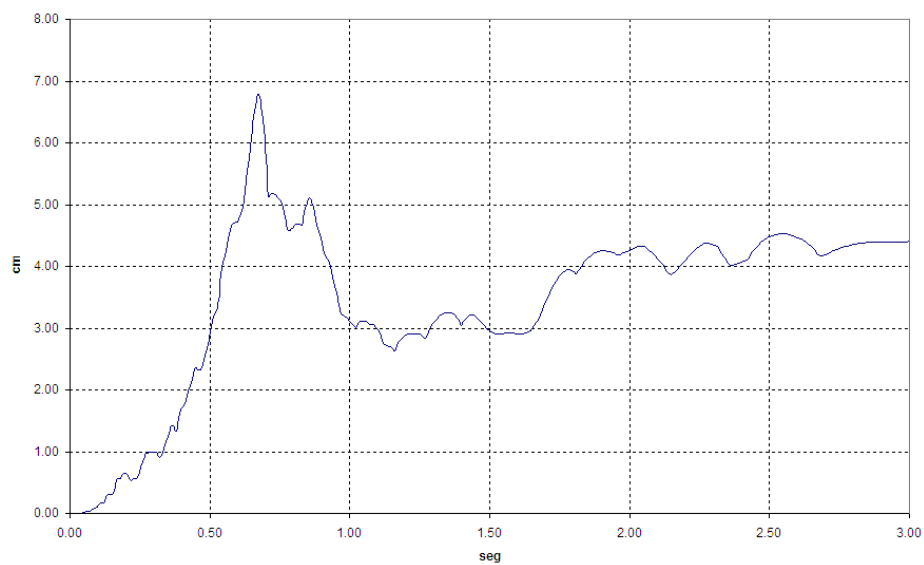
**Figura 3.43:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 07b).

En la Figura 3.44 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “SURCO”, componente E-W (registro código 08a).



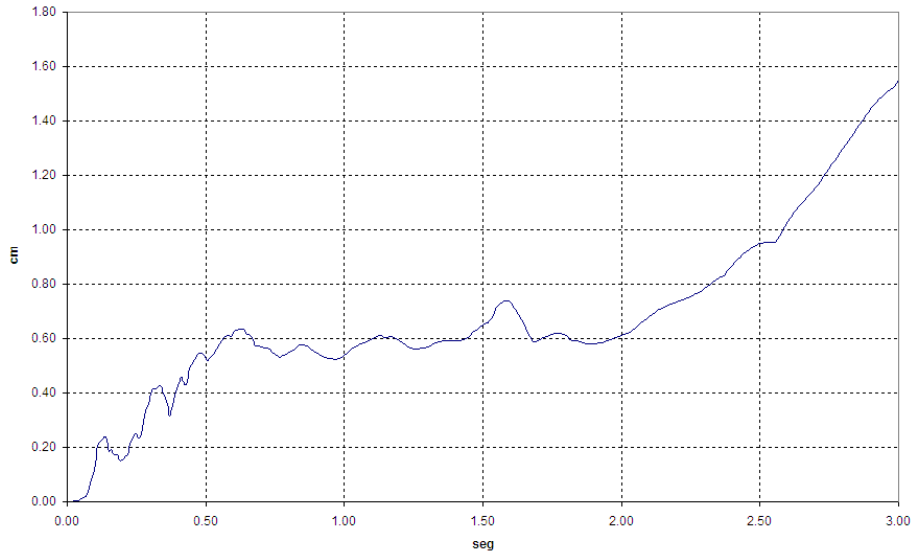
**Figura 3.44:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 08a).

En la Figura 3.45 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “SURCO”, componente N-S (registro código 08b).



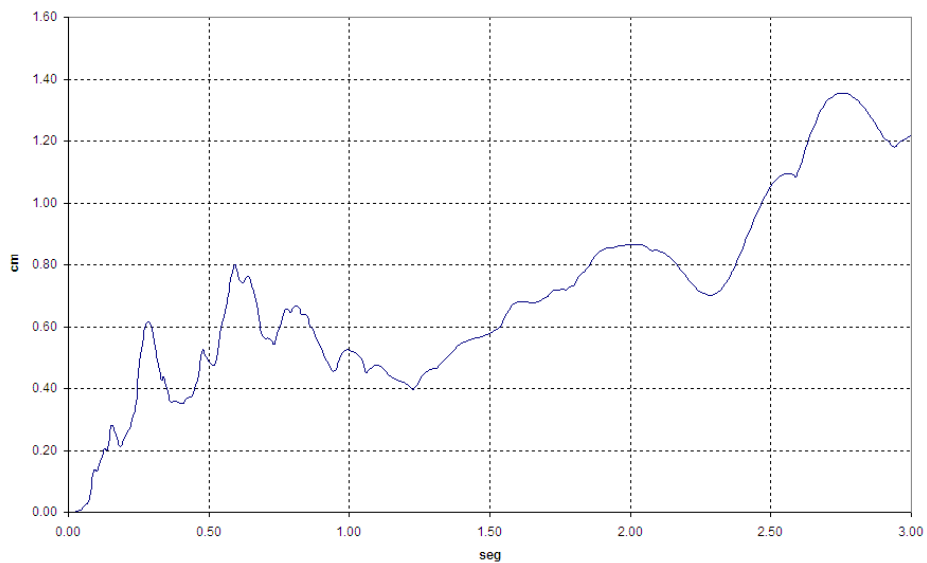
**Figura 3.45:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 08a).

En la Figura 3.46 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 05/01/1974 registrado en la Estación "ZARATE", componente E-W (registro código 08a).



**Figura 3.46:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 09a).

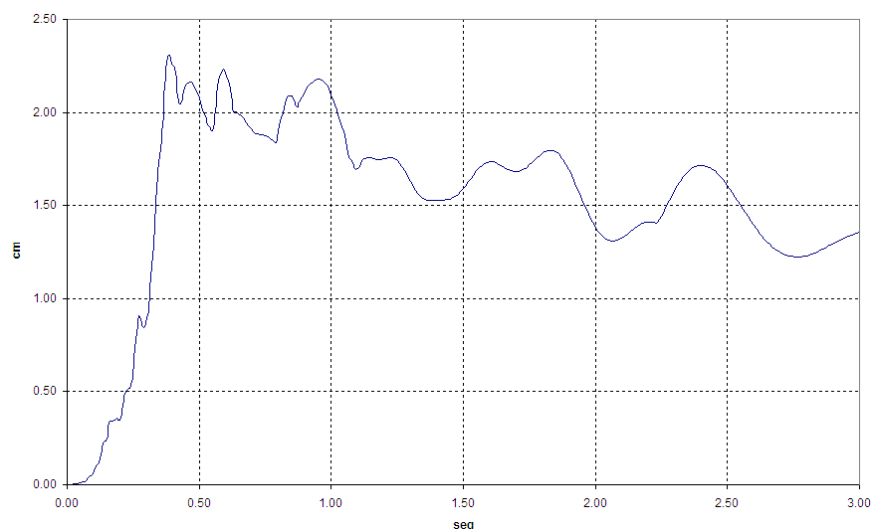
En la Figura 3.47 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 05/01/1974 registrado en la Estación "ZARATE", componente N-S (registro código 09b).



**Figura 3.47:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 09b).

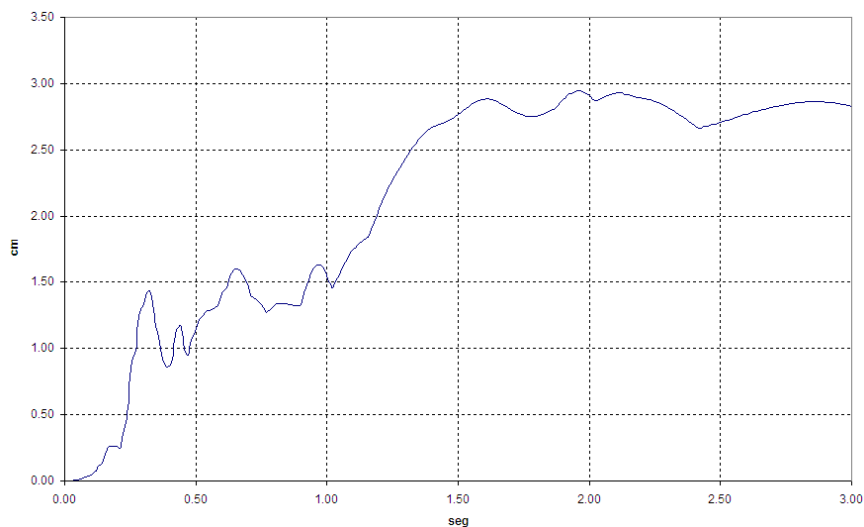
### 3.5 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE CHILE.

En la Figura 3.48 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación "ILOCA", componente N-S (registro código 10a).



**Figura 3.48:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 10a).

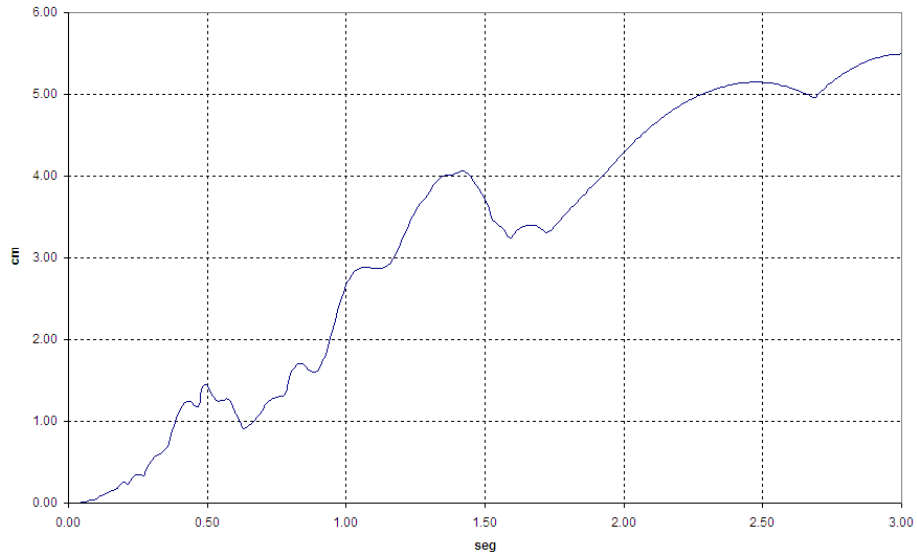
En la Figura 3.49 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación "ILOCA", componente E-W (registro código 10b).



**Figura 3.49:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 10b).

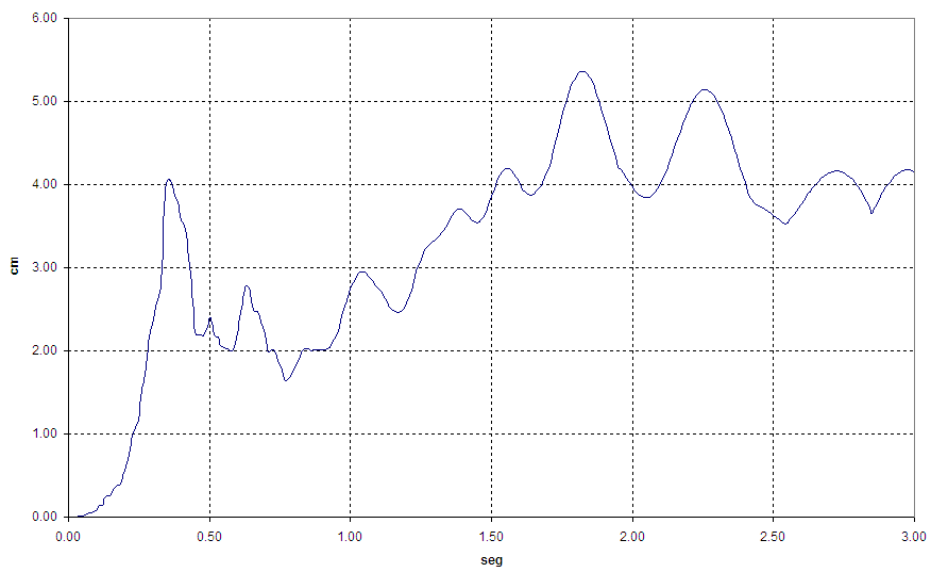


En la Figura 3.50 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación "RAPEL", componente E-W (registro código 11).



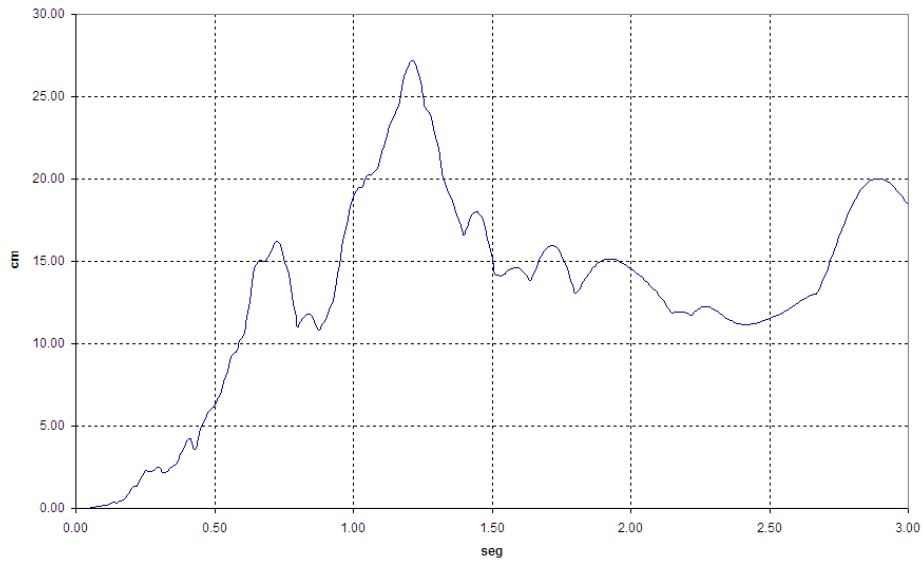
**Figura 3.50:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 11).

En la Figura 3.51 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "PAPUDO", componente 140° (registro código 12).



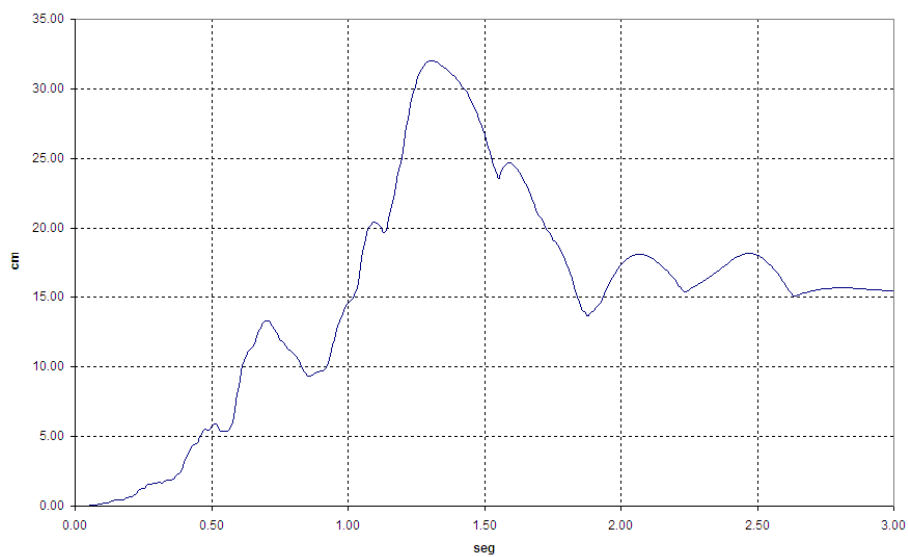
**Figura 3.51:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 12).

En la Figura 3.52 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 280° (registro código 13a).



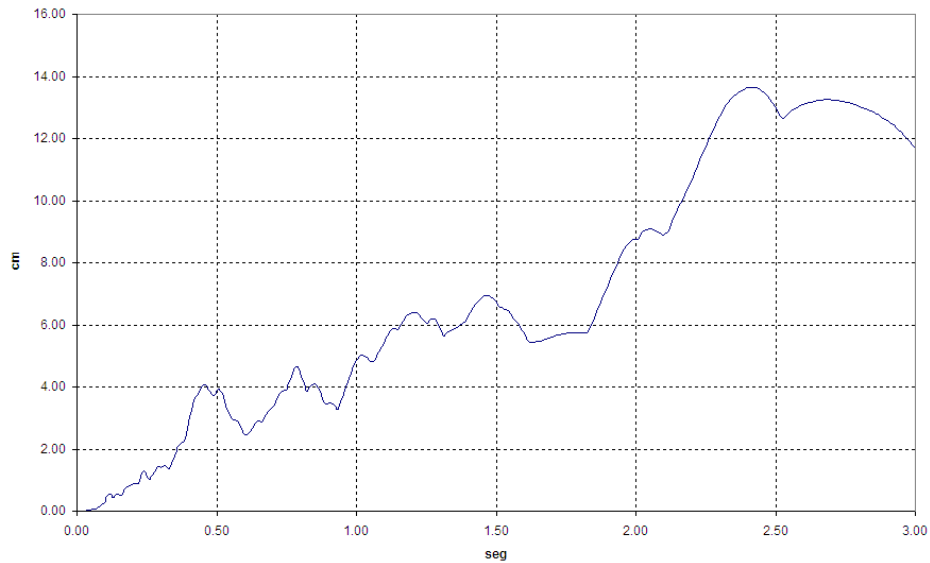
**Figura 3.52:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 13a).

En la Figura 3.53 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 190° (registro código 13b).



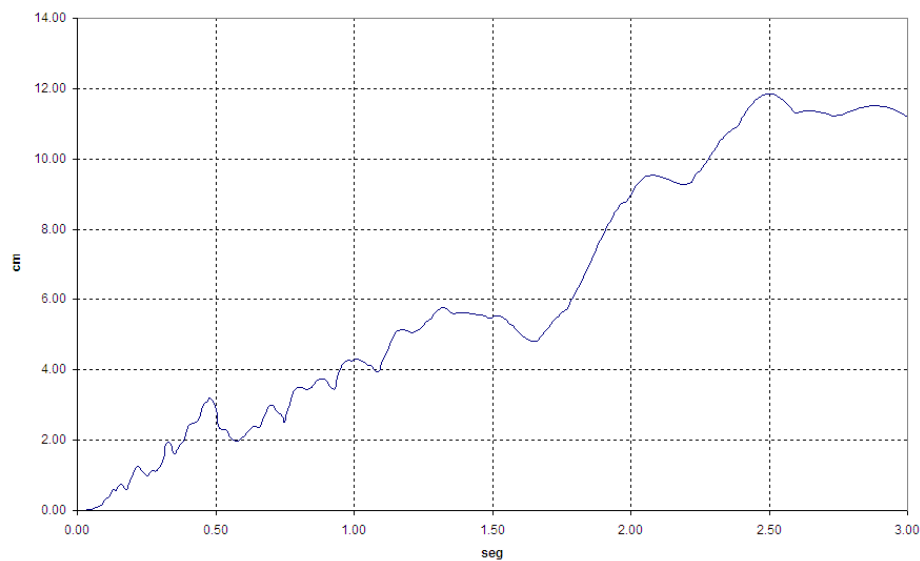
**Figura 3.53:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 13b).

En la Figura 3.54 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "SAN FELIPE", componente 170° (registro código 14a).



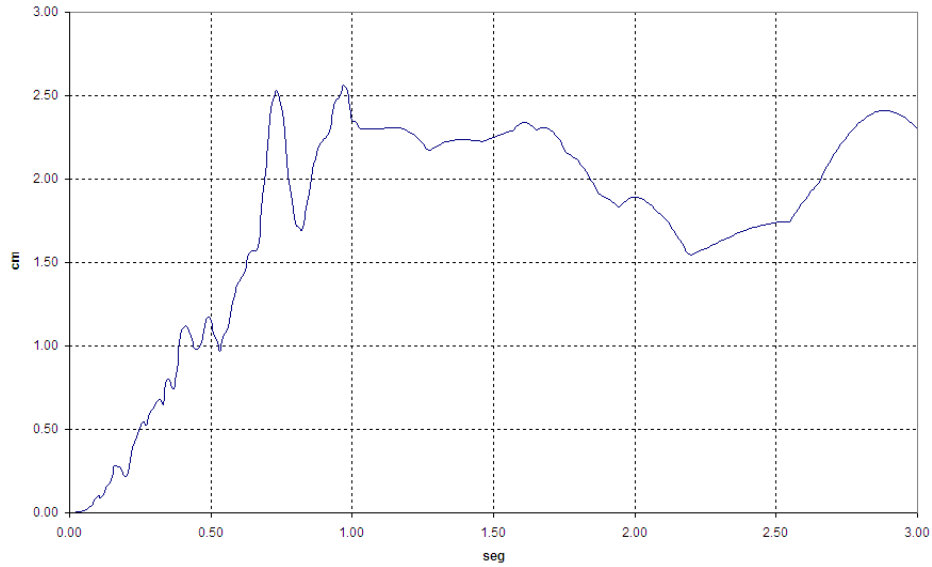
**Figura 3.54:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 14a).

En la Figura 3.55 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "SAN FELIPE", componente 80° (registro código 14b).



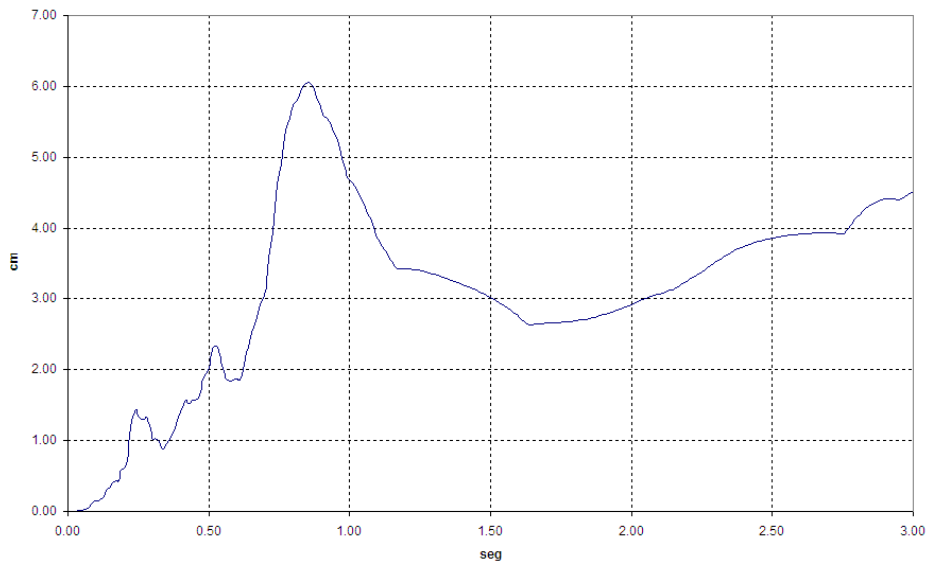
**Figura 3.55:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 14b).

En la Figura 3.56 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 08/04/1985 registrado en la Estación "LLOLLEO", componente 100° (registro código 15a).



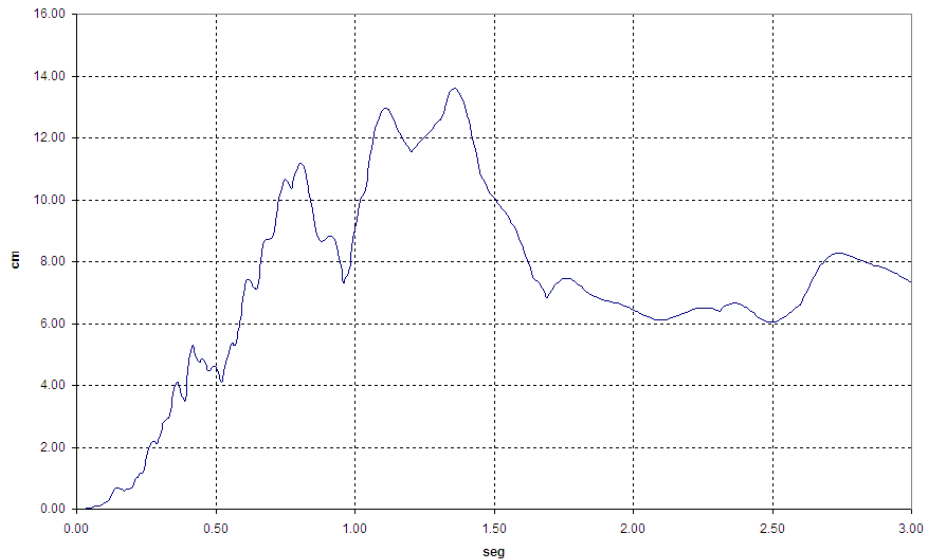
**Figura 3.56:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 15a).

En la Figura 3.57 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 08/04/1985 registrado en la Estación "LLOLLEO", componente 10° (registro código 15a).



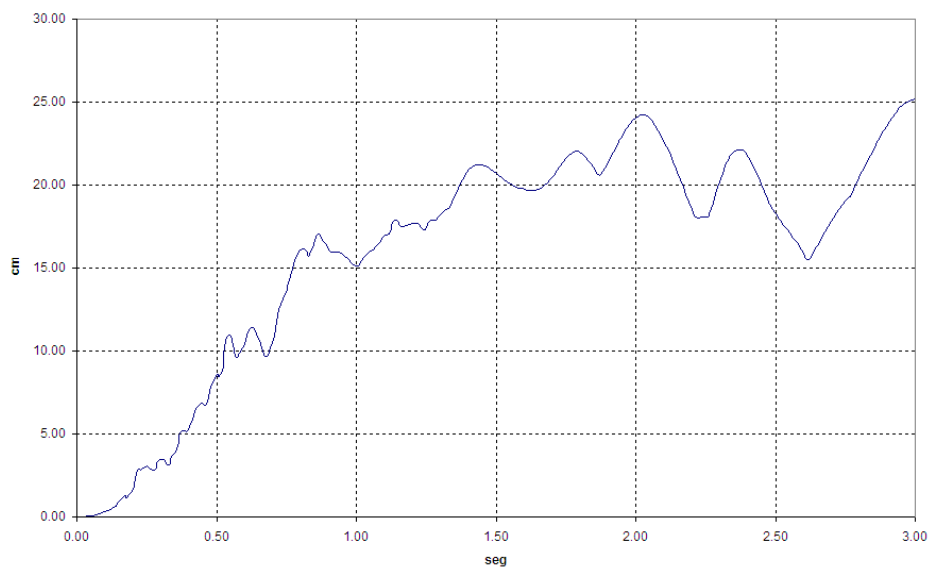
**Figura 3.57:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 15b).

En la Figura 3.58 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 100° (registro código 16a).



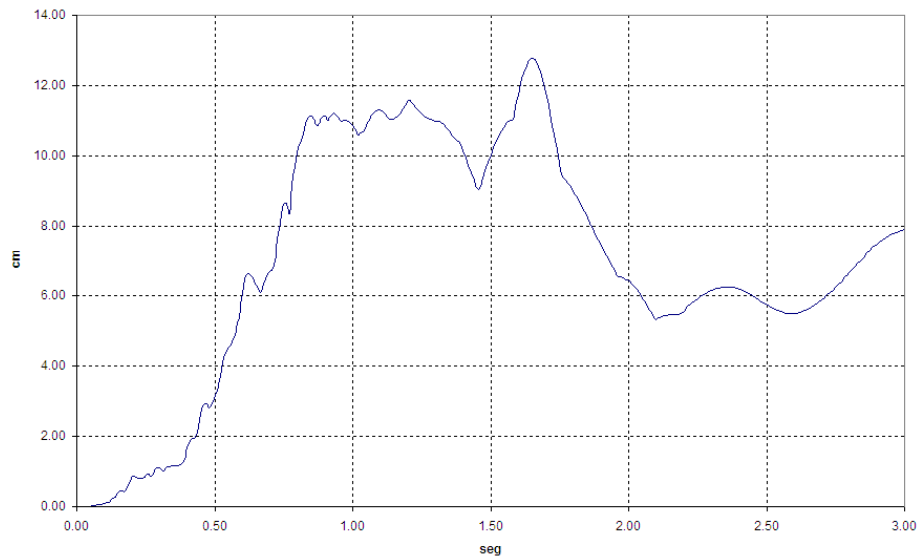
**Figura 3.58:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 16a).

En la Figura 3.59 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 10° (registro código 16b).



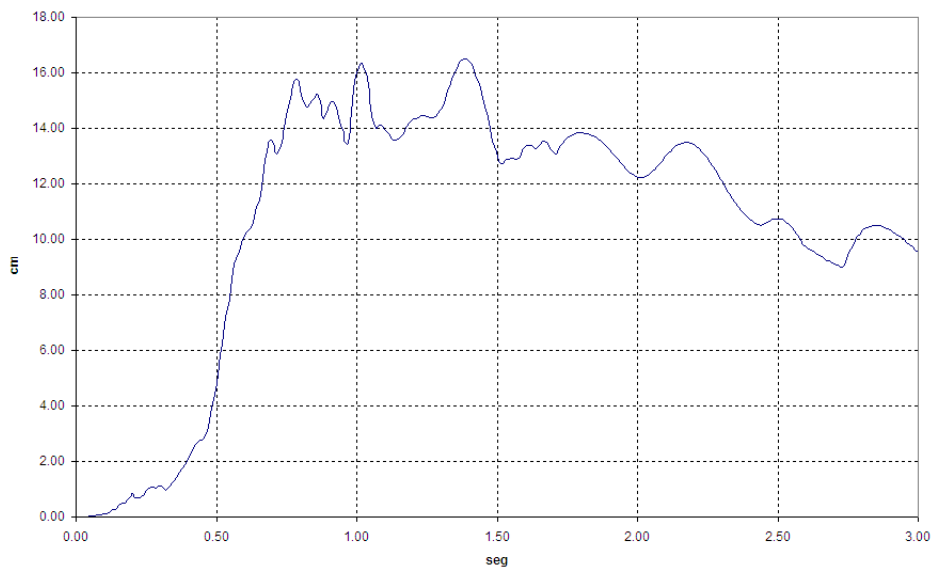
**Figura 3.59:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 16b).

En la Figura 3.60 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 290° (registro código 17a).



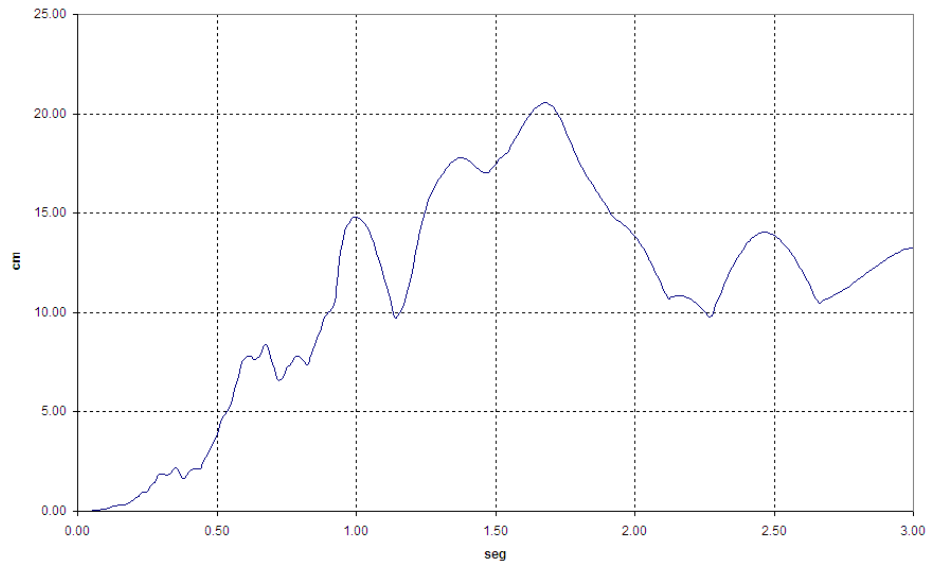
**Figura 3.60:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 17a).

En la Figura 3.61 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 200° (registro código 17b).



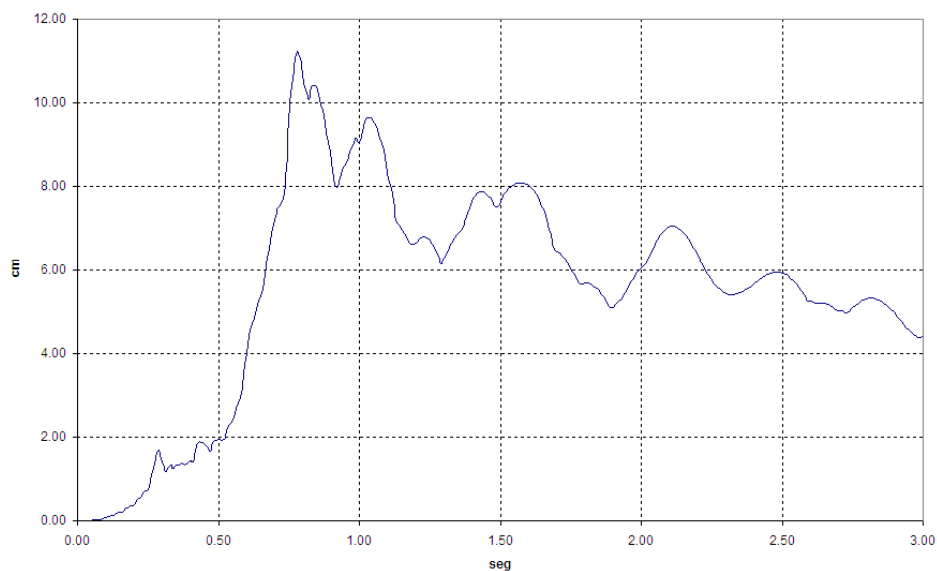
**Figura 3.61:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 17b).

En la Figura 3.62 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VALPARAISO EL ALMENDRAL, (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 50° (registro código 18a).



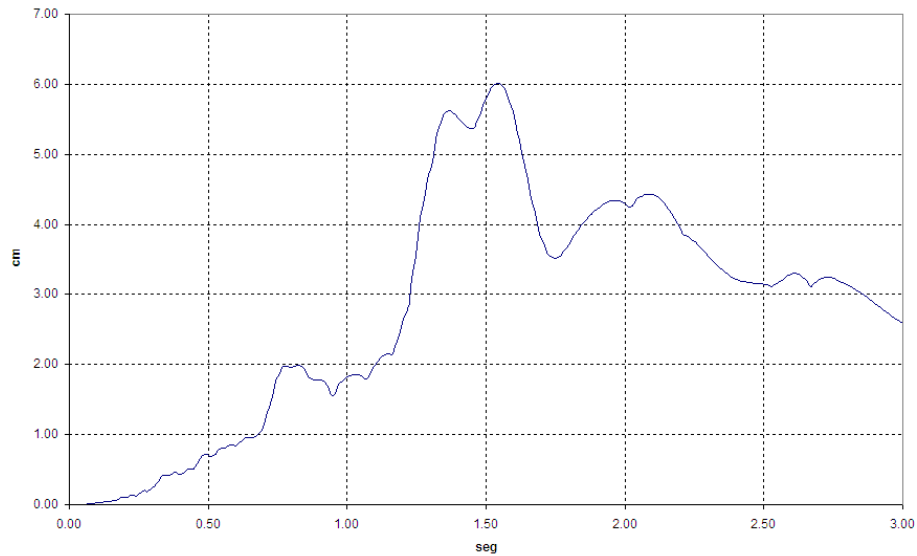
**Figura 3.62:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 18a).

En la Figura 3.63 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VALPARAISO EL ALMENDRAL, (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 140° (registro código 18b).



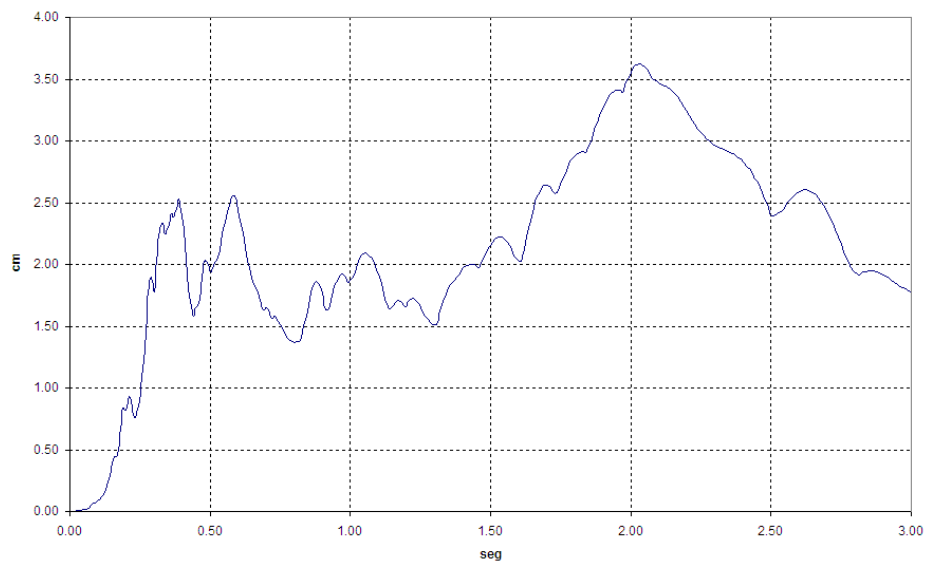
**Figura 3.63:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 18b).

En la Figura 3.64 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "COLOBUN", componente LONG. (registro código 19).



**Figura 3.64:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 19).

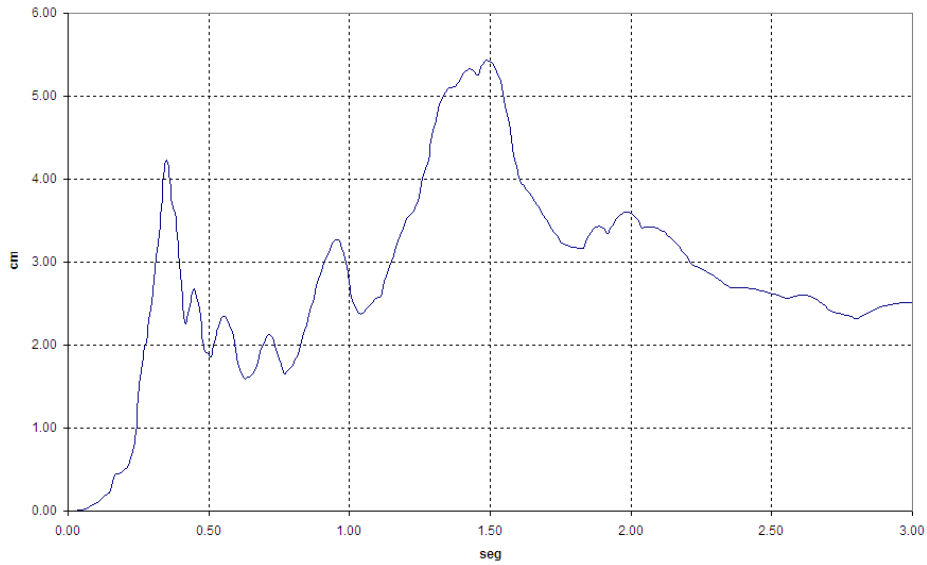
En la Figura 3.65 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "ILOCA", componente E-W. (registro código 20a).



**Figura 3.65:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 20a).

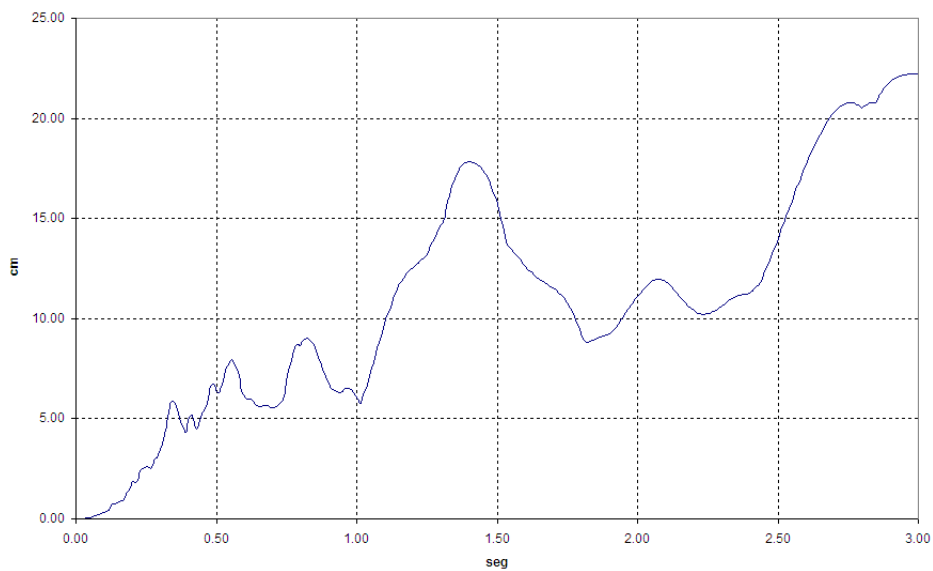


En la Figura 3.66 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "ILOCA", componente N-S. (registro código 20b).



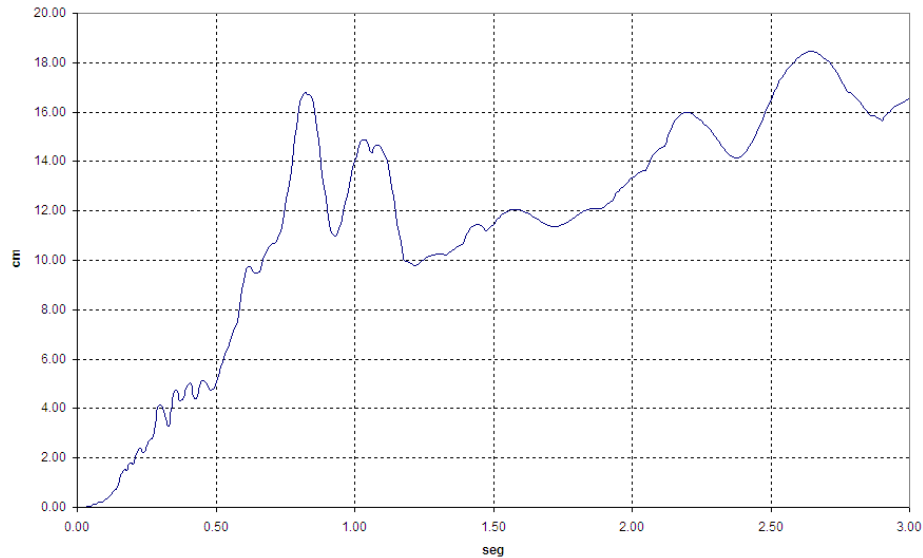
**Figura 3.66:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 20b).

En la Figura 3.67 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "MELIPILLA", componente E-W. (registro código 21a).



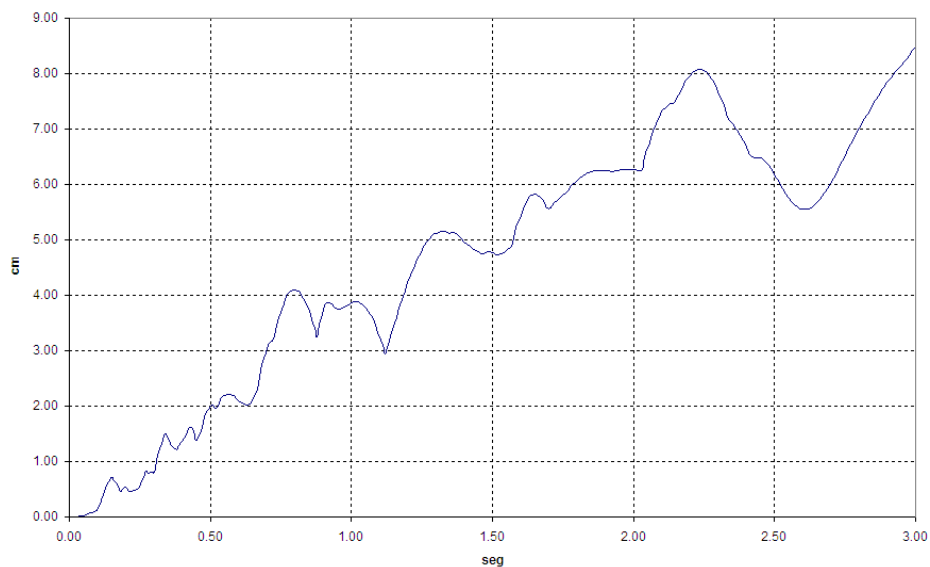
**Figura 3.67:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 21a).

En la Figura 3.68 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “MELIPILLA”, componente N-S. (registro código 21b).



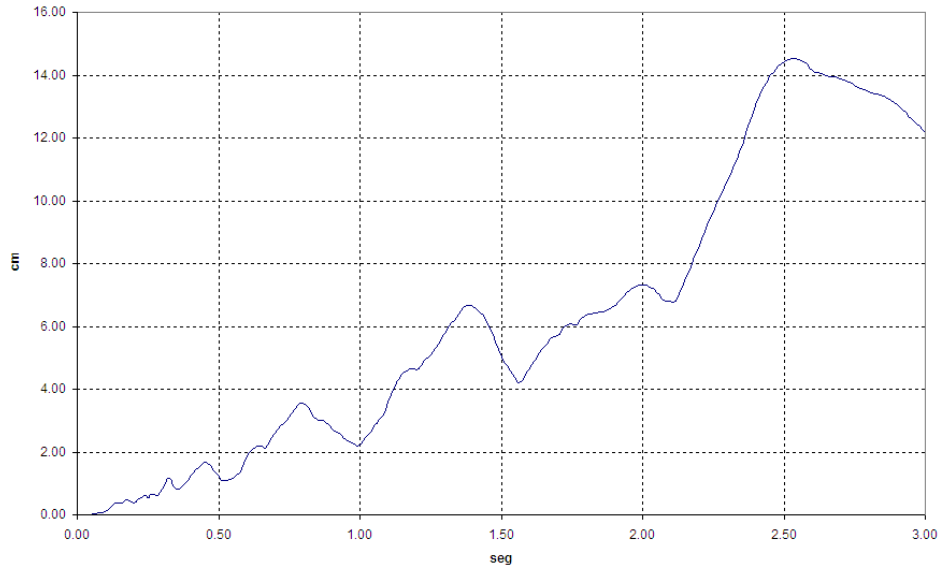
**Figura 3.68:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 21b).

En la Figura 3.69 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “PICHILEMU”, componente E-W. (registro código 22a).



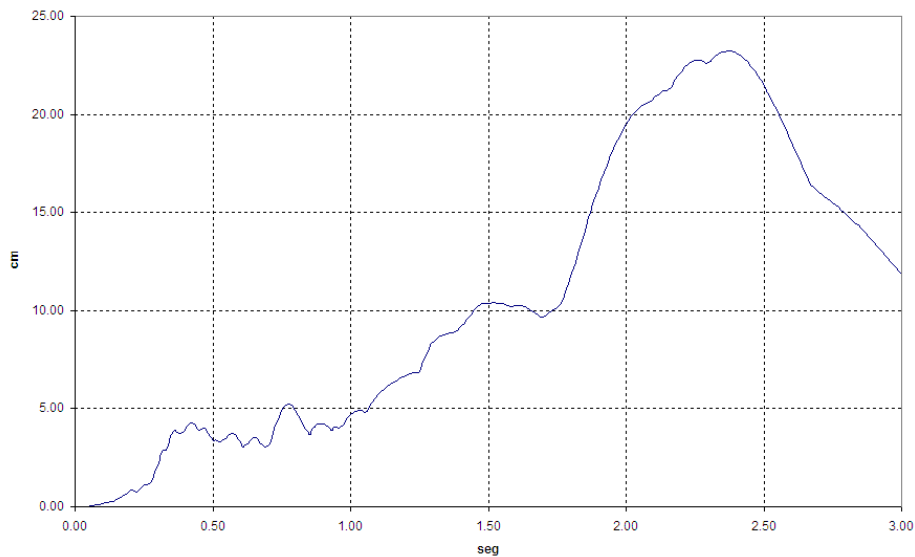
**Figura 3.69:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 22a).

En la Figura 3.70 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "PICHILEMU", componente N-S. (registro código 22b).



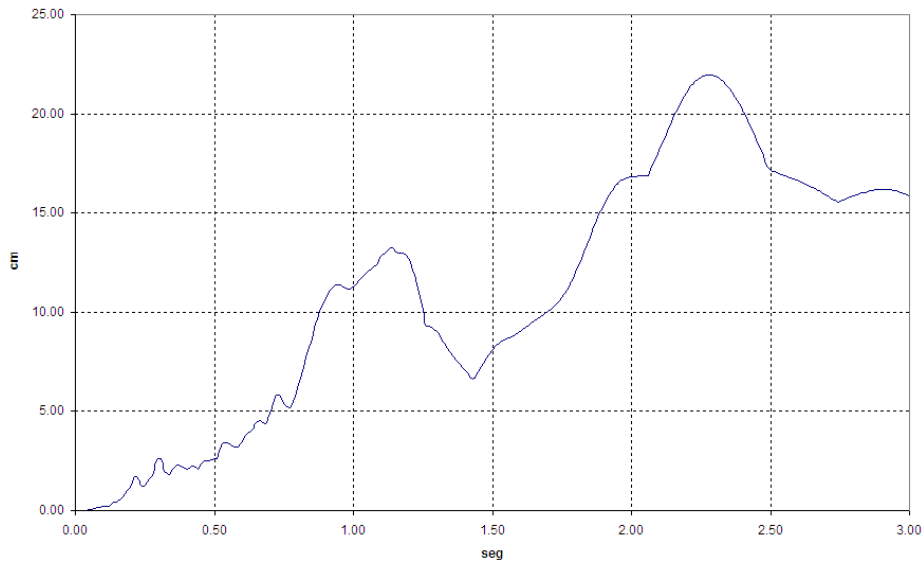
**Figura 3.70:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 22b).

En la Figura 3.71 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "SAN FERNANDO", componente E-W. (registro código 23a).



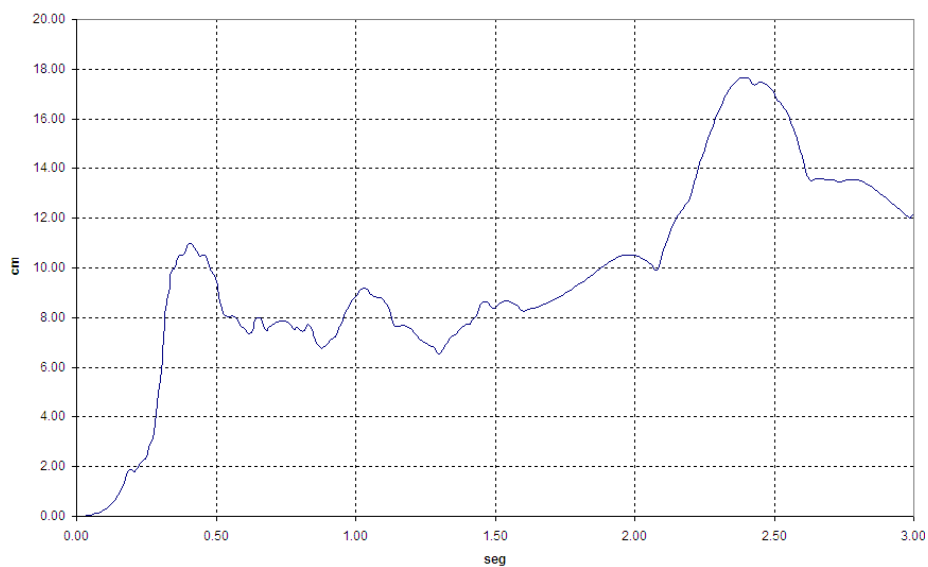
**Figura 3.71:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 23a).

En la Figura 3.72 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN FERNANDO”, componente N-S. (registro código 23b).



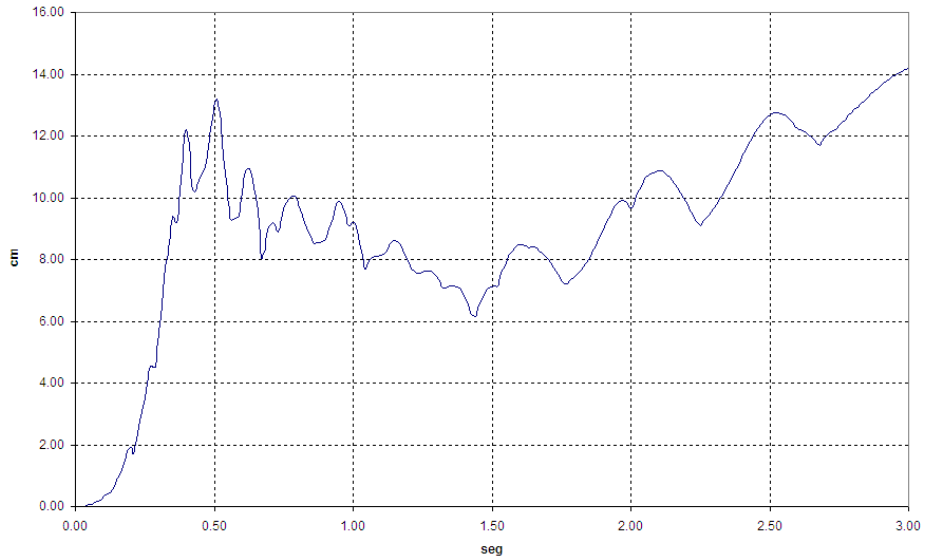
**Figura 3.72:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 23b).

En la Figura 3.73 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente LONG. (registro código 24a).



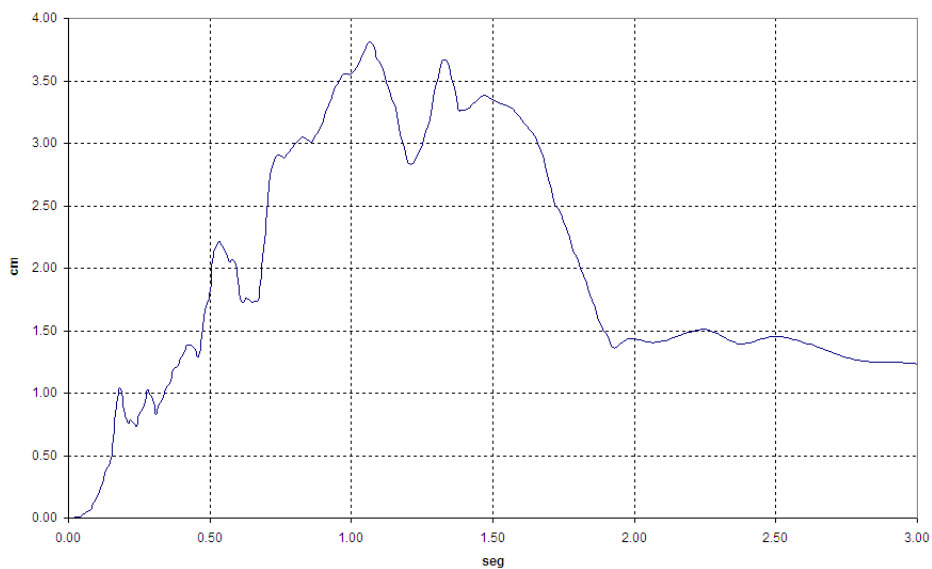
**Figura 3.73:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 24a).

En la Figura 3.74 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente TRANS. (registro código 24b).



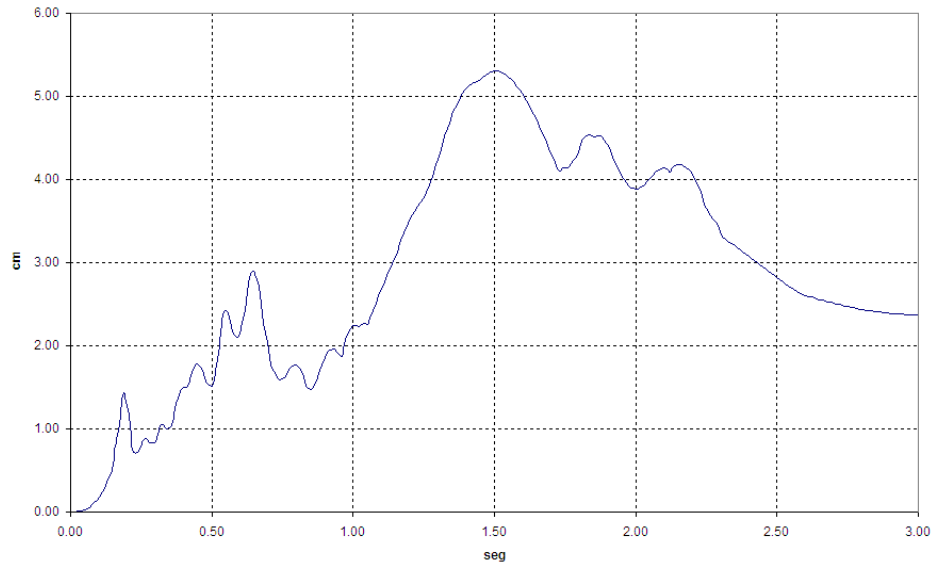
**Figura 3.74:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 24b).

En la Figura 3.75 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “ZAPALLAR”, componente E-W. (registro código 25a).



**Figura 3.75:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 25a).

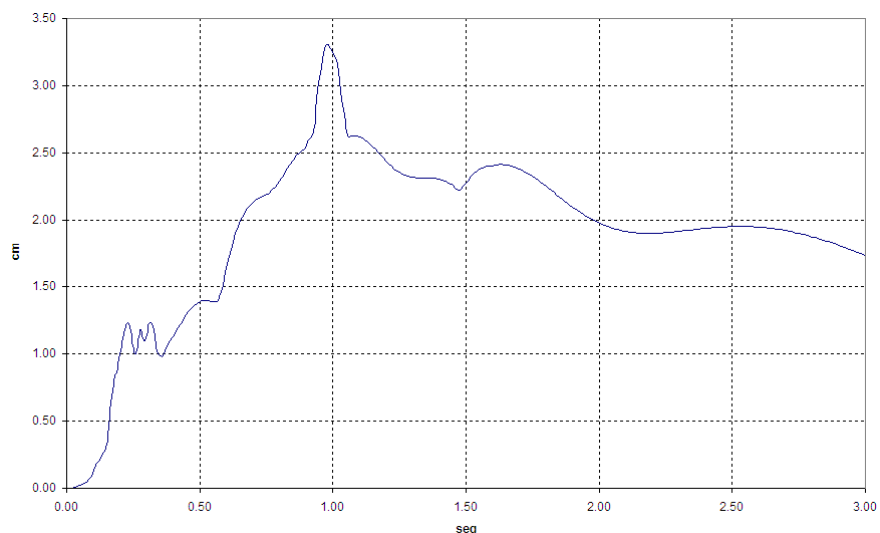
En la Figura 3.76 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación "ZAPALLAR", componente N-S. (registro código 25b).



**Figura 3.76:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 25b).

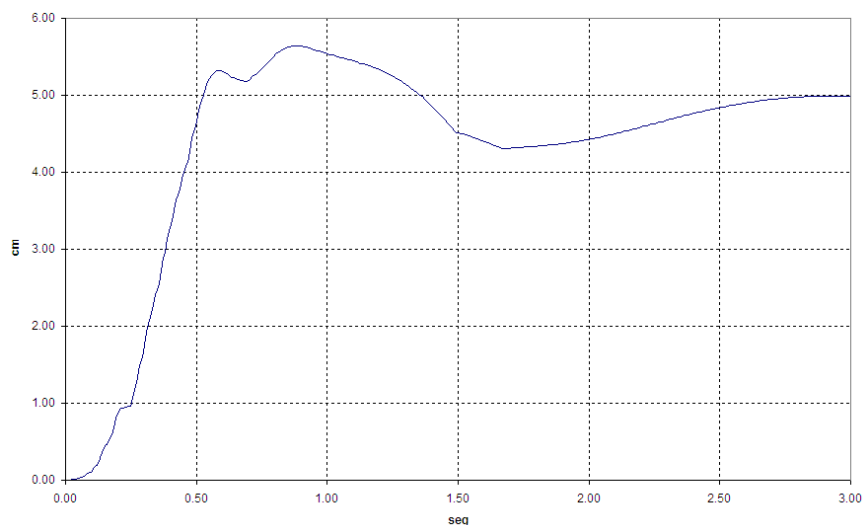
### 3.6 ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE ARGENTINA.

En la Figura 3.77 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA”, componente LONG. (registro código 26a).



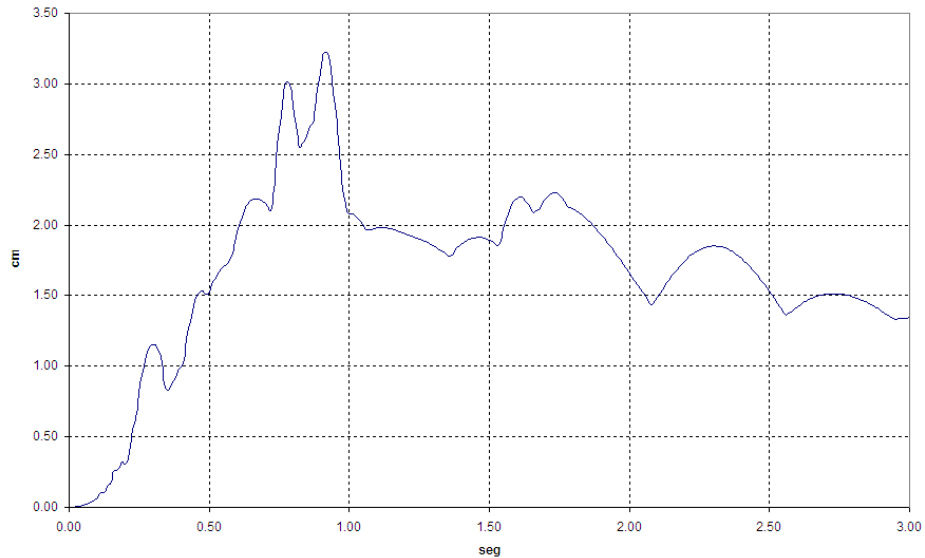
**Figura 3.77:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 26a).

En la Figura 3.78 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA”, componente TRANS. (registro código 26b).



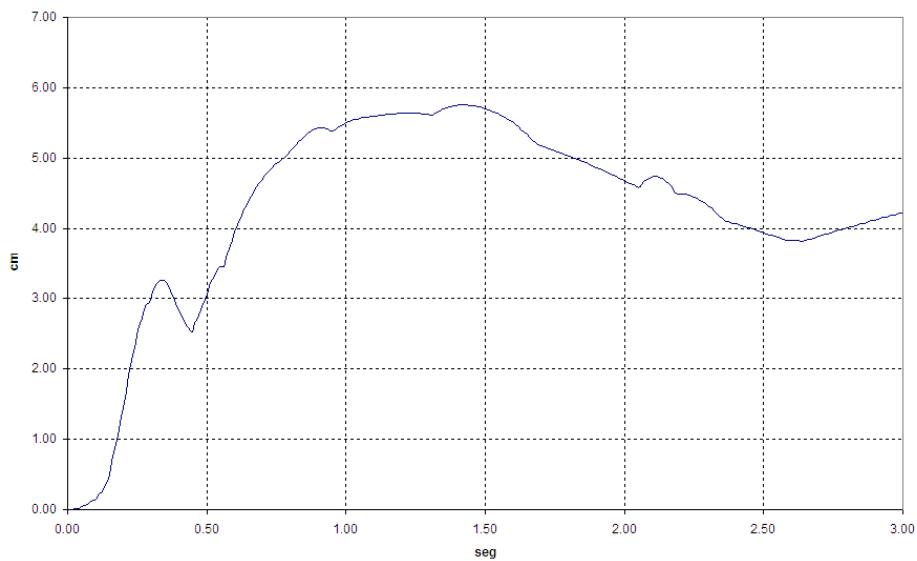
**Figura 3.78:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 26b).

En la Figura 3.79 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA”, componente LONG. (registro código 27a).



**Figura 3.79:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 27a).

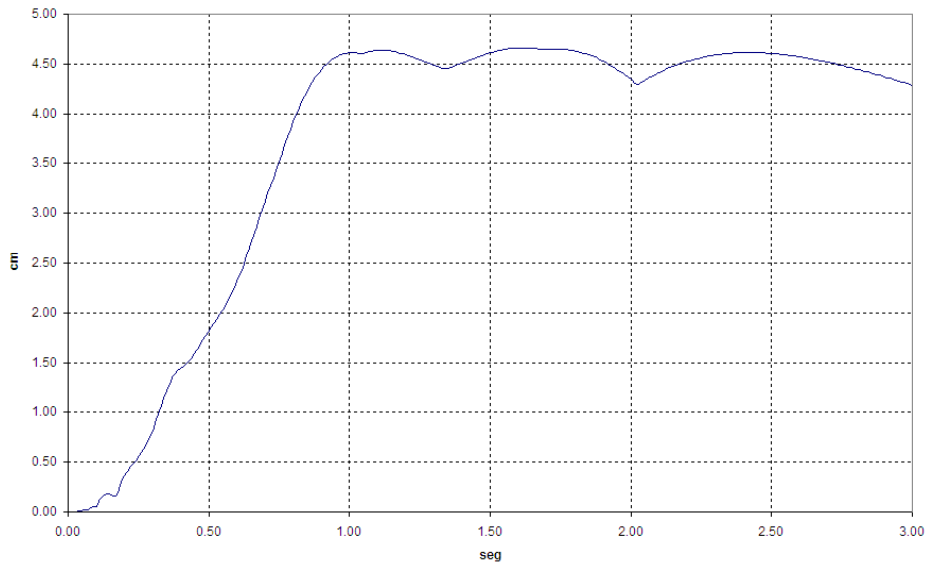
En la Figura 3.80 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA”, componente TRANS. (registro código 27b).



**Figura 3.80:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 27b).

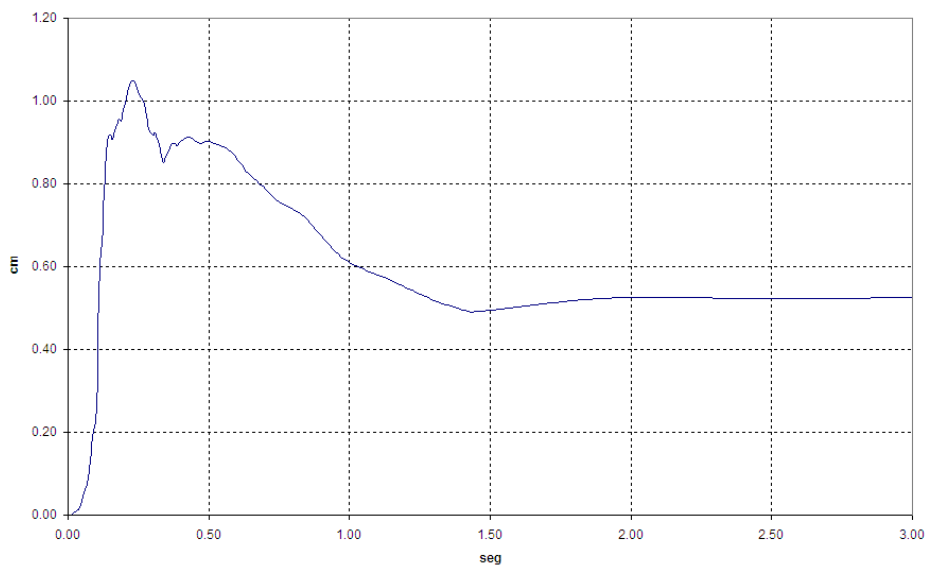


En la Figura 3.81 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD DE MAIPU - MENDOZA”, componente TRANS. (registro código 28).



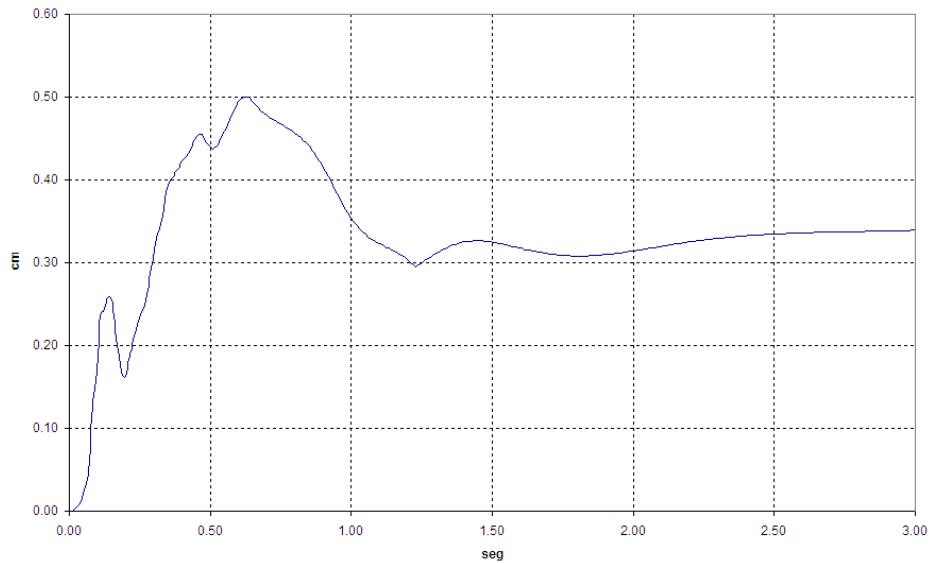
**Figura 3.81:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 28).

En la Figura 3.82 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente LONG. (registro código 29a).



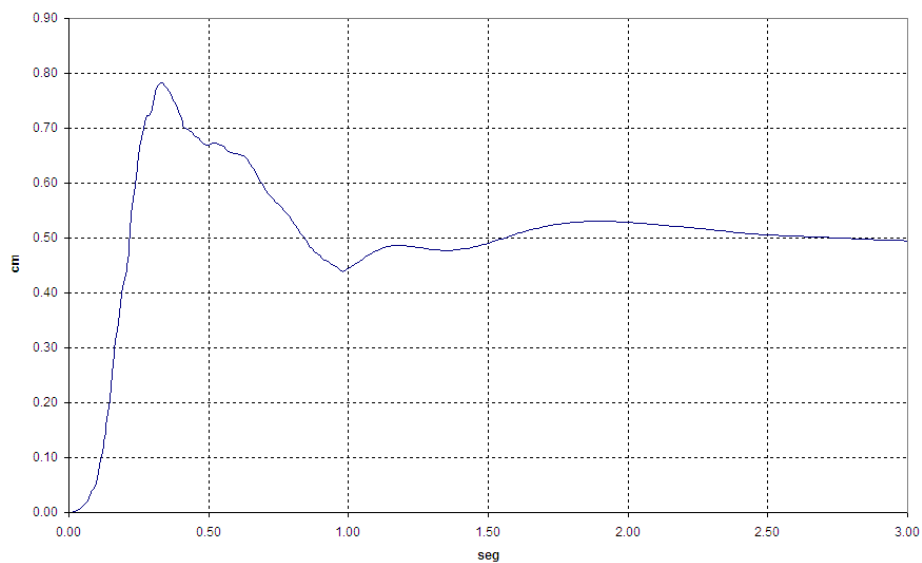
**Figura 3.82:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 29a).

En la Figura 3.83 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente TRANS. (registro código 29b).



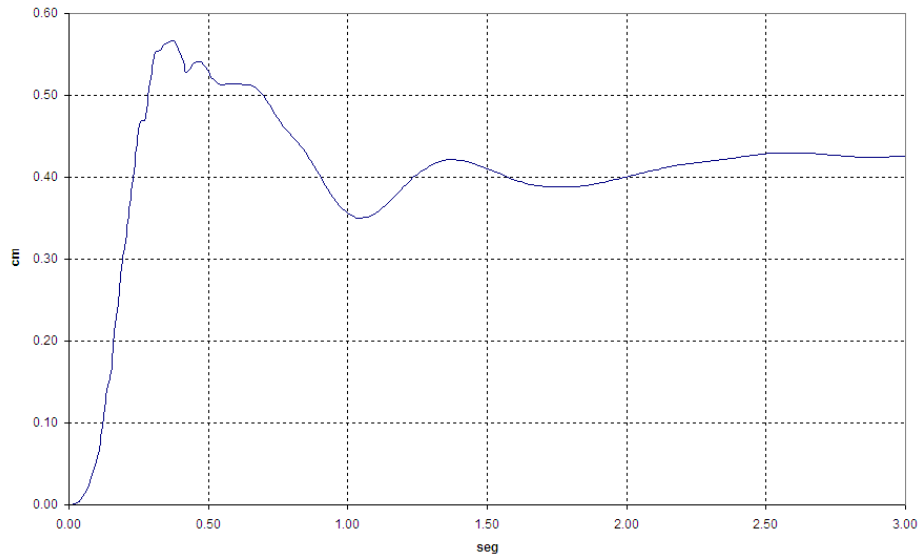
**Figura 3.83:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 29b).

En la Figura 3.84 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente E-W. (registro código 30a).



**Figura 3.84:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 30a).

En la Figura 3.85 se muestra el espectro de desplazamiento elástico del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente N-S. (registro código 30b).



**Figura 3.85:** Espectro elástico de desplazamiento (registro código 30b).

## CAPÍTULO IV

### ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO

#### RESUMEN

Se describen los modelos de histéresis utilizados para el cálculo de espectros inelásticos de desplazamiento, modelo elasto plástico perfecto y un modelo elasto plástico con una rigidez post fluencia del 5% respectivamente.

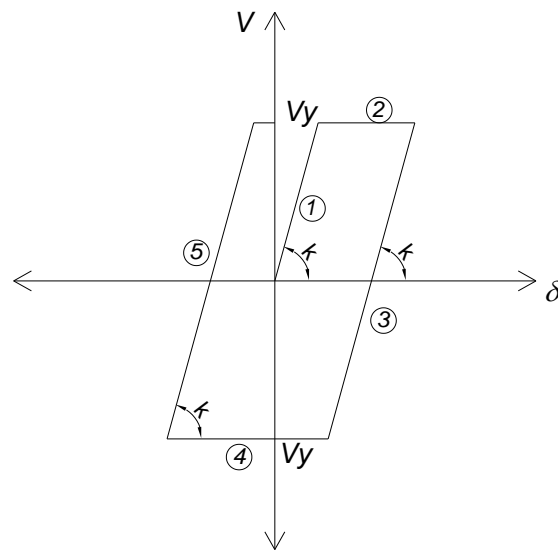
Finalmente se exponen los espectros inelásticos de desplazamiento para ductilidades de 2, 3 y 4 resultantes de cada registro acelerográfico, calculados utilizando los modelos de histéresis mencionados en el párrafo anterior, organizándolos por países Colombia, Perú, Chile y Argentina respectivamente.

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE HISTÉRESIS.**

Para el cálculo de los espectros inelásticos en el programa DEGTRA A4 se utilizaron dos modelos de histéresis, uno elasto plástico perfecto y un segundo también elasto plástico pero considerando una rigidez post fluencia del 5%. El

modelo elasto plástico es la base del programa DEGTRA A4, a continuación se describen ambos modelos de histéresis.

Modelo elasto plástico perfecto, este modelo se muestra en la figura 4.1, es un caso particular de los modelos bilineales, en el cual, no se considera el endurecimiento por deformación razón por la que se observa que la curva post fluencia tiene pendiente nula. Adicionalmente, éste modelo no contempla deterioro de la rigidez y la resistencia, y tampoco el efecto de cierre de grietas.

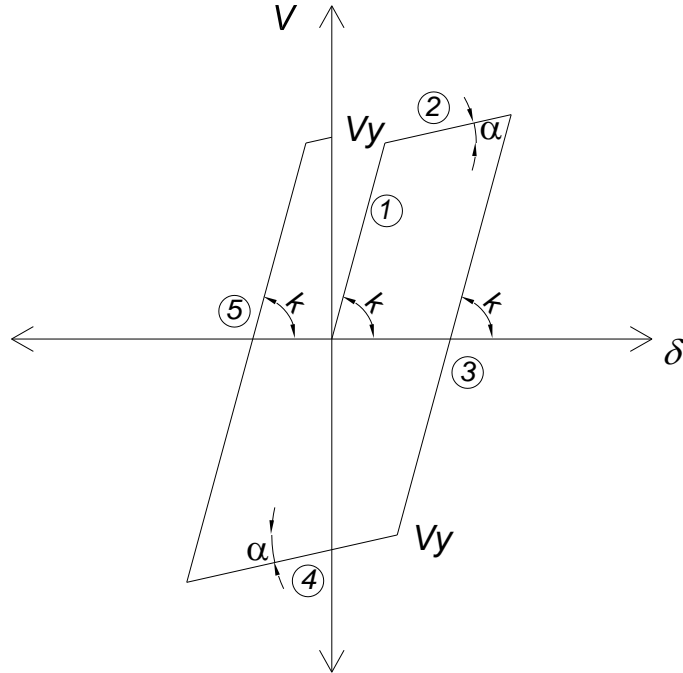


**Figura 4.1:** Modelo elasto plástico perfecto.

En el modelo elasto plástico perfecto se observa que existen cinco ramas, correspondientes a diferentes estados en los cuales trabaja la estructura, Aguiar (2001):

- El sistema inicialmente trabaja en el rango elástico o lineal, en la rama 1, se ha indicado un sentido positivo, se pudo haber dibujado en sentido contrario. En la rama 1, la rigidez del sistema  $k$  es la rigidez elástica. Cuando el cortante basal es igual el cortante de fluencia  $V_y$ , se pasa a la rama 2 en la cual la rigidez del sistema es nula.  $k=0$ .
- En la rama 2, al igual que en la rama 4, la rigidez  $k=0$ . En este instante la estructura ya empezó a trabajar en el rango inelástico o no lineal, la estructura sufre daño.
- Se pasa de la rama 2 a la rama 3, cuando la velocidad del sistema es cero. Lo propio sucede para pasar de la rama 4 a la rama 5. En las ramas 3 y 5 la rigidez del sistema es la rigidez inicial elástica.
- Las ramas 3 y 5, corresponden a la descarga del sistema en los dos sentidos. Como se indicó en estas ramas la rigidez del sistema es la elástica inicial. Esta consideración significa que no se considera deterioro de rigidez en la descarga.
- Una vez que el sistema ingresa al rango no lineal, se trabaja en las ramas 2, 3, 4 y 5. Es decir nunca más ingresa la rama 1.

El segundo modelo utilizado en el estudio es el que se muestra en la figura 4.2, se trata de un modelo elasto plástico con una rigidez post fluencia del 5%.



**Figura 4.2:** Modelo elasto plástico con rigidez post fluencia  $\alpha=5\%$ .

En el modelo elasto plástico con rigidez post fluencia del 5% también se observan cinco ramas muy similares a las del modelo elasto plástico perfecto, pero con las siguientes diferencias:

- En la rama 1, la rigidez del sistema  $k$  es la rigidez elástica. Cuando el cortante basal es igual el cortante de fluencia  $V_y$ , se pasa a la rama 2 en la cual la rigidez del sistema es  $\alpha=0.05k$ , es decir el 5% de la rigidez inicial.
- En la rama 2, al igual que en la rama 4, la rigidez  $\alpha=0.05k$ . En este instante la estructura ya empezó a trabajar en el rango inelástico o no lineal.

## **4.2 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO**

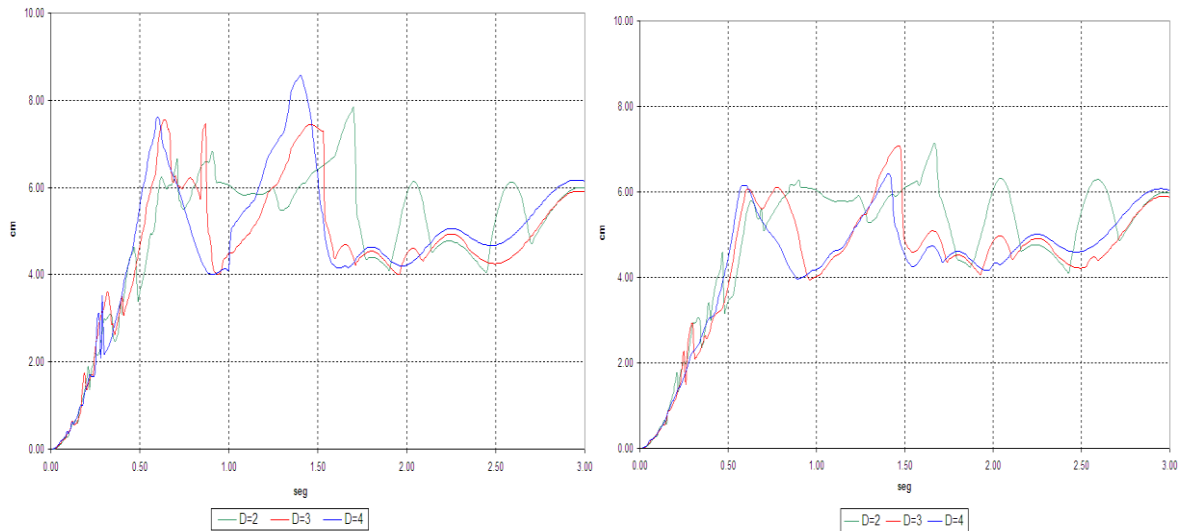
Para el estudio se calcularon espectros inelásticos de cada registro acelerográfico para ductilidades de 2, 3 y 4 y se utilizaron los modelos de histéresis descritos en el punto anterior.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de cada registro acelerográfico. A la izquierda de cada figura se presentan los espectros calculados con un modelo de histéresis elasto plástico perfecto y a la derecha los espectros inelásticos calculados con el modelo de histéresis elasto plástico con rigidez post fluencia del 5%.

### **4.2.1 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE COLOMBIA.**

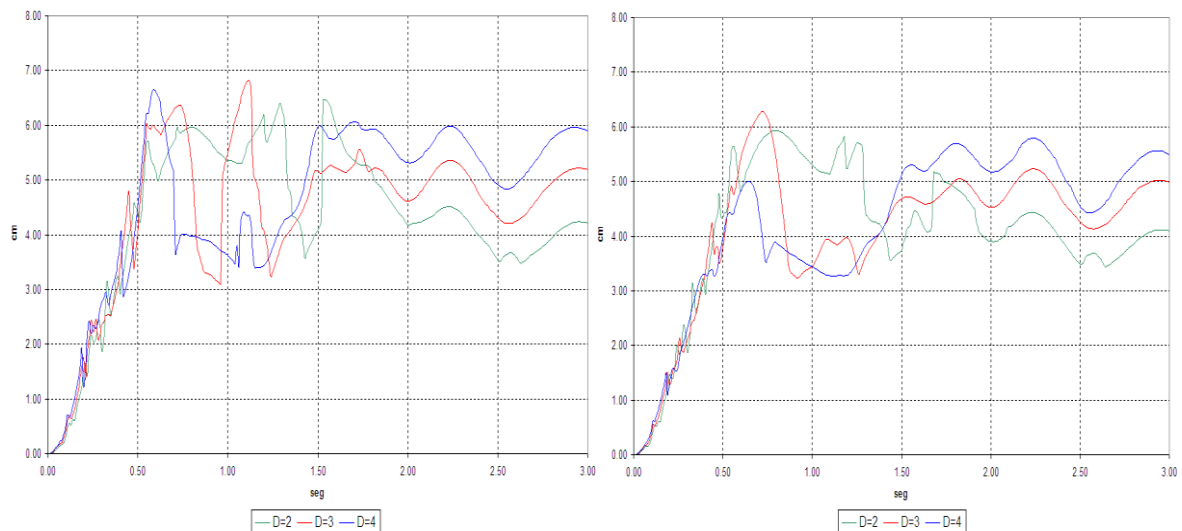
En la Figura 4.3 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente E-W (registro código 31a).





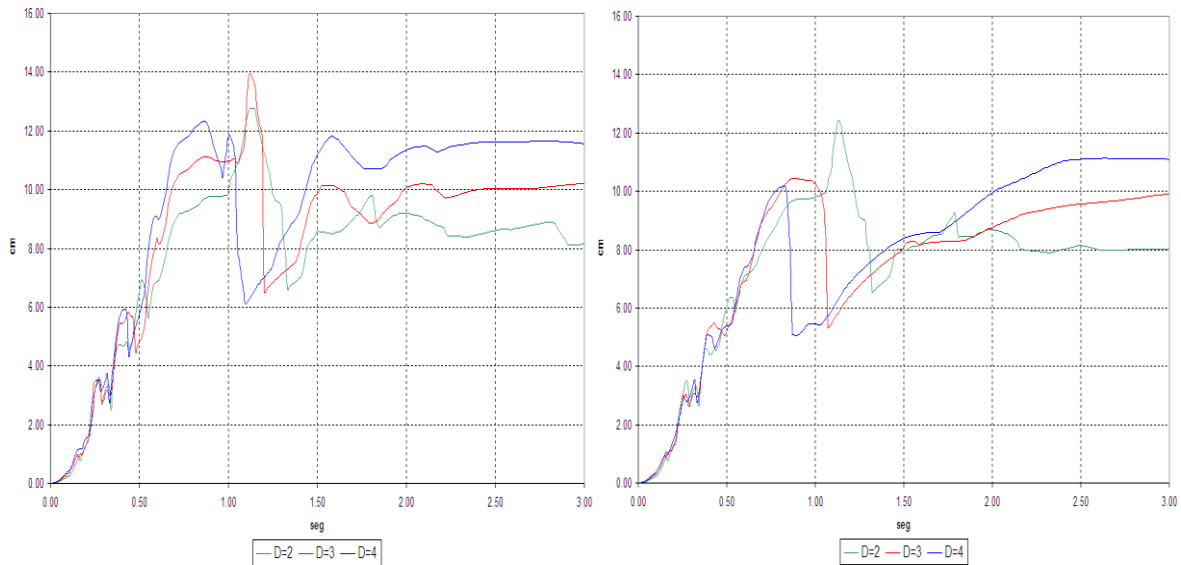
**Figura 4.3:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 31a).

En la Figura 4.4 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente N-S (registro código 31b).



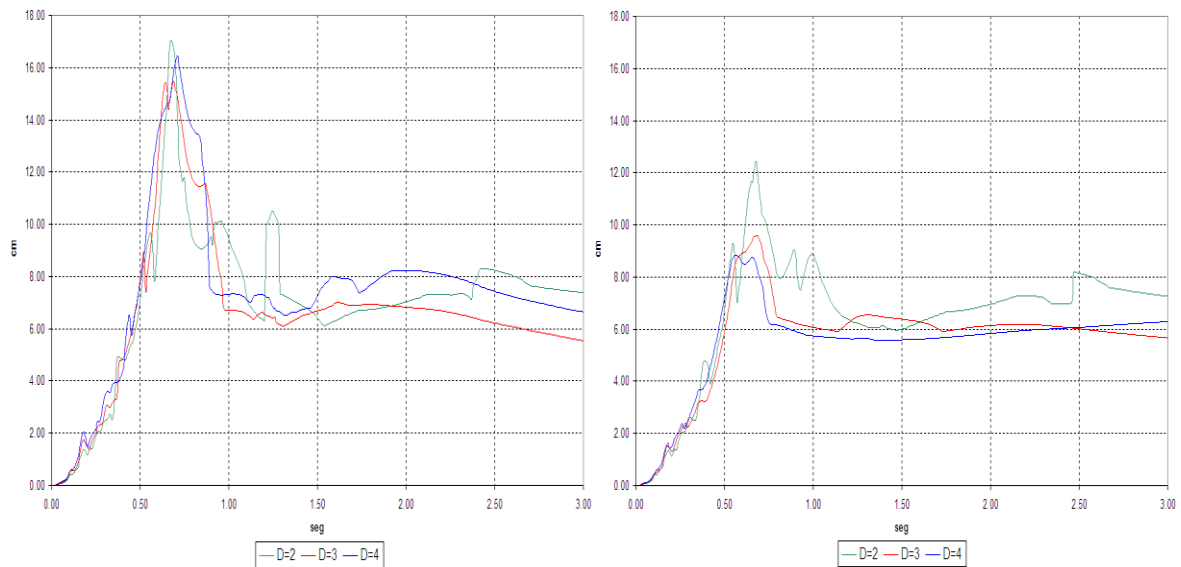
**Figura 4.4:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 31b).

En la Figura 4.5 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “FILANDIA (CFLAN)”, componente E-W (registro código 32a).



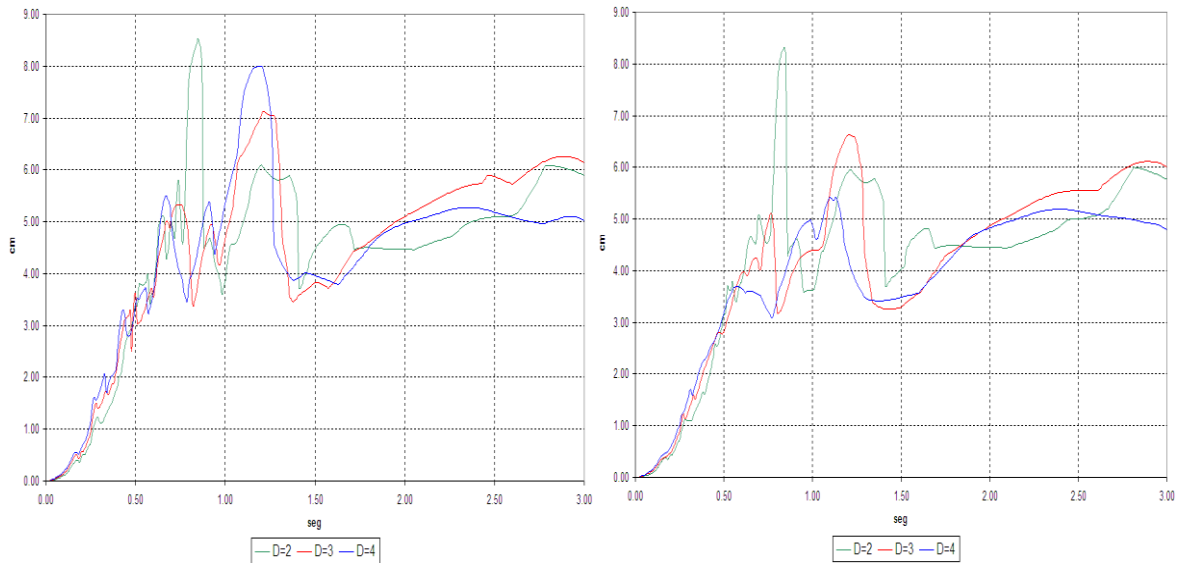
**Figura 4.5:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 32a).

En la Figura 4.6 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “FILANDIA (CFLAN)”, componente N-S (registro código 32b).



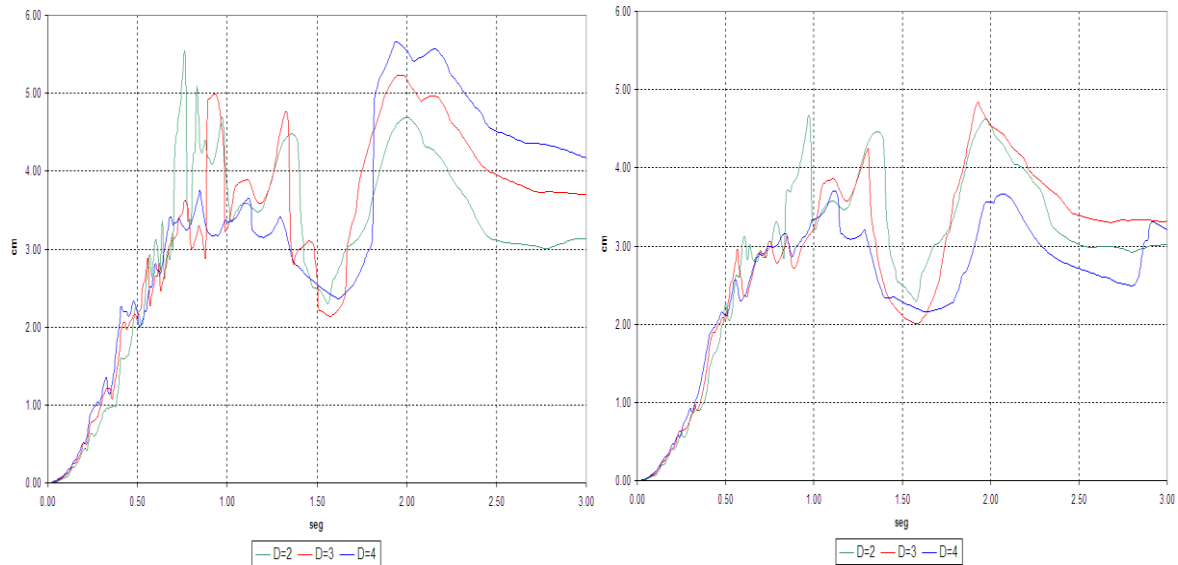
**Figura 4.6:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 32b).

En la Figura 4.7 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente E-W (registro código 33a).



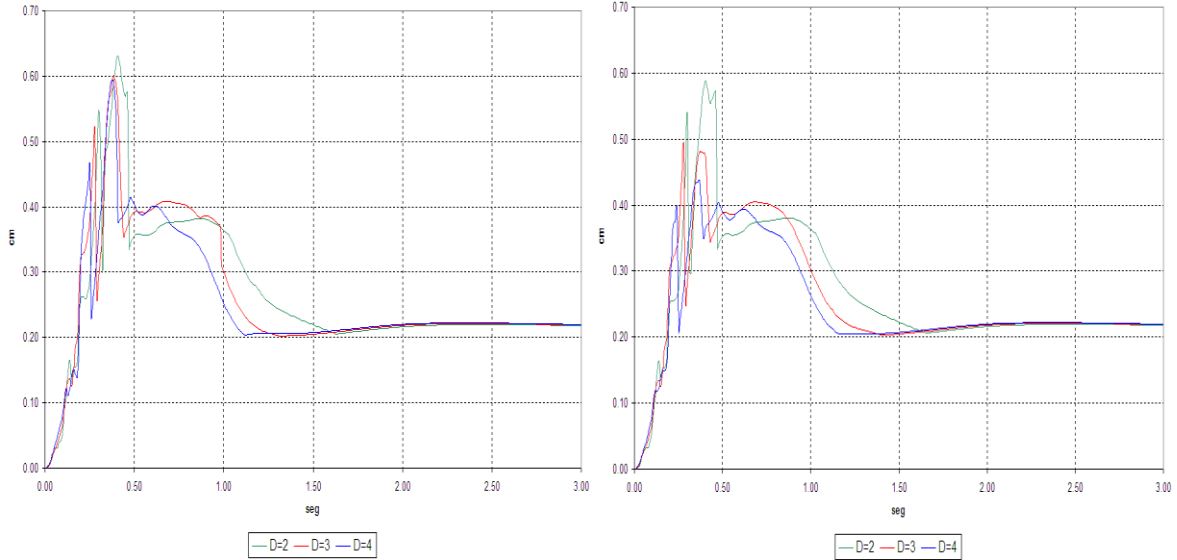
**Figura 4.7:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 33a).

En la Figura 4.8 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 25/01/1999 registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente N-S (registro código 33b).



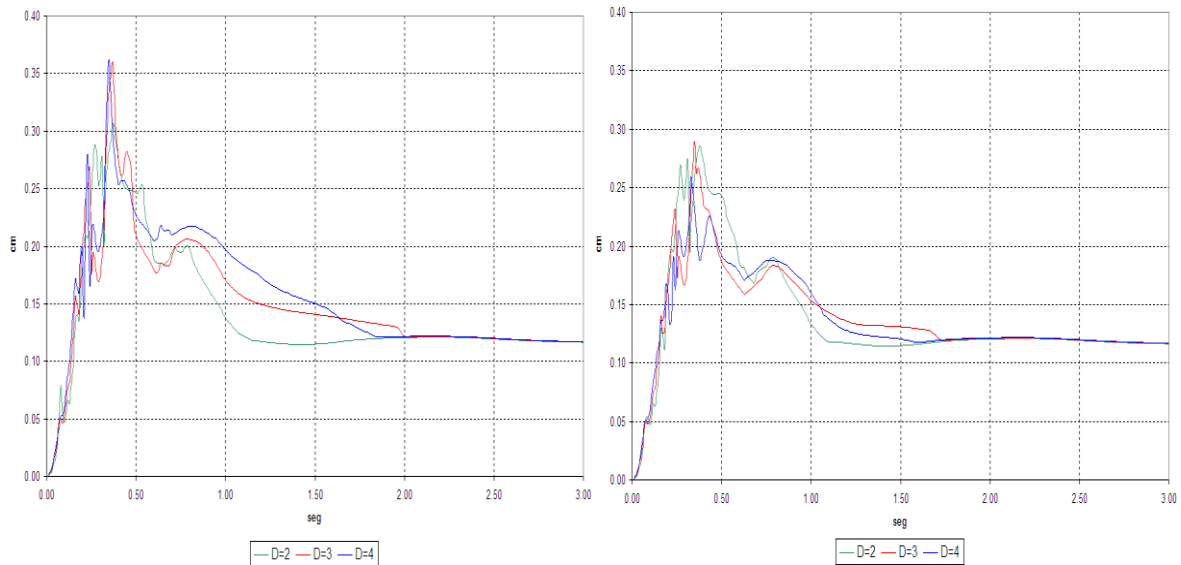
**Figura 4.8:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 33b).

En la Figura 4.9 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 17/07/1998 registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente E-W (registro código 34a).



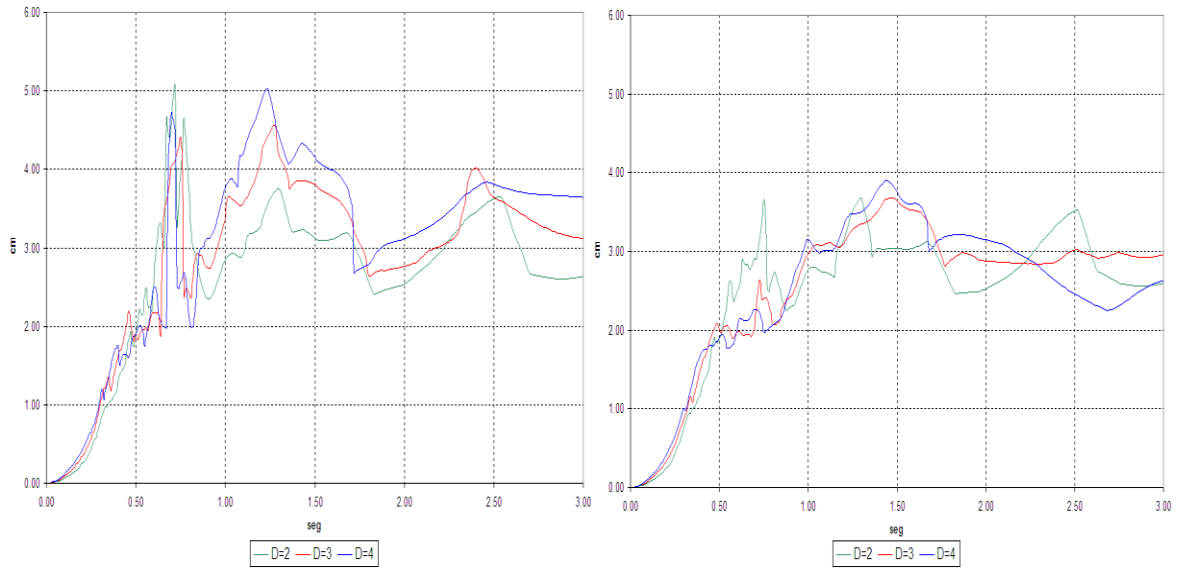
**Figura 4.9:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 34a).

En la Figura 4.10 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 17/07/1998 registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente N-S (registro código 34b).



**Figura 4.10:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 34b).

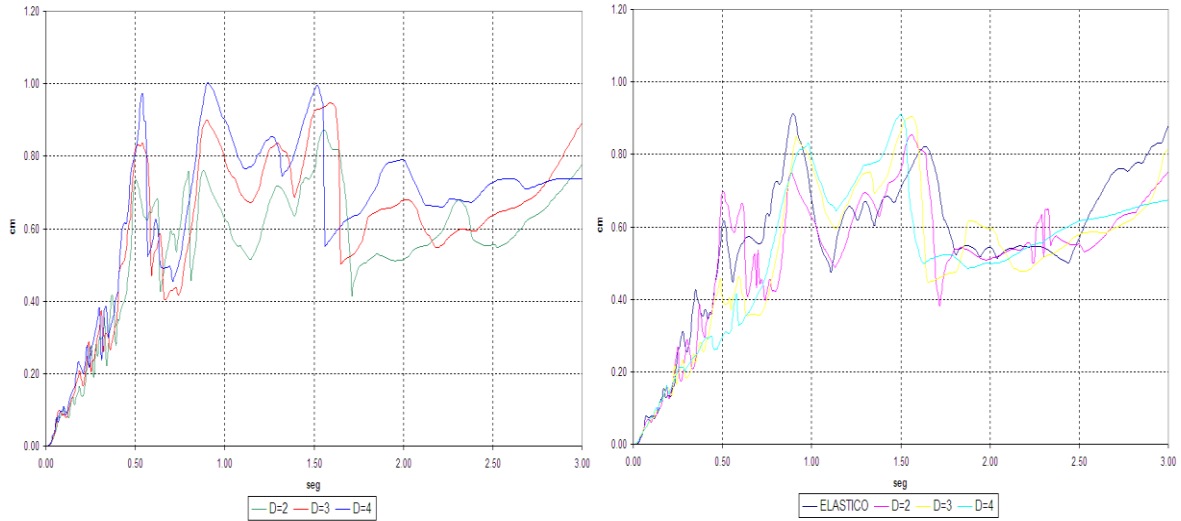
En la Figura 4.11 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 19/02/1997 registrado en la Estación “PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)”, componente E-W (registro código 35).



**Figura 4.11:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 35).

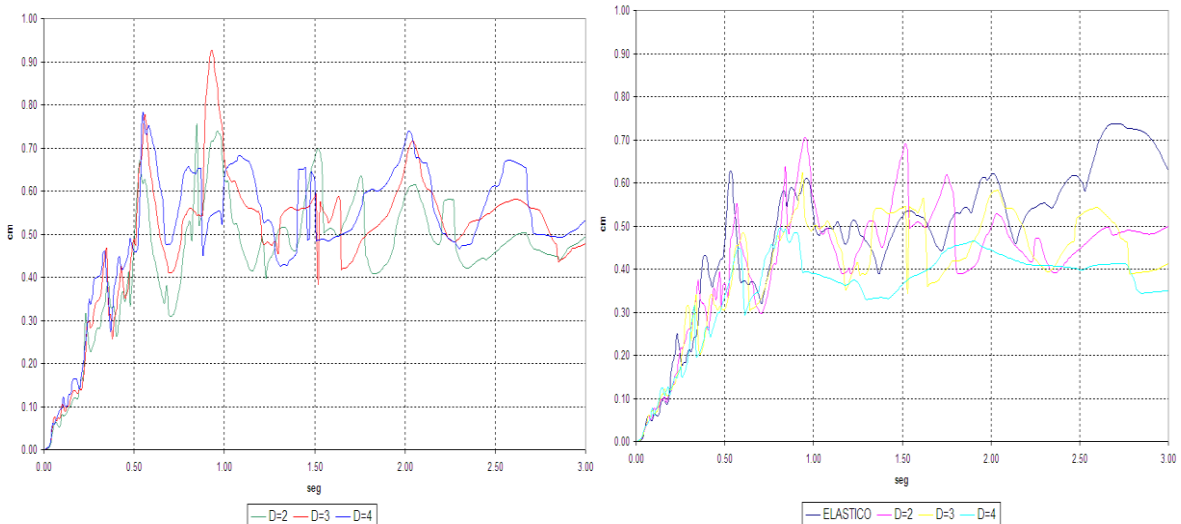
#### 4.2.2 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE PERÚ.

En la Figura 4.12 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “CHARACATO”, componente E-W (registro código 01a).



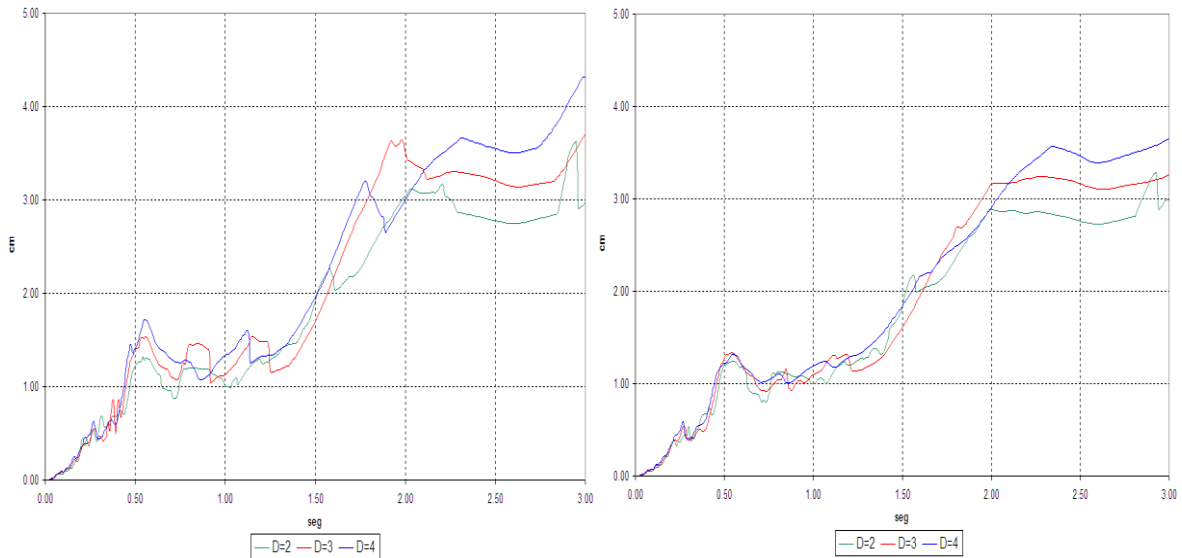
**Figura 4.12:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 01a).

En la Figura 4.13 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “CHARACATO”, componente N-S (registro código 01b).



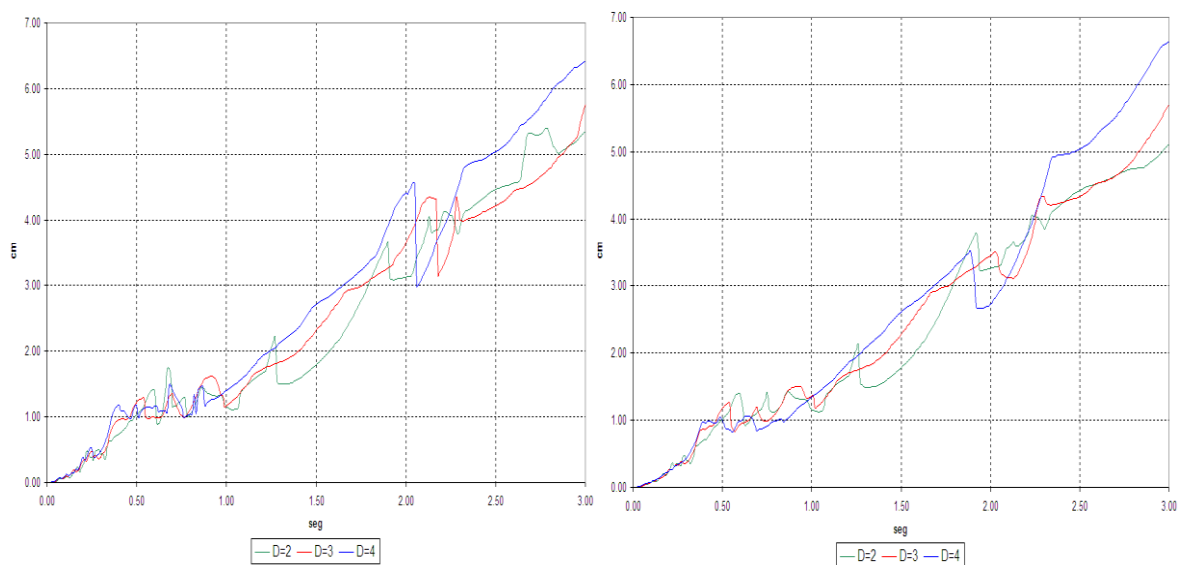
**Figura 4.13:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 01b).

En la Figura 4.14 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente E-W (registro código 02a).



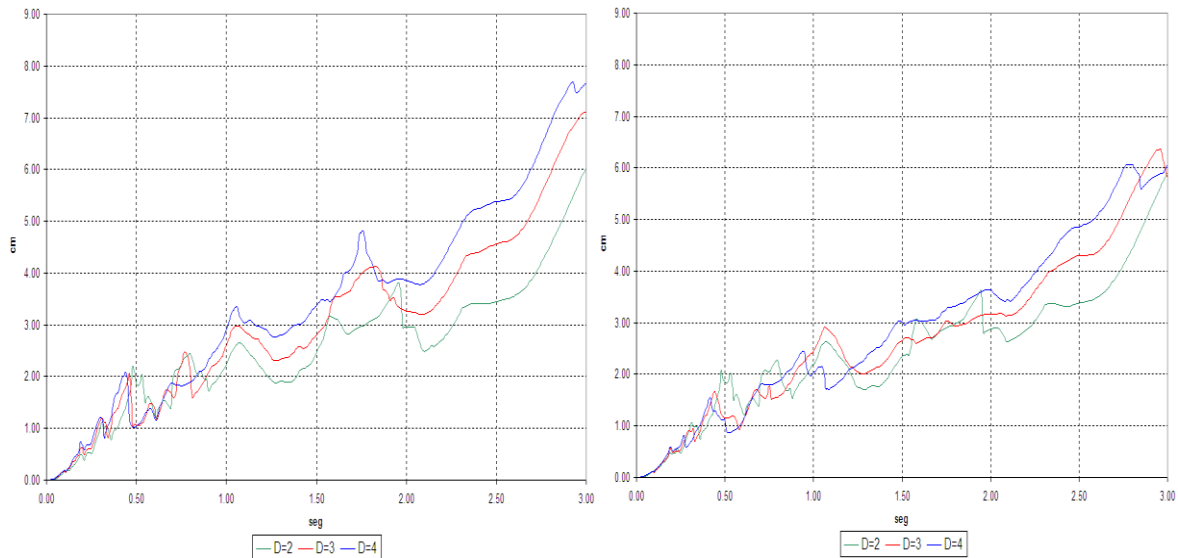
**Figura 4.14:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 02a).

En la Figura 4.15 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 13/06/2005 registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente N-S (registro código 02b).



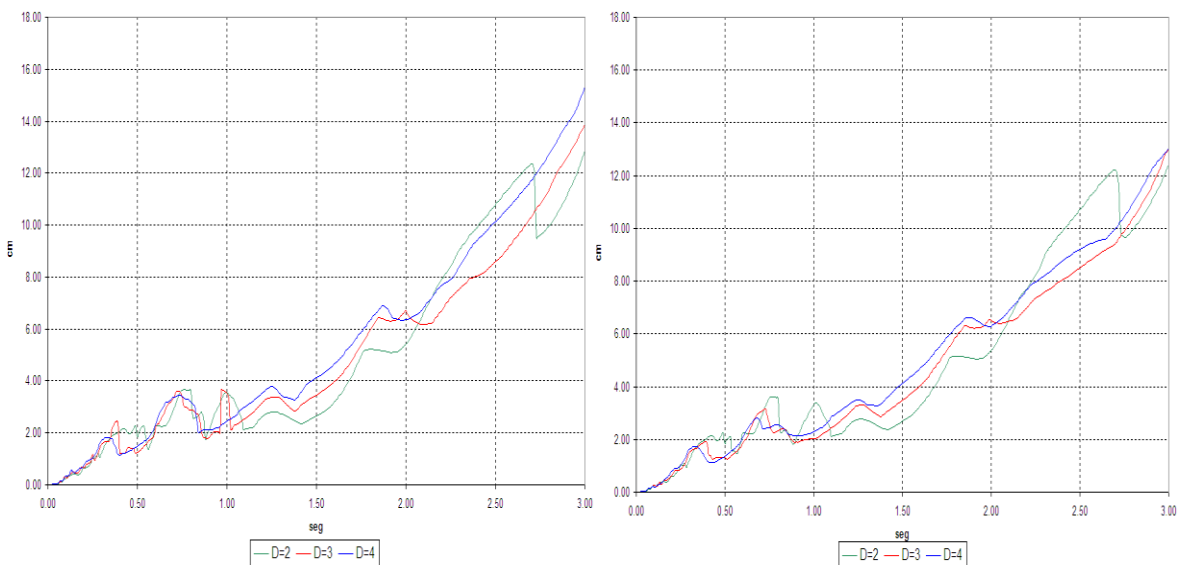
**Figura 4.15:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 02b).

En la Figura 4.16 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 17/10/1966 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 03a).



**Figura 4.16:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 03a).

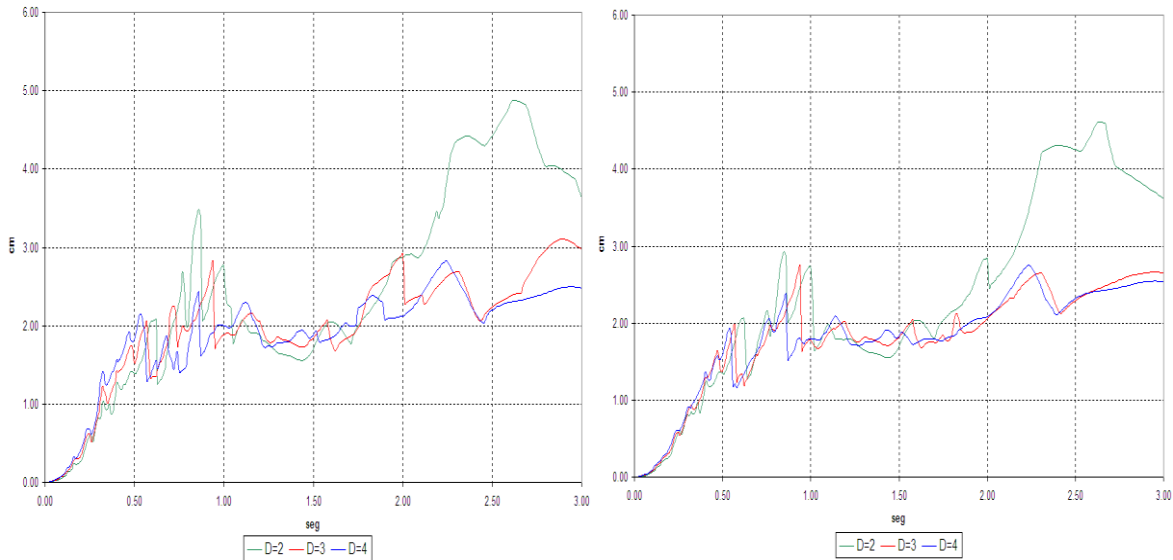
En la Figura 4.17 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 17/10/1966 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 03b).



**Figura 4.17:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 03b).

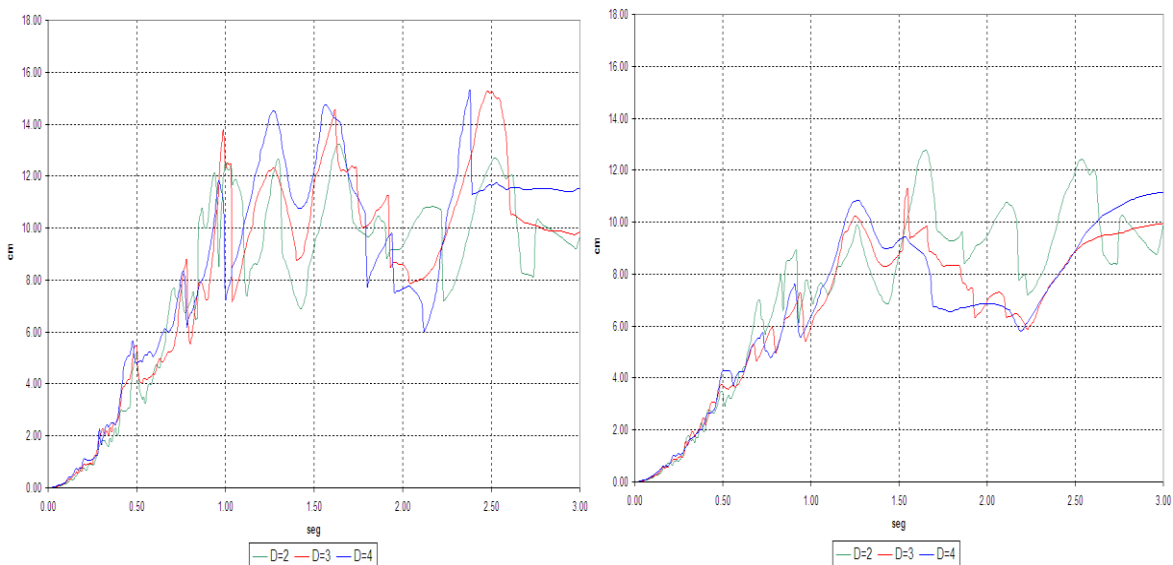


En la Figura 4.18 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 09/11/1974 registrado en la Estación “LA MOLINA”, componente E-W (registro código 04).



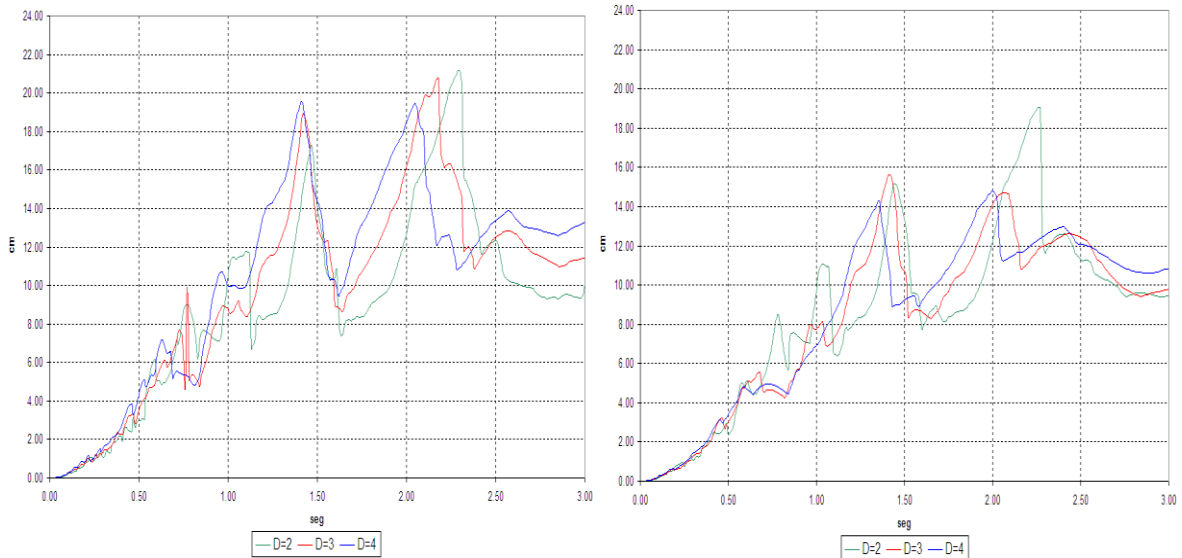
**Figura 4.18:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 04).

En la Figura 4.19 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/06/2001 registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente E-W (registro código 05a).



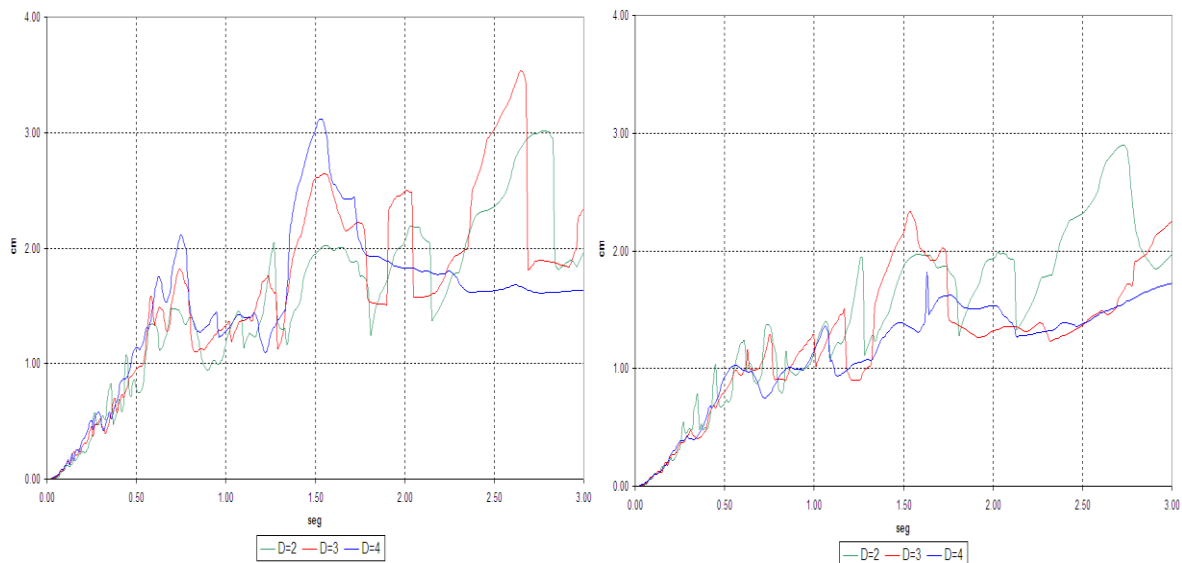
**Figura 4.19:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 05a).

En la Figura 4.20 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/06/2001 registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente N-S (registro código 05b).



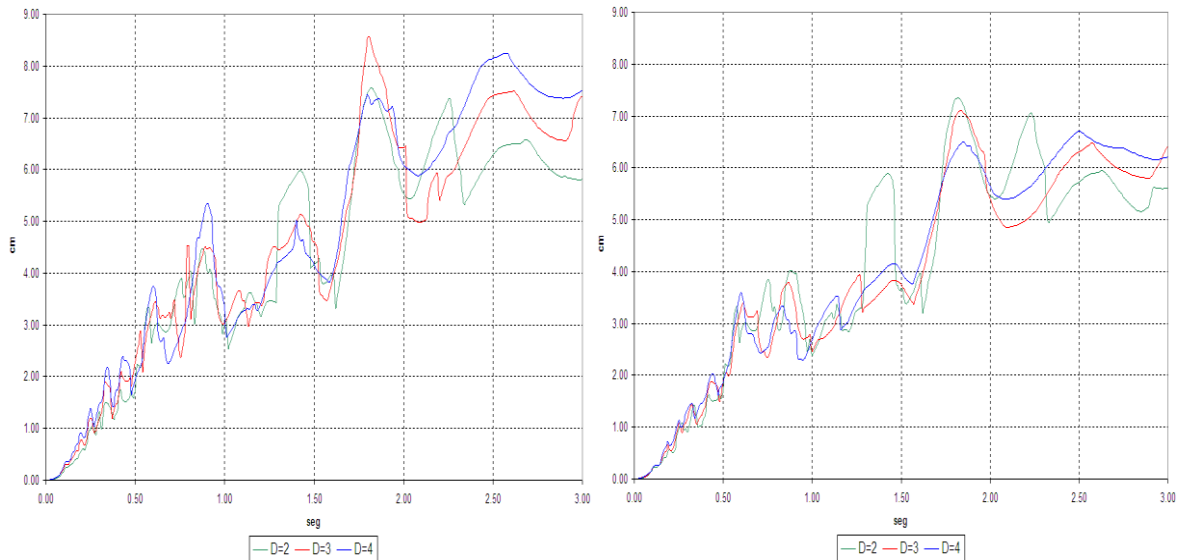
**Figura 4.20:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 05b).

En la Figura 4.21 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 31/05/1970 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 06).



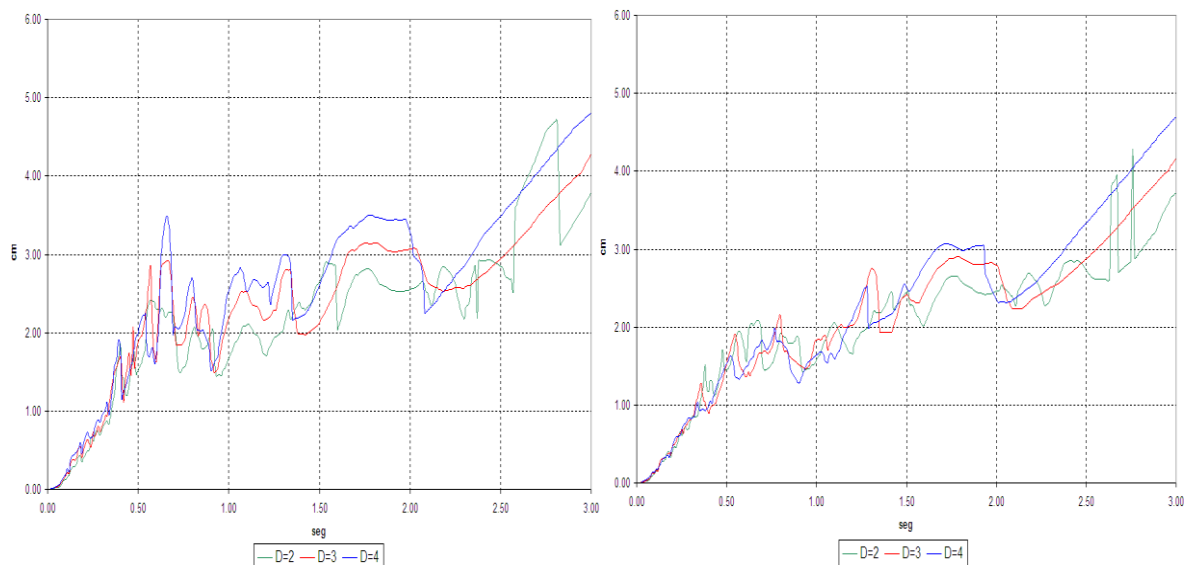
**Figura 4.21:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 06).

En la Figura 4.22 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 07a).



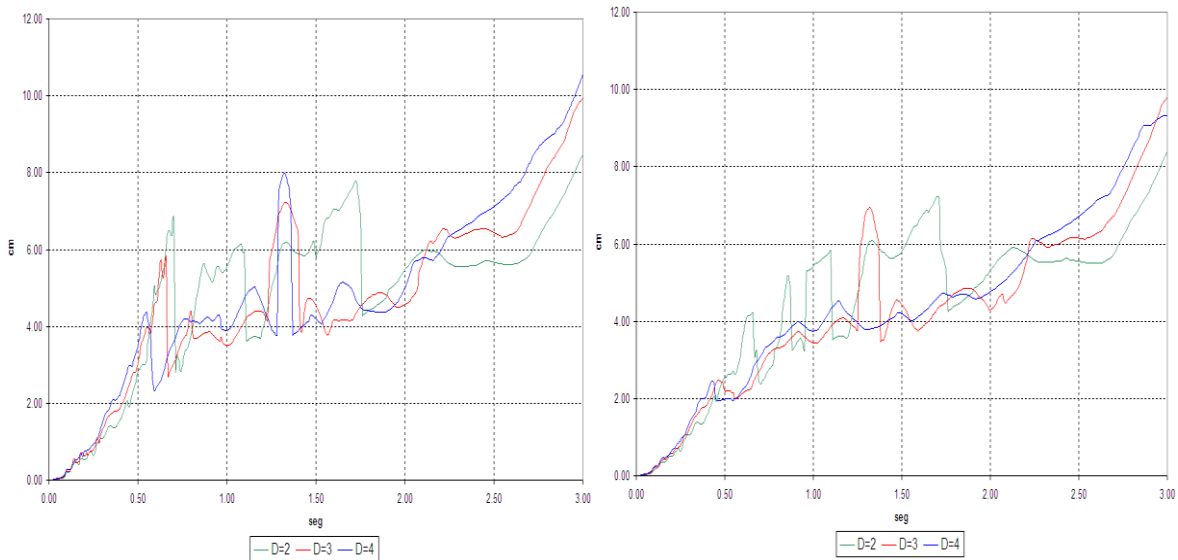
**Figura 4.22:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 07a).

En la Figura 4.23 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 07b).



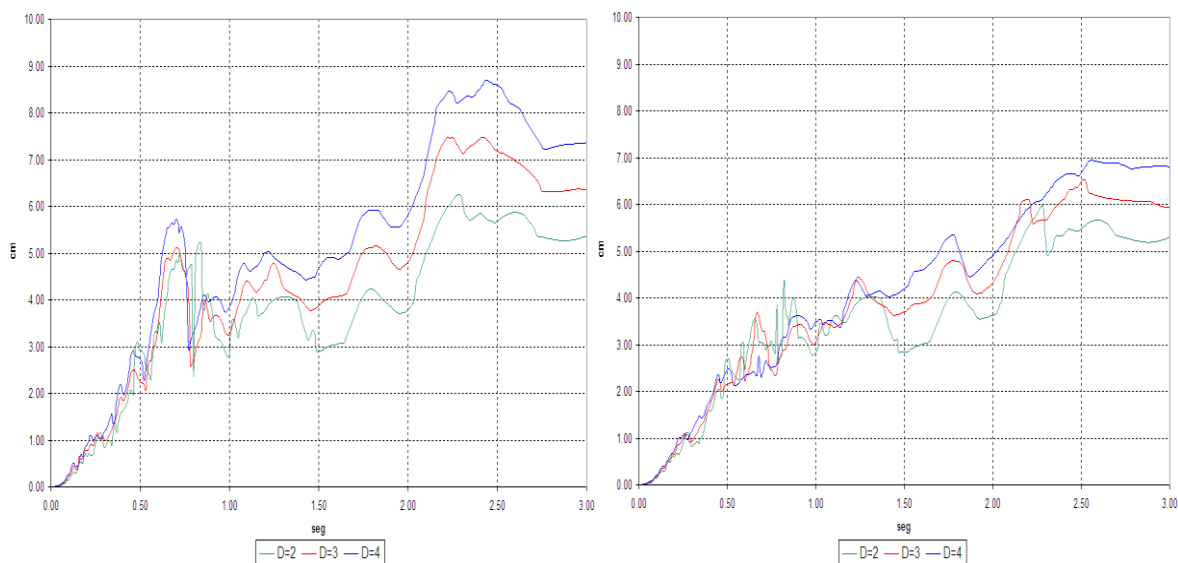
**Figura 4.23:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 07b).

En la Figura 4.24 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “SURCO”, componente E-W (registro código 08a).



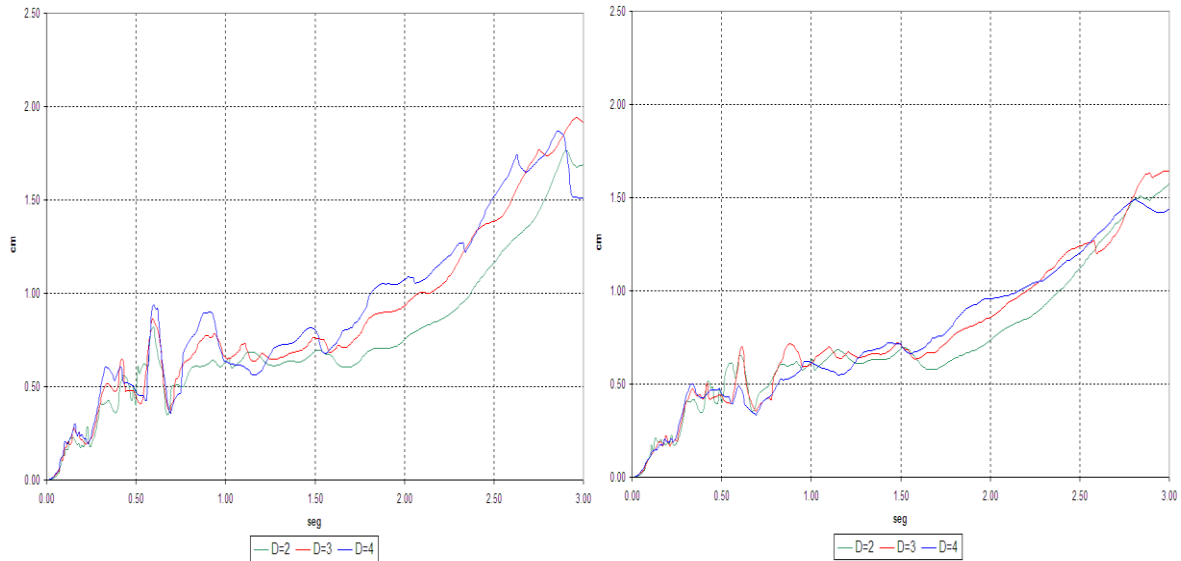
**Figura 4.24:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 08a).

En la Figura 4.25 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/10/1974 registrado en la Estación “SURCO”, componente N-S (registro código 08b).



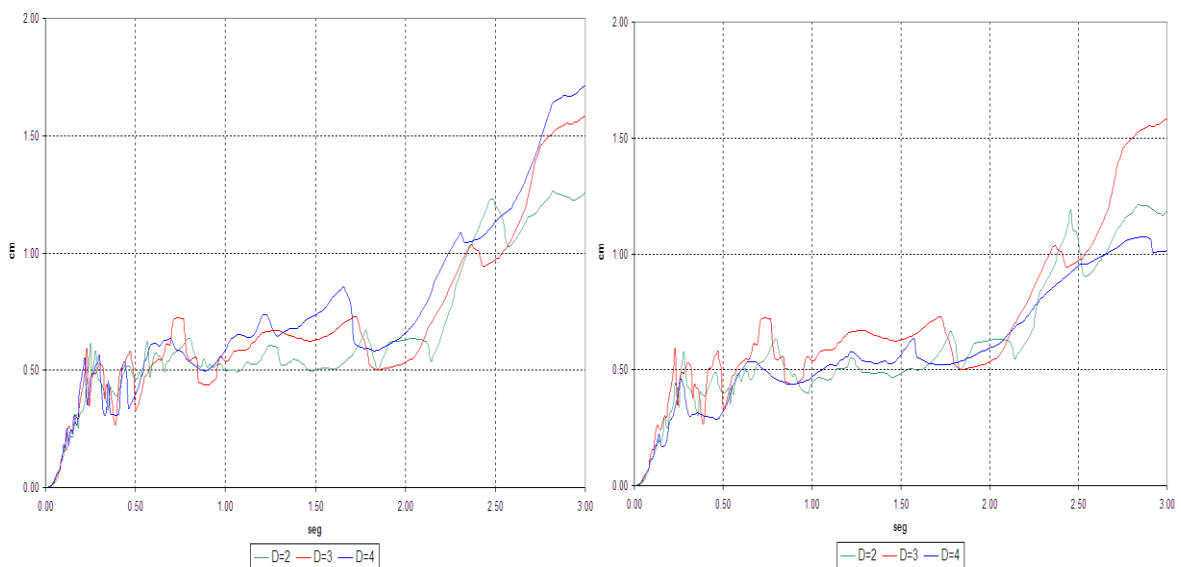
**Figura 4.25:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 08a).

En la Figura 4.26 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 05/01/1974 registrado en la Estación “ZARATE”, componente E-W (registro código 09a).



**Figura 4.26:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 09a).

En la Figura 4.27 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 05/01/1974 registrado en la Estación “ZARATE”, componente N-S (registro código 09b).



**Figura 4.27:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 09b).

### 4.2.3 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE CHILE.

En la Figura 4.28 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación “ILOCA”, componente N-S (registro código 10a).

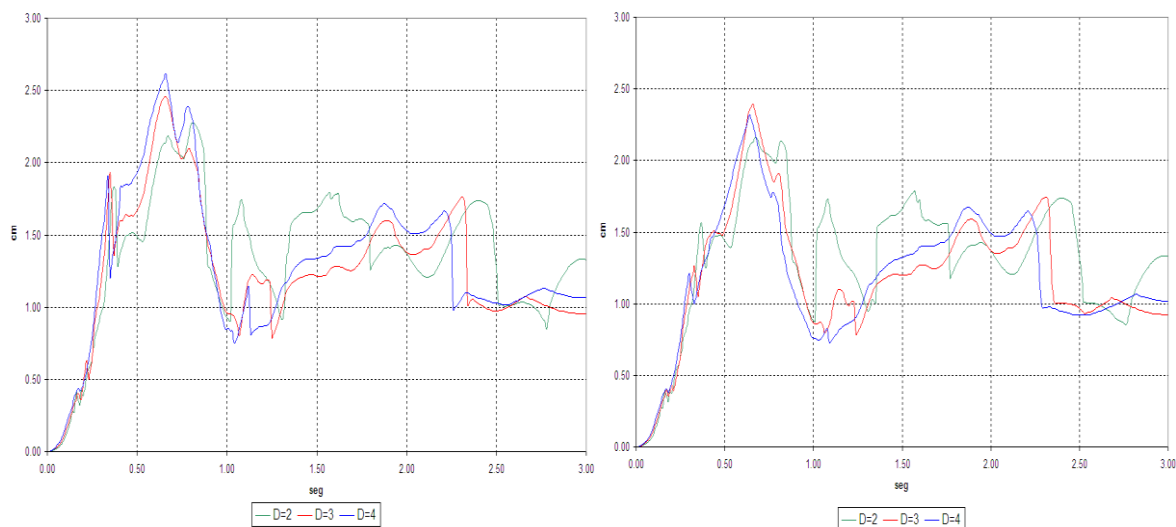


Figura 4.28: Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 10a).

En la Figura 4.29 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación “ILOCA”, componente E-W (registro código 10b).

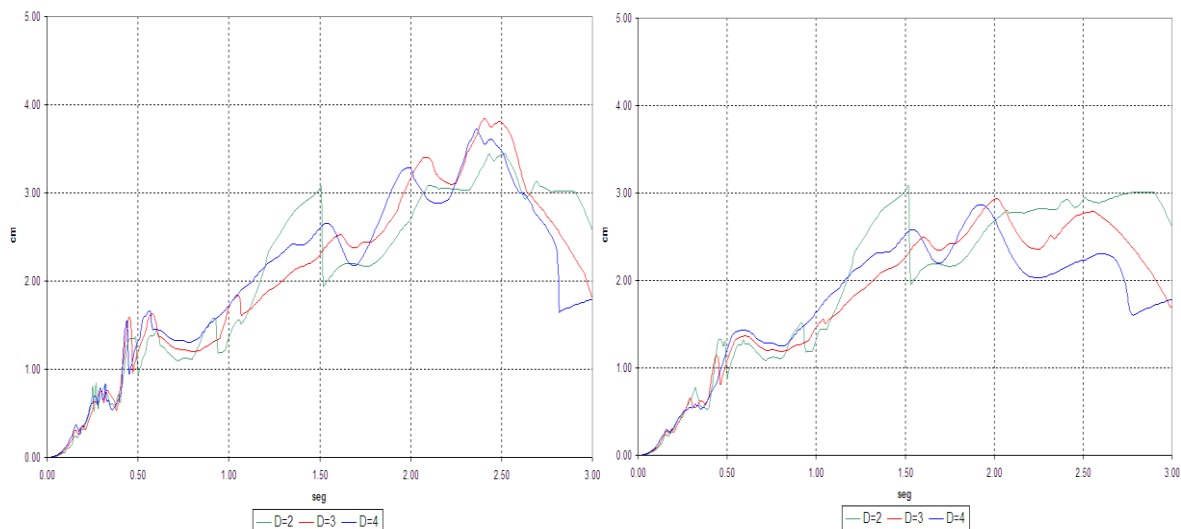
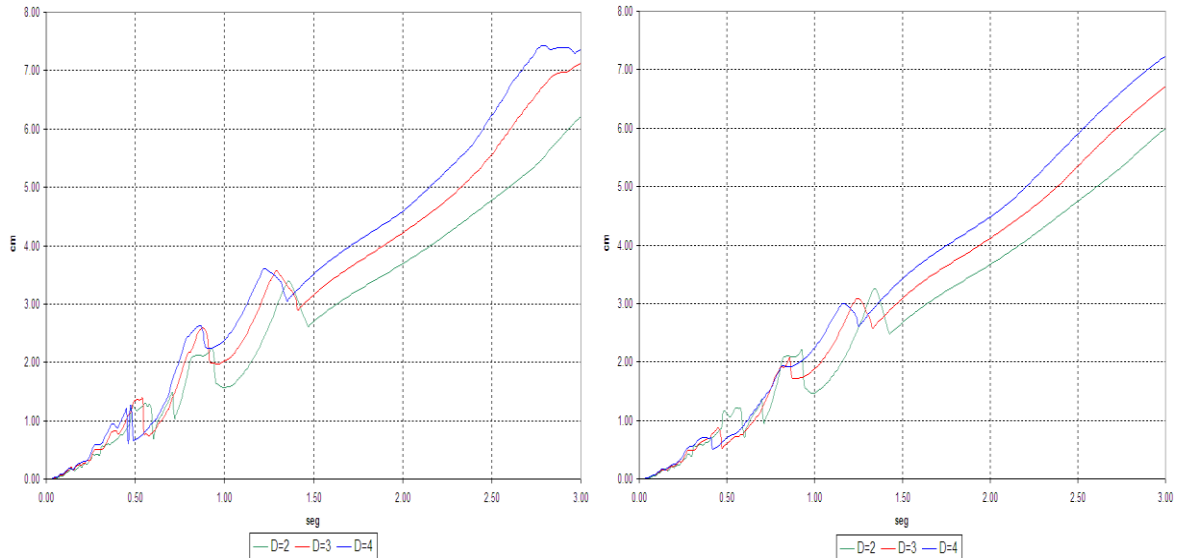


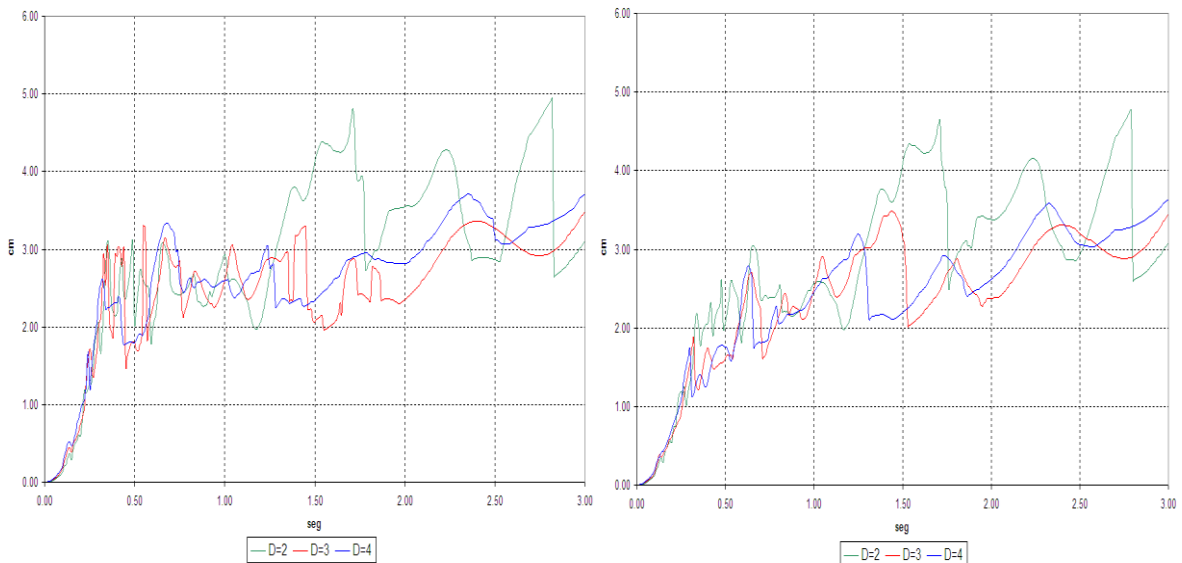
Figura 4.29: Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 10b).

En la Figura 4.30 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 04/09/1985 registrado en la Estación “RAPEL”, componente E-W (registro código 11).



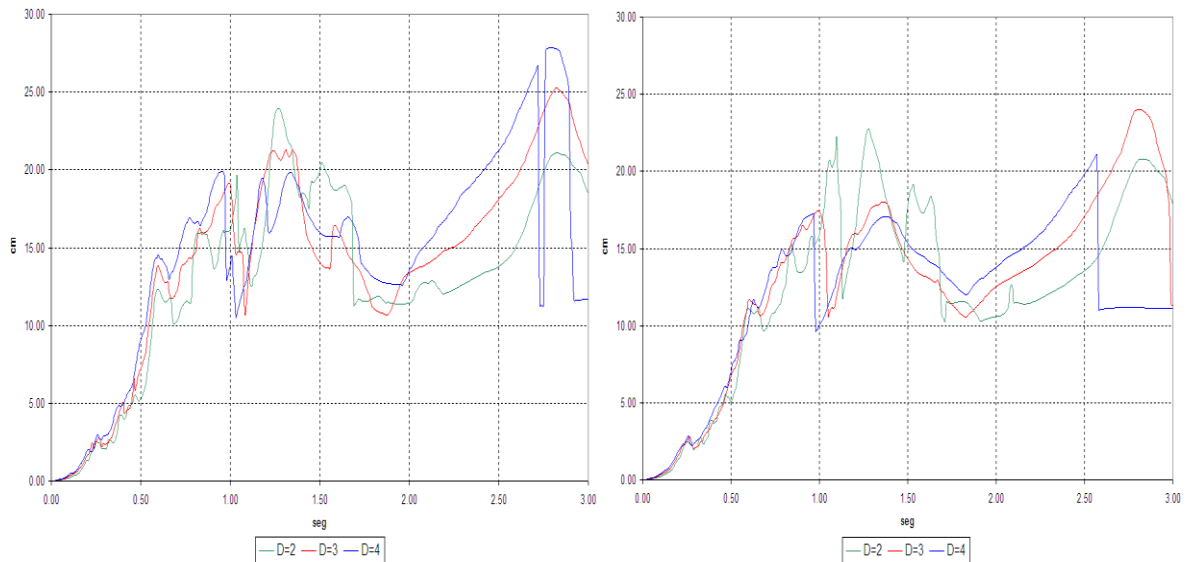
**Figura 4.30:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 11).

En la Figura 4.31 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “PAPUDO”, componente  $140^\circ$  (registro código 12).



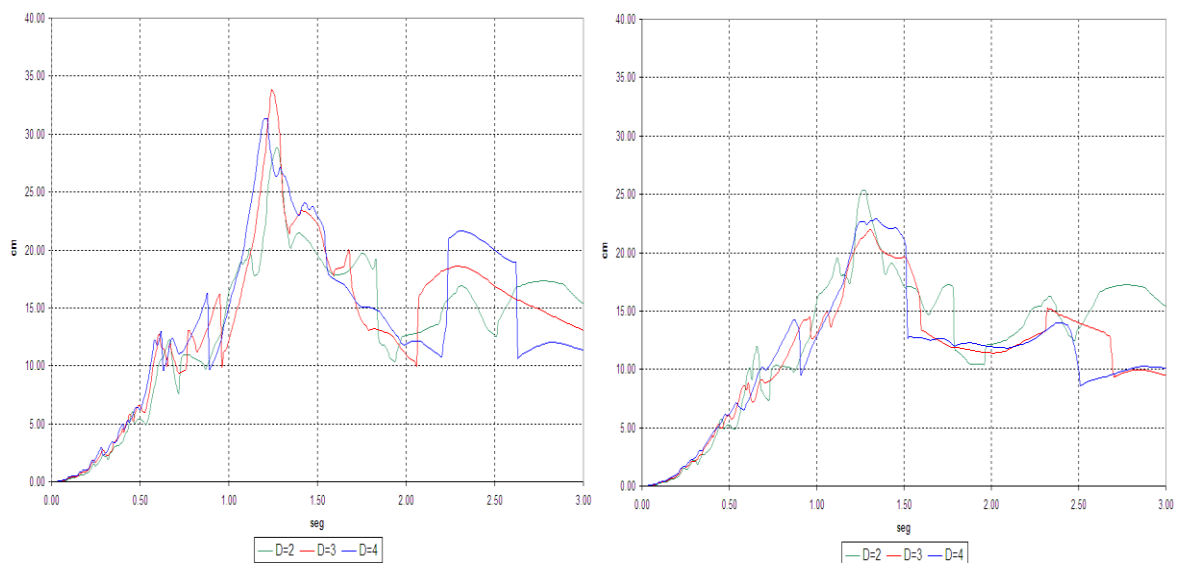
**Figura 4.31:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 12).

En la Figura 4.32 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 280° (registro código 13a).



**Figura 4.32:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 13a).

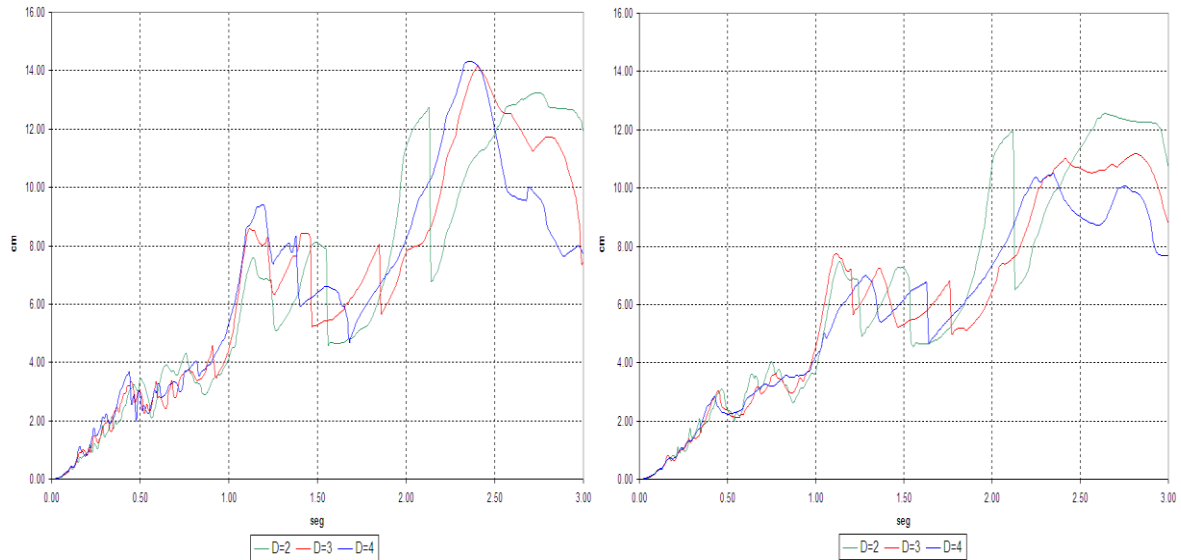
En la Figura 4.33 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 190° (registro código 13b).



**Figura 4.33:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 13b).

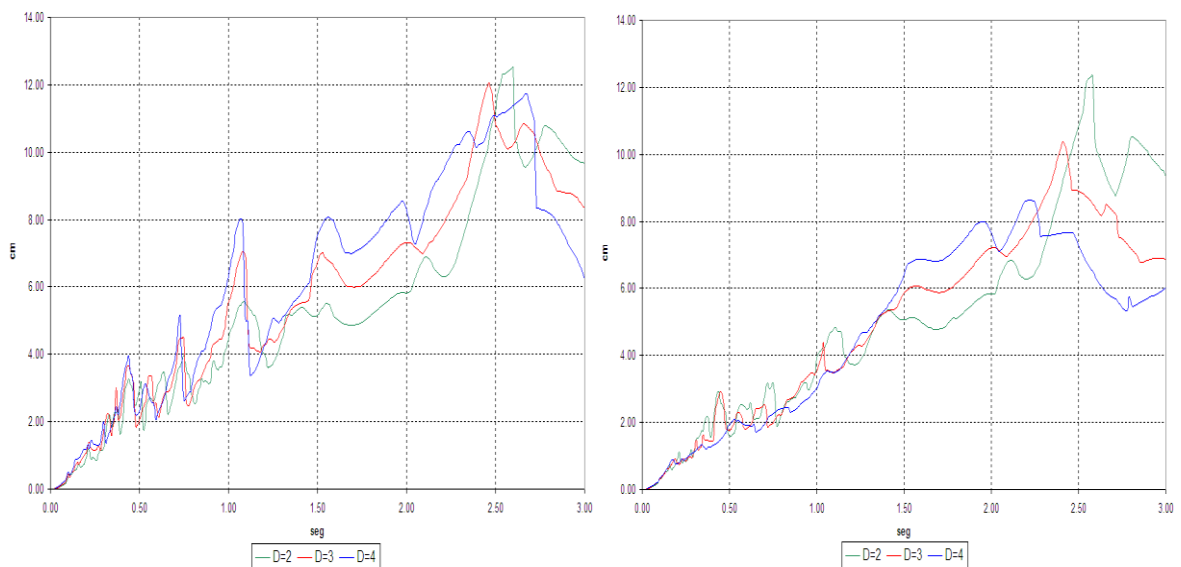


En la Figura 4.34 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN FELIPE”, componente 170° (registro código 14a).



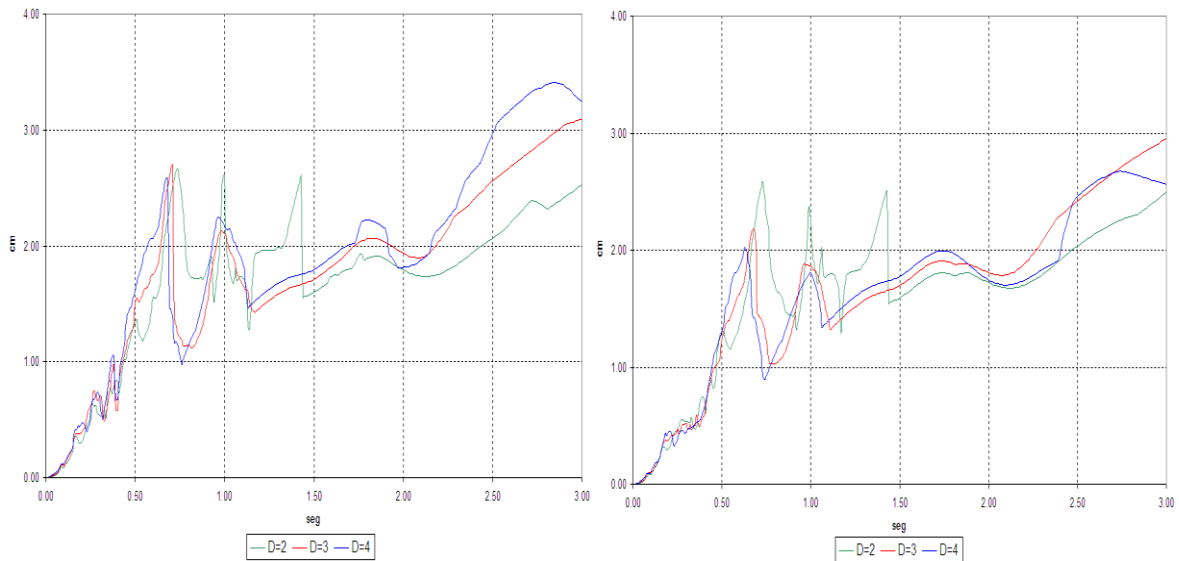
**Figura 4.34:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 14a).

En la Figura 4.35 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN FELIPE”, componente 80° (registro código 14b).



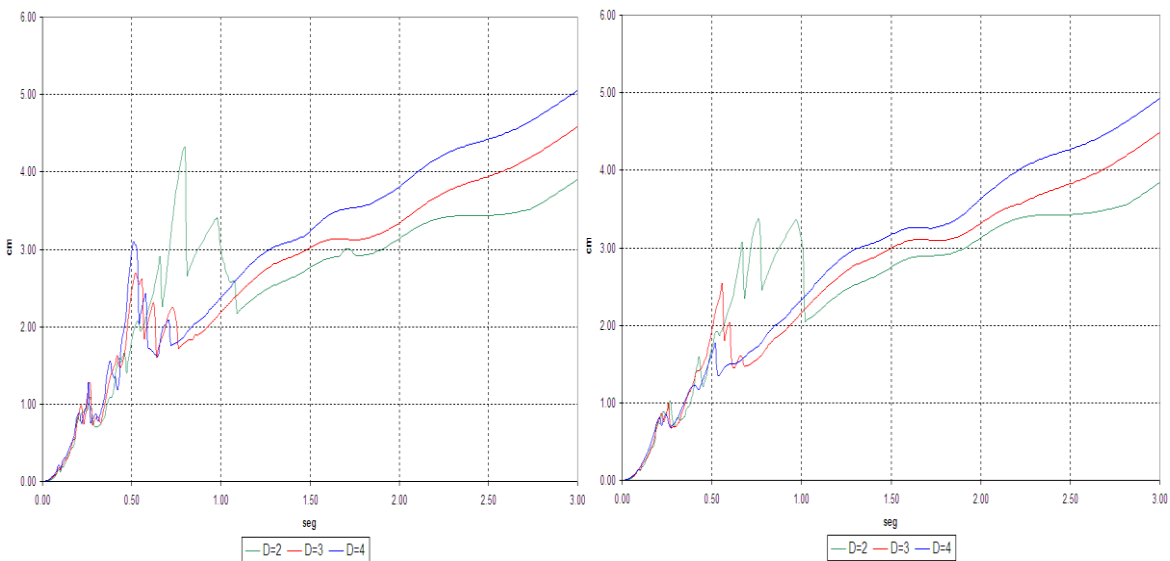
**Figura 4.35:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 14b).

En la Figura 4.36 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 08/04/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO”, componente 100° (registro código 15a).



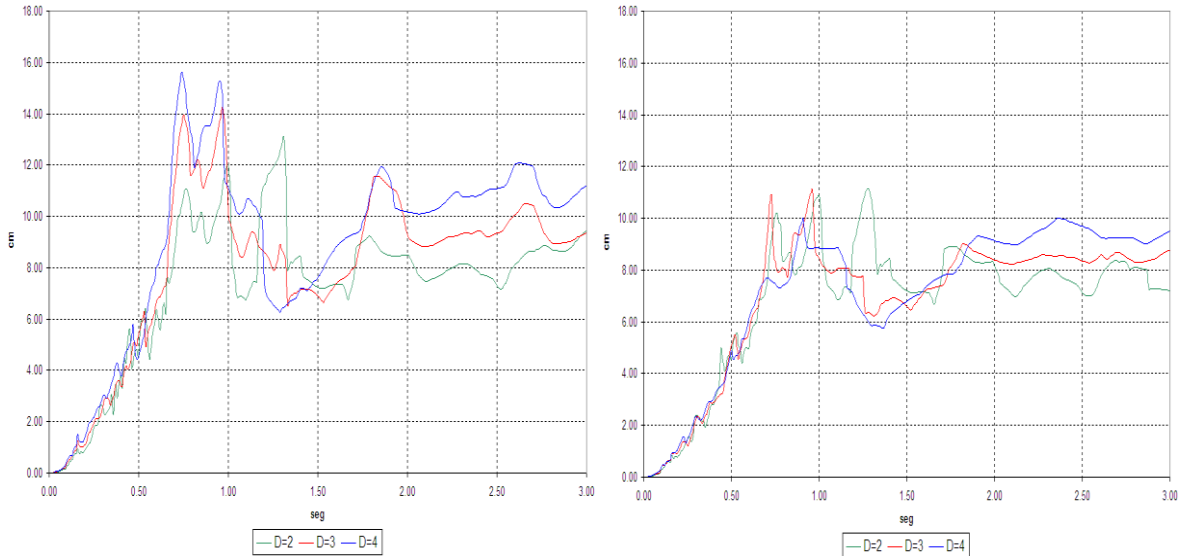
**Figura 4.36:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 15a).

En la Figura 4.37 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 08/04/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO”, componente 10° (registro código 15a).



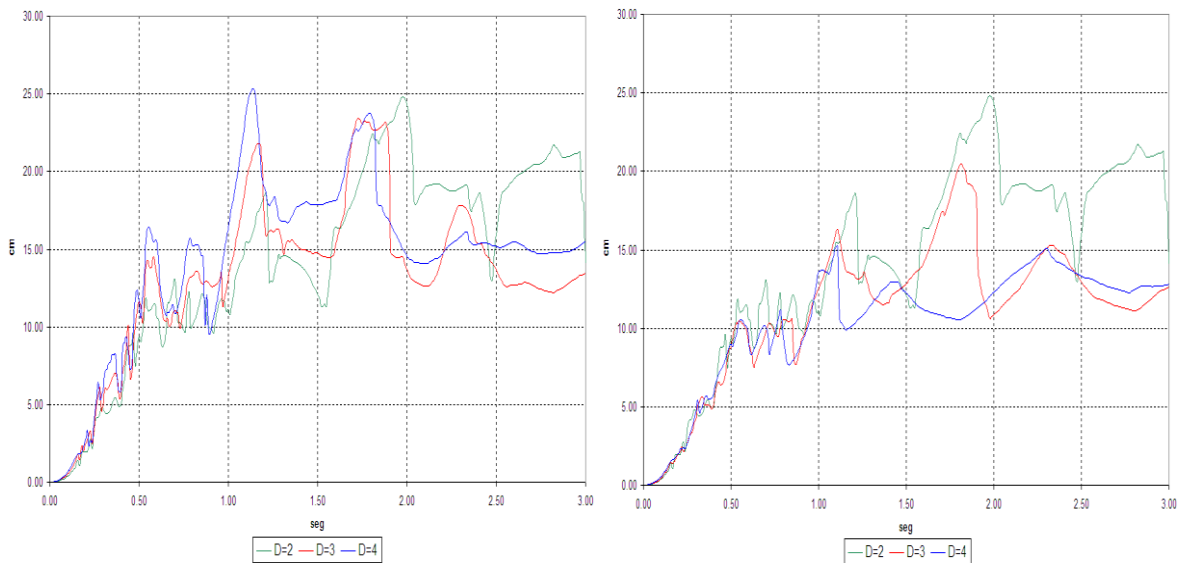
**Figura 4.37:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 15b).

En la Figura 4.38 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 100° (registro código 16a).



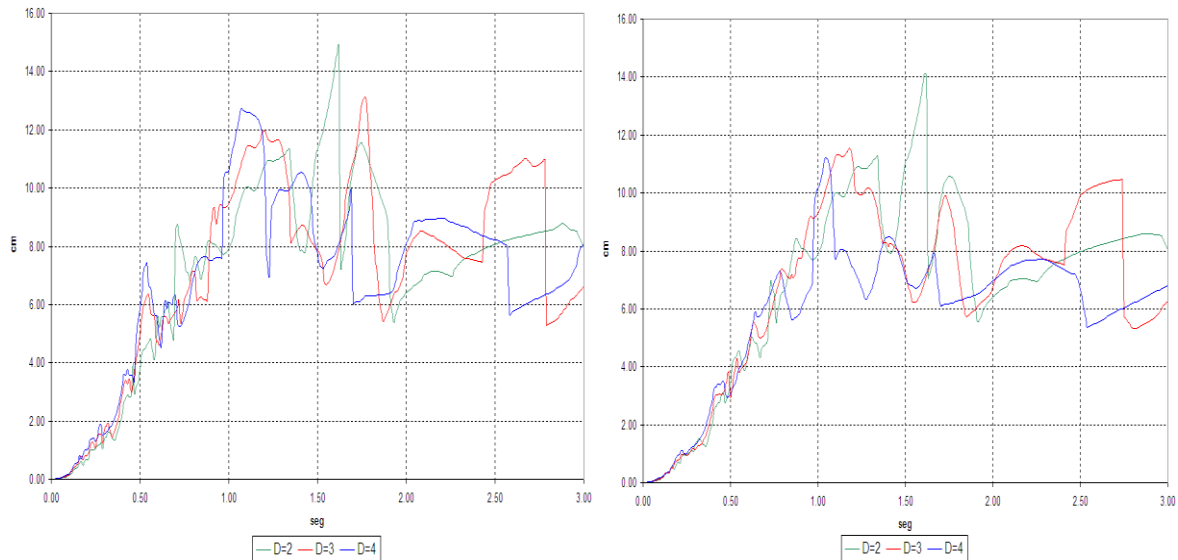
**Figura 4.38:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 16a).

En la Figura 4.39 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)”, componente 10° (registro código 16b).



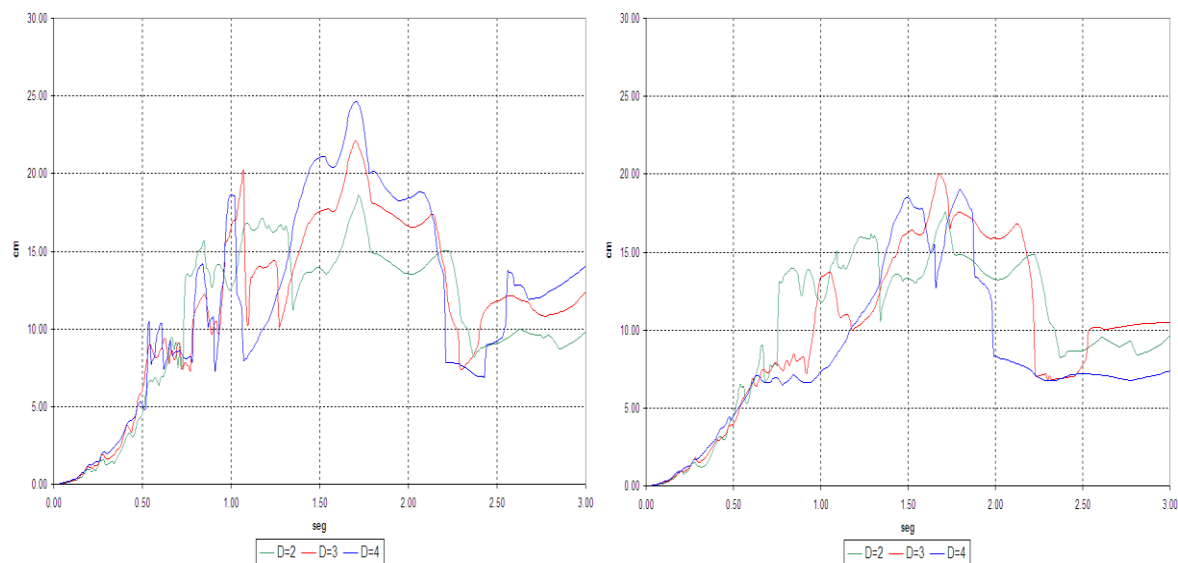
**Figura 4.39:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 16b).

En la Figura 4.40 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (U. OF CHILE)”, componente 290° (registro código 17a).



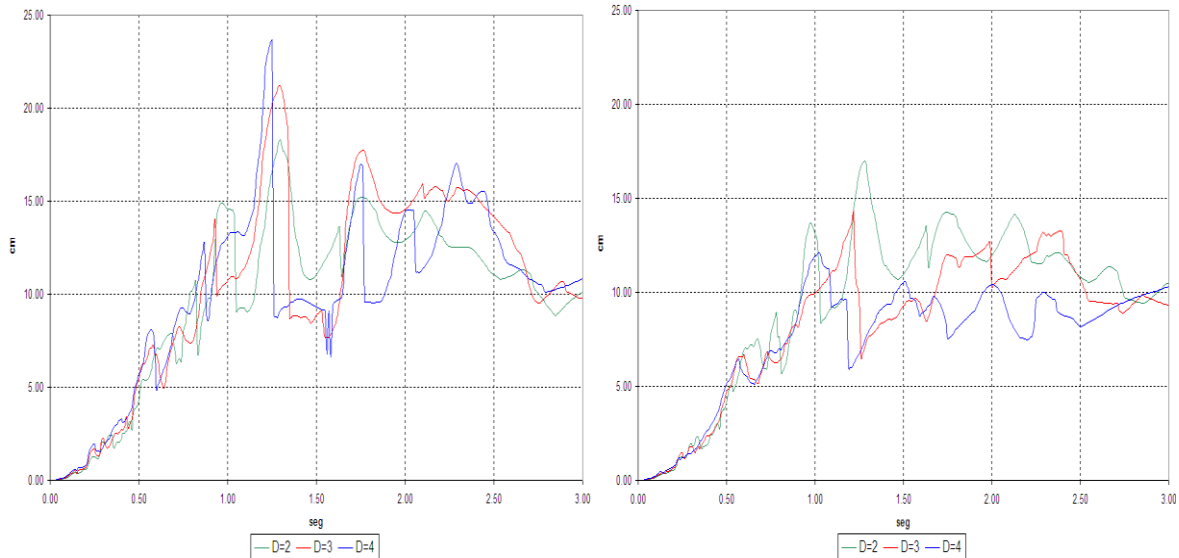
**Figura 4.40:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 17a).

En la Figura 4.41 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (U. OF CHILE)”, componente 200° (registro código 17b).



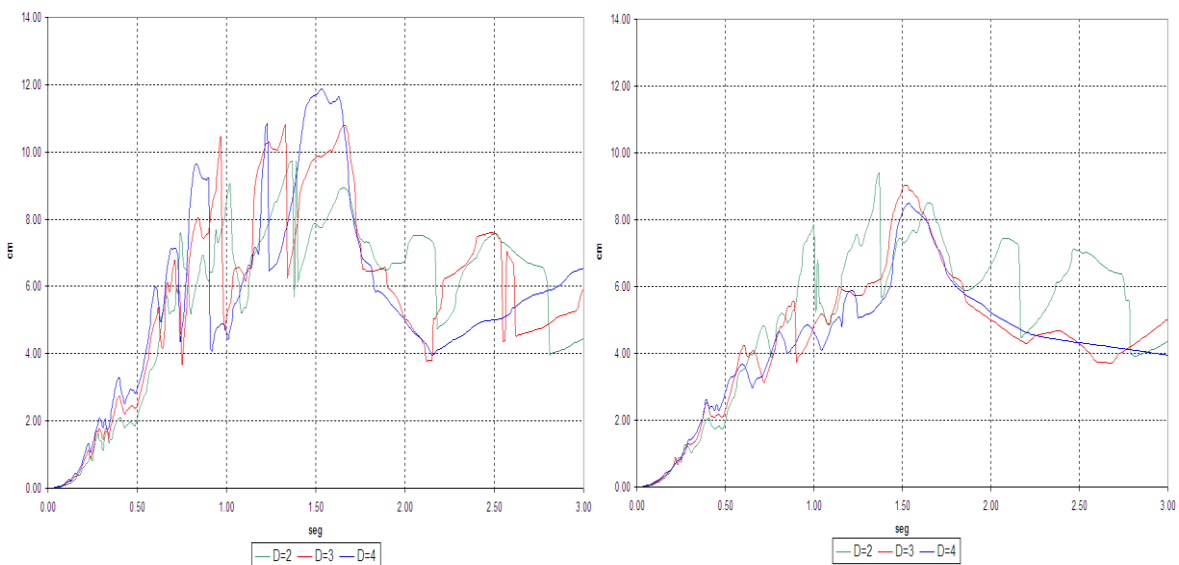
**Figura 4.41:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 17b).

En la Figura 4.42 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VALPARAISO EL ALMENDRAL”, componente 50° (registro código 18a).



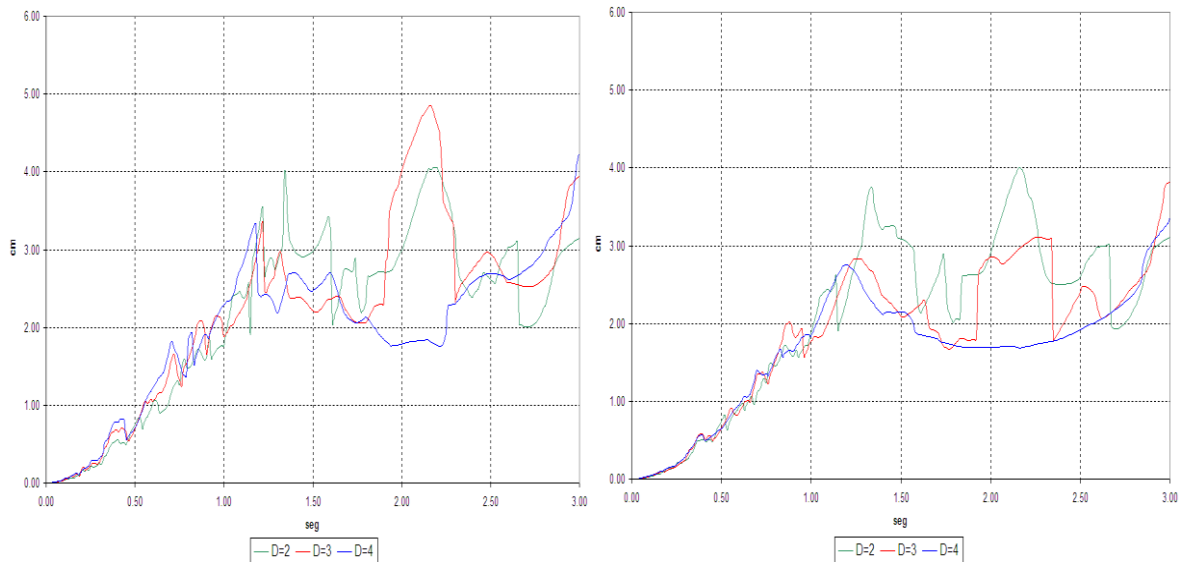
**Figura 4.42:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 18a).

En la Figura 4.43 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “VALPARAISO EL ALMENDRAL”, componente 140° (registro código 18b).



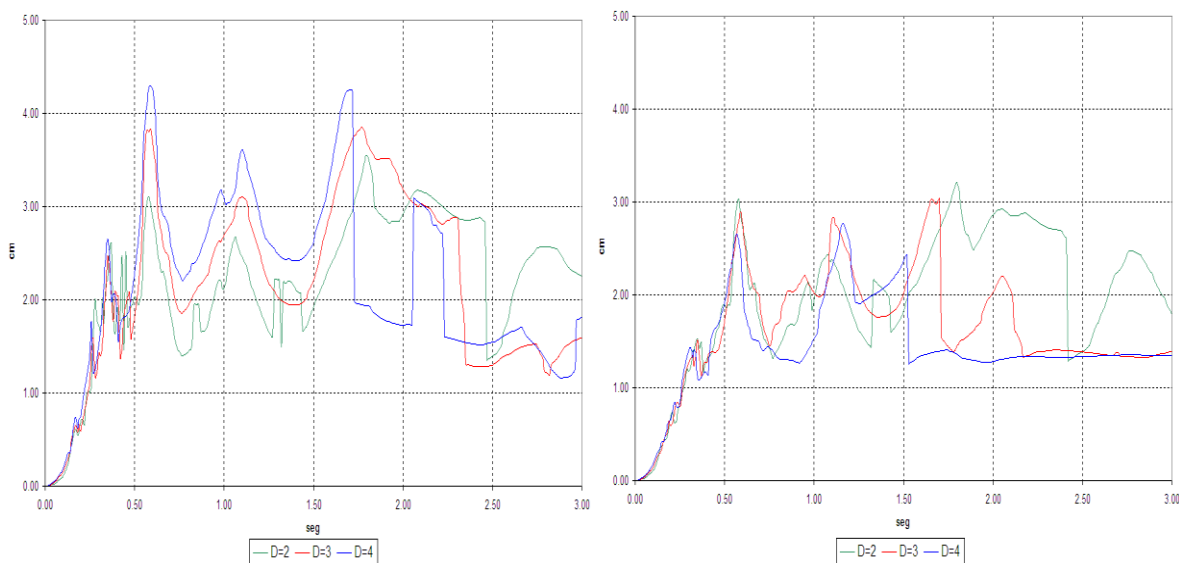
**Figura 4.43:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 18b).

En la Figura 4.44 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “COLOBUN”, componente LONG. (registro código 19).



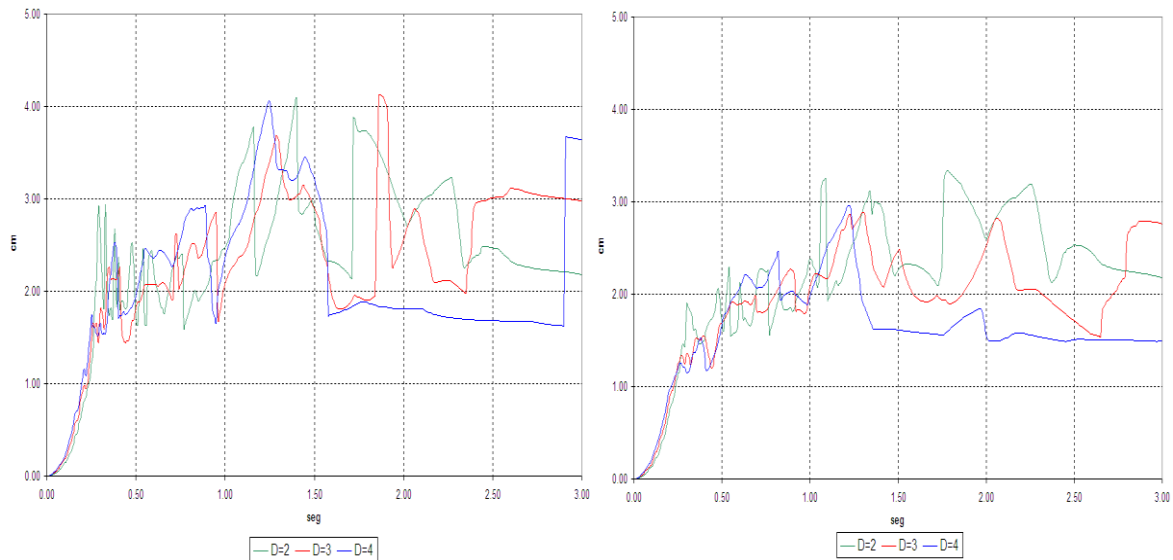
**Figura 4.44:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 19).

En la Figura 4.45 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “ILOCA”, componente E-W. (registro código 20a).



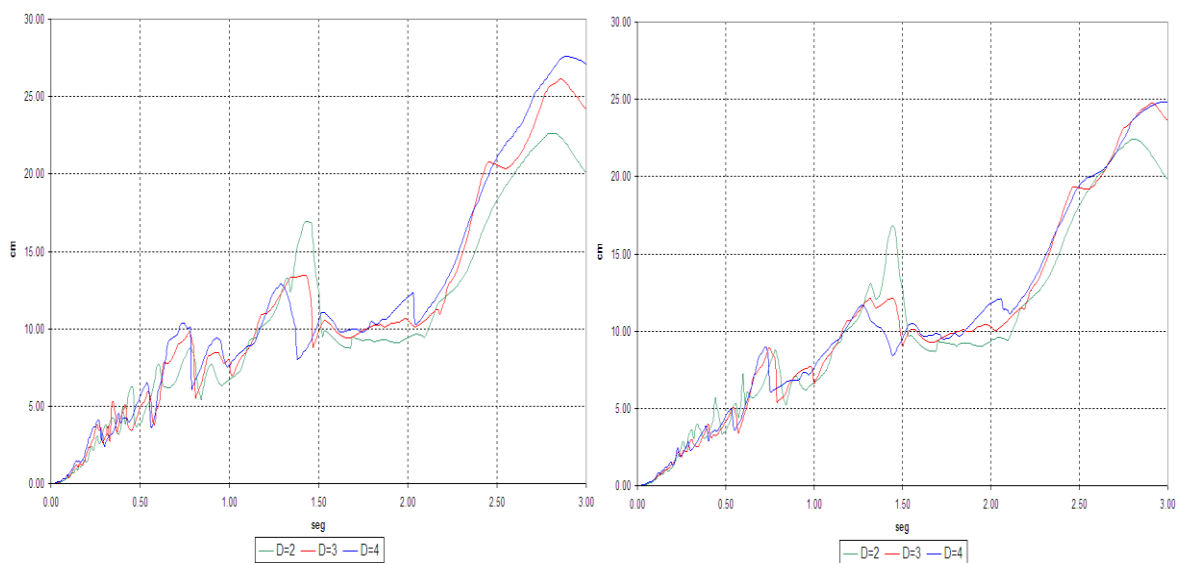
**Figura 4.45:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 20a).

En la Figura 4.46 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “ILOCA”, componente N-S. (registro código 20b).



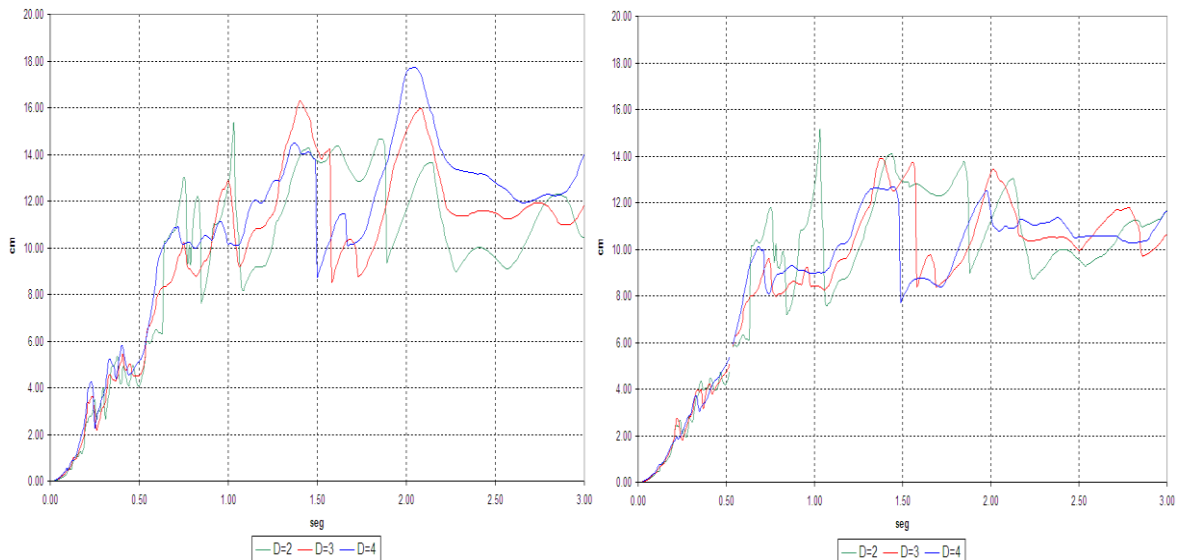
**Figura 4.46:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 20b).

En la Figura 4.47 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “MELIPILLA”, componente E-W. (registro código 21a).



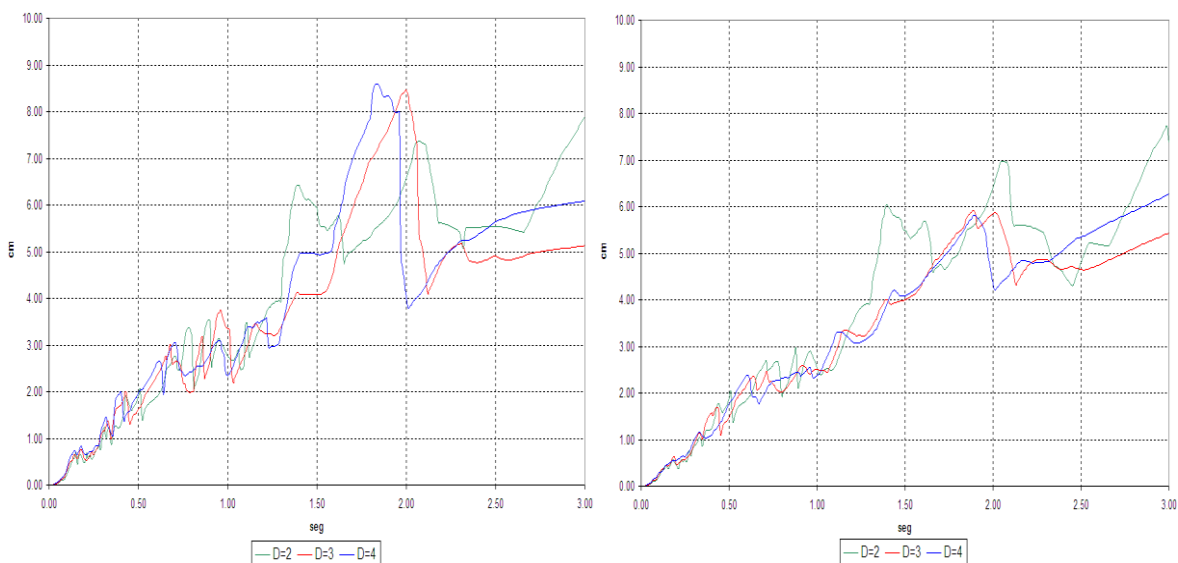
**Figura 4.47:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 21a).

En la Figura 4.48 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “MELIPILLA”, componente N-S. (registro código 21b).



**Figura 4.48:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 21b).

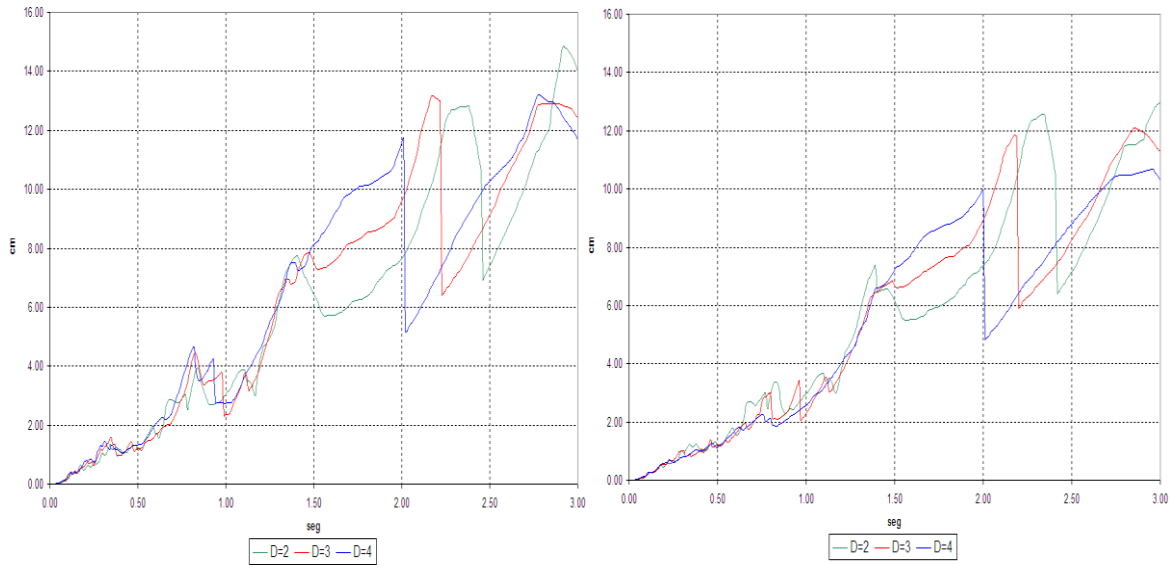
En la Figura 4.49 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “PICHILEMU”, componente E-W. (registro código 22a).



**Figura 4.49:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 22a).

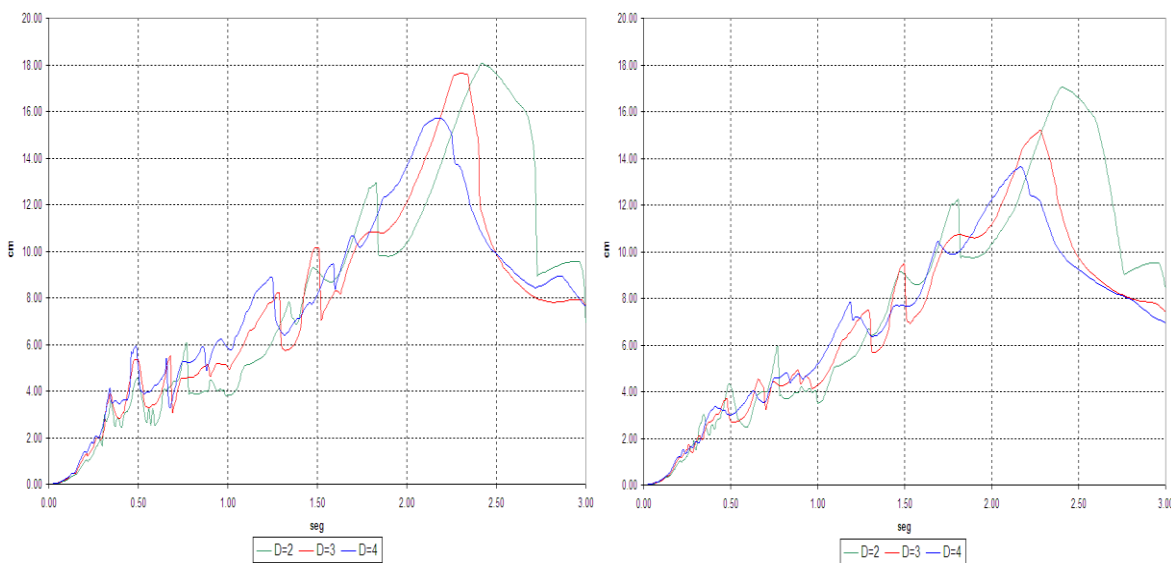


En la Figura 4.50 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “PICHILEMU”, componente N-S. (registro código 22b).



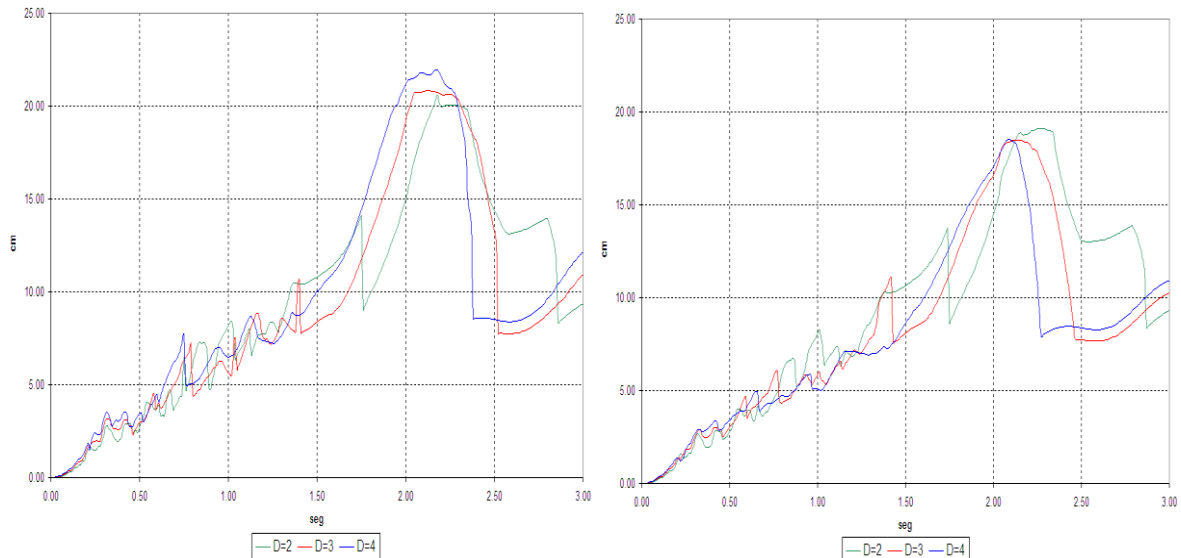
**Figura 4.50:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 22b).

En la Figura 4.51 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN FERNANDO”, componente E-W. (registro código 23a).



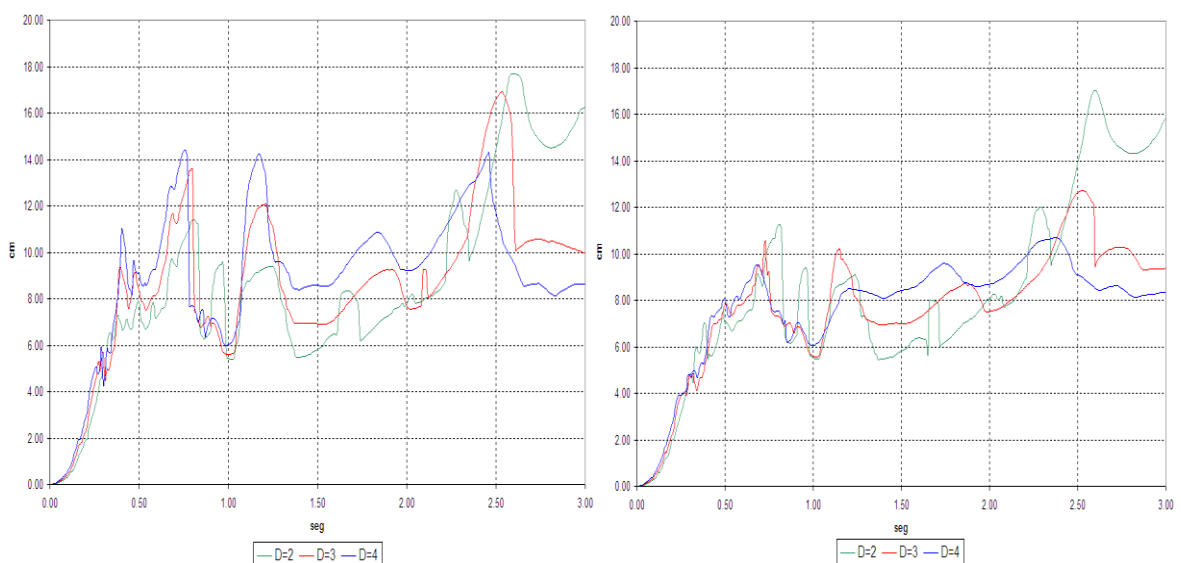
**Figura 4.51:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 23a).

En la Figura 4.52 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN FERNANDO”, componente N-S. (registro código 23b).



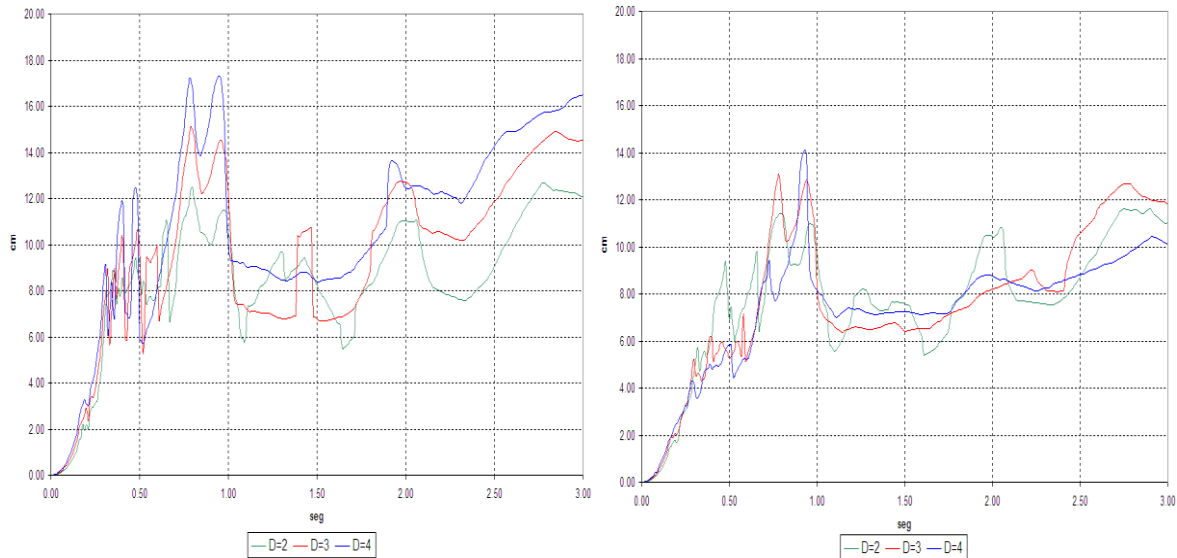
**Figura 4.52:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 23b).

En la Figura 4.53 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente LONG. (registro código 24a).



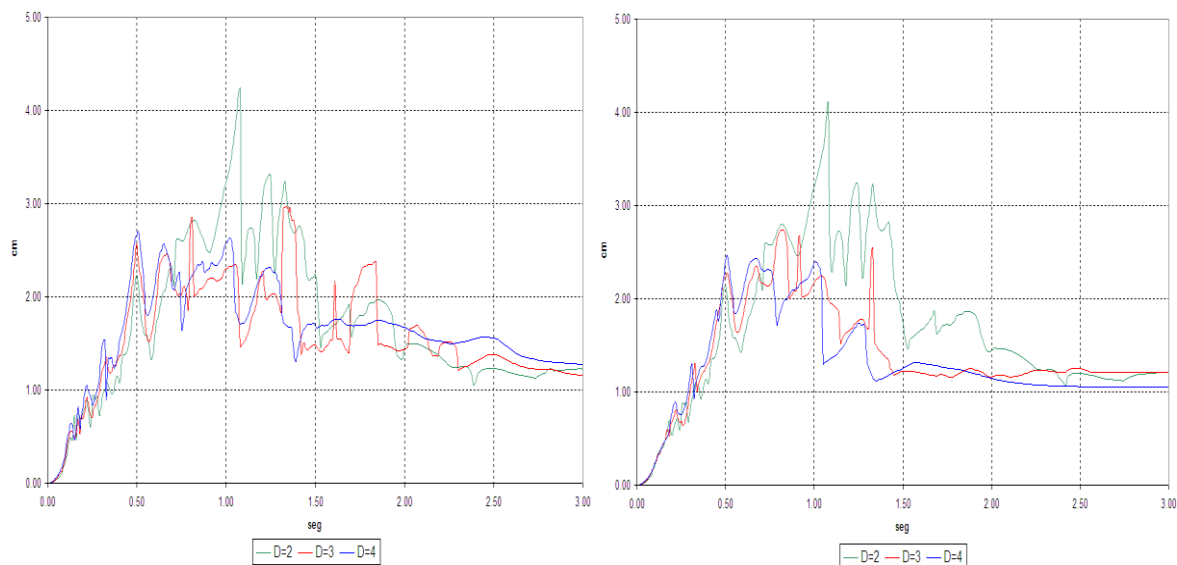
**Figura 4.53:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 24a).

En la Figura 4.54 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente TRANS. (registro código 24b).



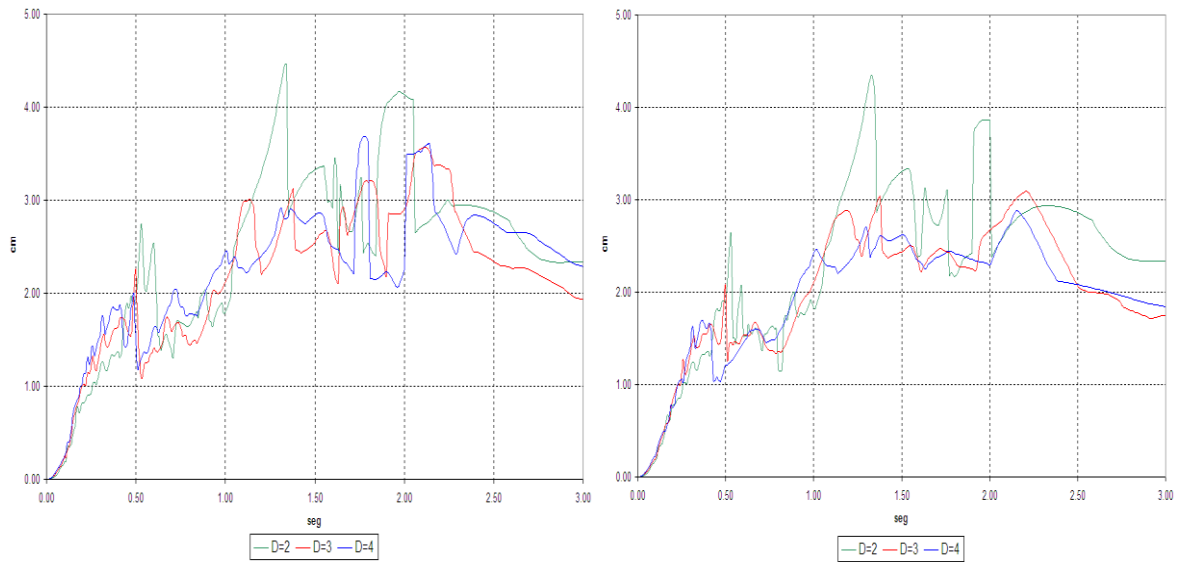
**Figura 4.54:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 24b).

En la Figura 4.55 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “ZAPALLAR”, componente E-W. (registro código 25a).



**Figura 4.55:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 25a).

En la Figura 4.56 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 03/03/1985 registrado en la Estación “ZAPALLAR”, componente N-S. (registro código 25b).



**Figura 4.56:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 25b).

#### 4.2.4 ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTO DE ARGENTINA.

En la Figura 4.57 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS”, componente LONG. (registro código 26a).

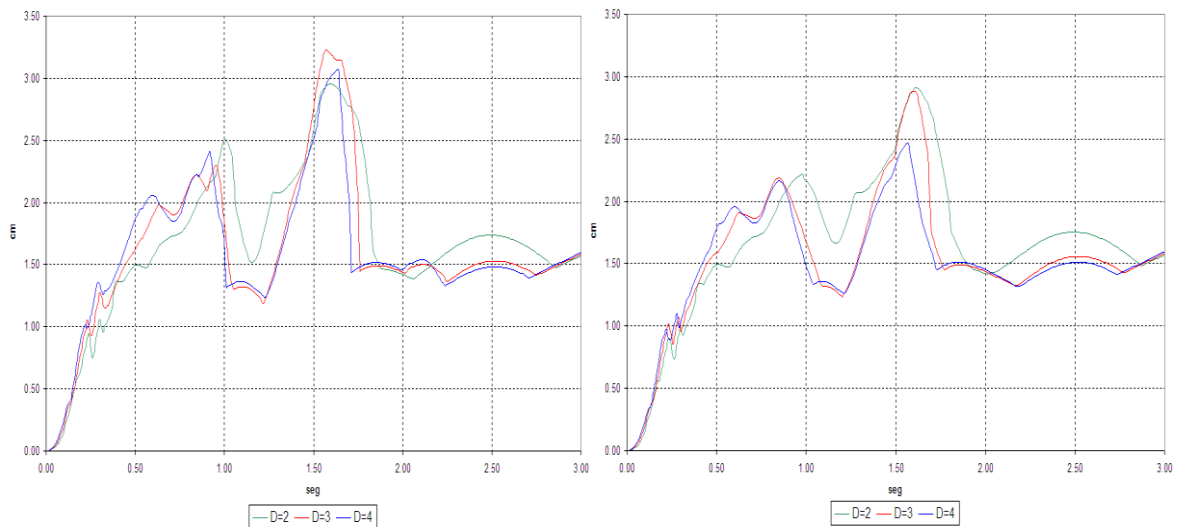


Figura 4.57: Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 26a).

En la Figura 4.58 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS”, componente TRANS. (registro código 26b).

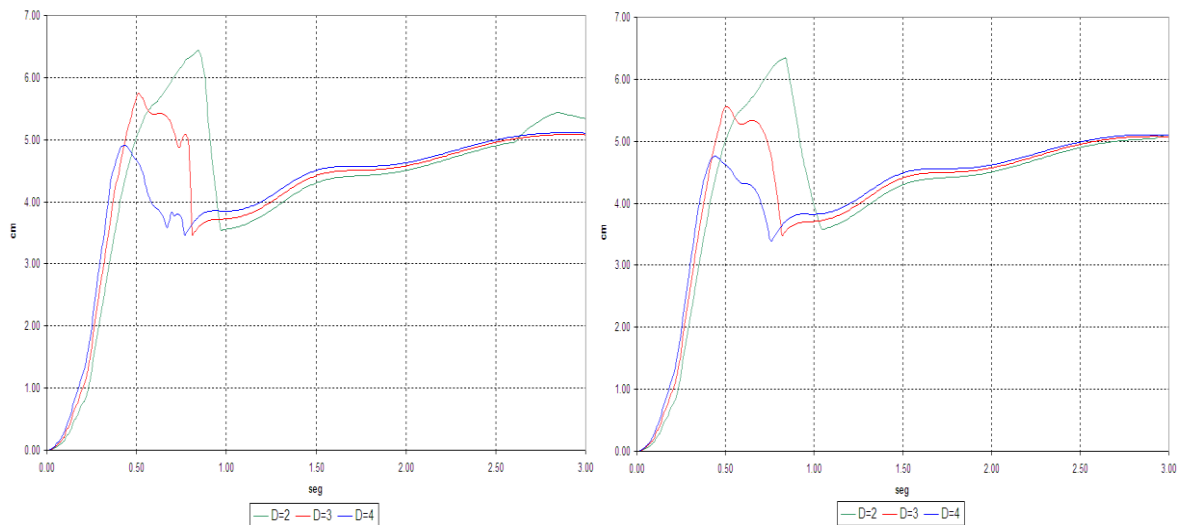
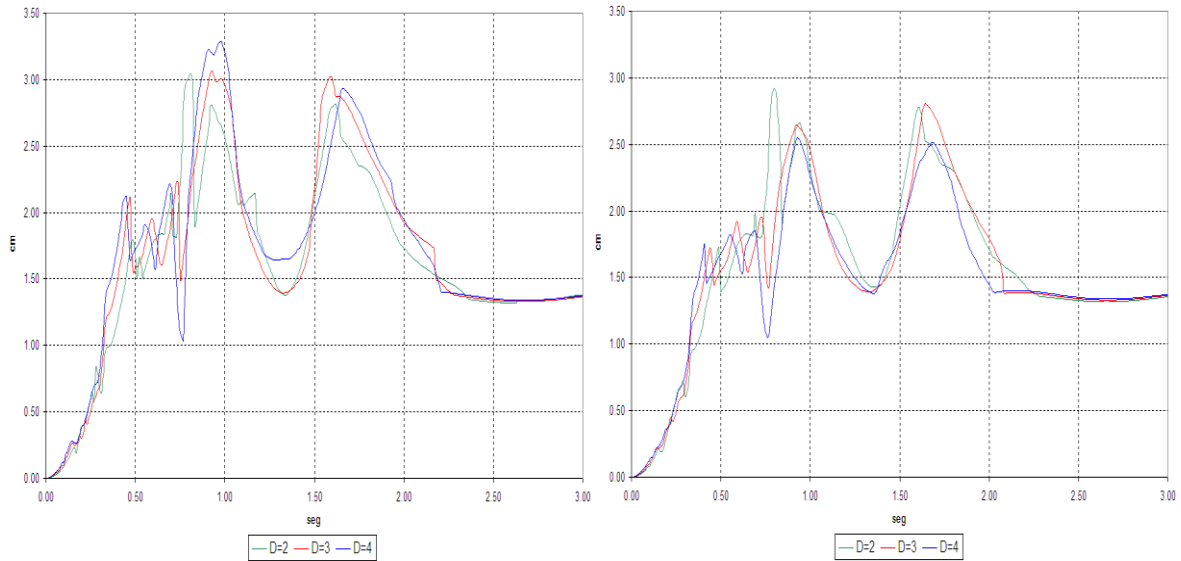


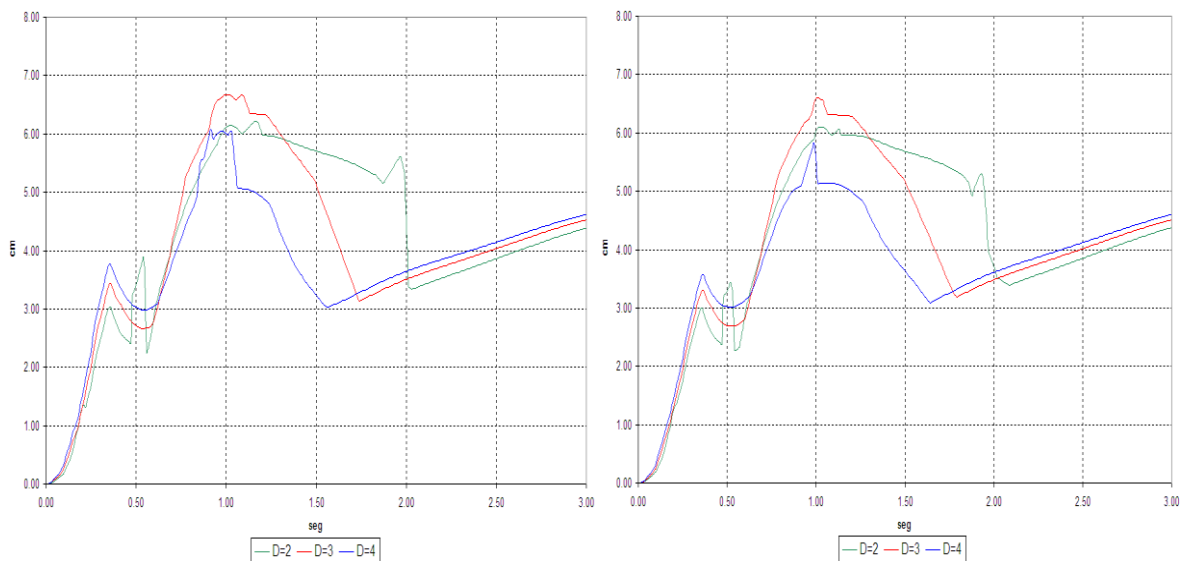
Figura 4.58: Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 26b).

En la Figura 4.59 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD LAS HERAS”, componente LONG. (registro código 27a).



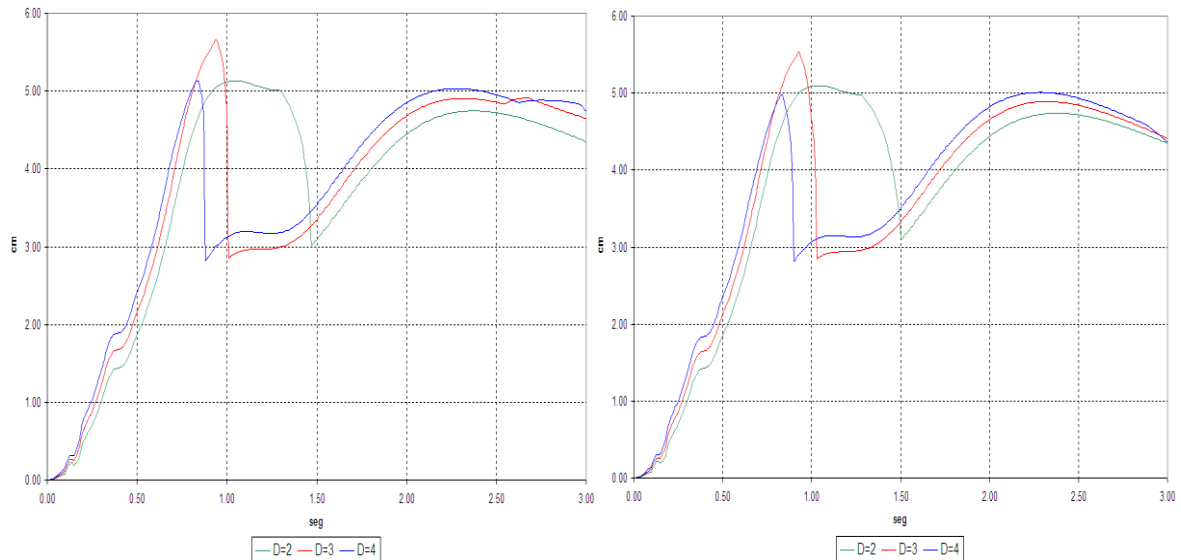
**Figura 4.59:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 27a).

En la Figura 4.60 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD LAS HERAS”, componente TRANS. (registro código 27b).



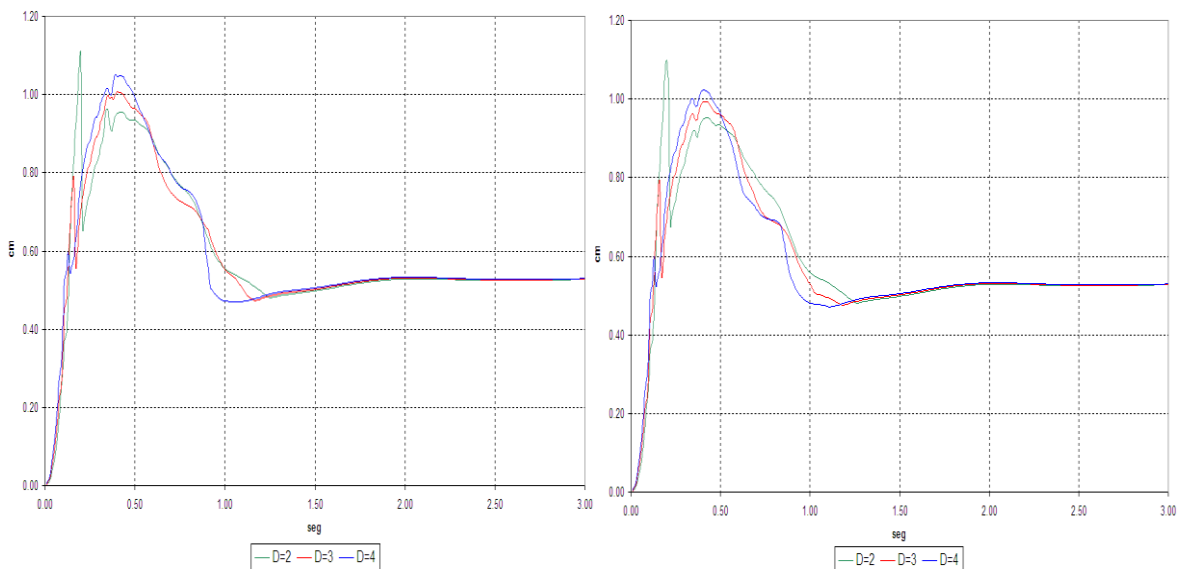
**Figura 4.60:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 27b).

En la Figura 4.61 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 26/01/1985 registrado en la Estación “MUNICIPALIDAD DE MAIPU”, componente TRANS. (registro código 28).



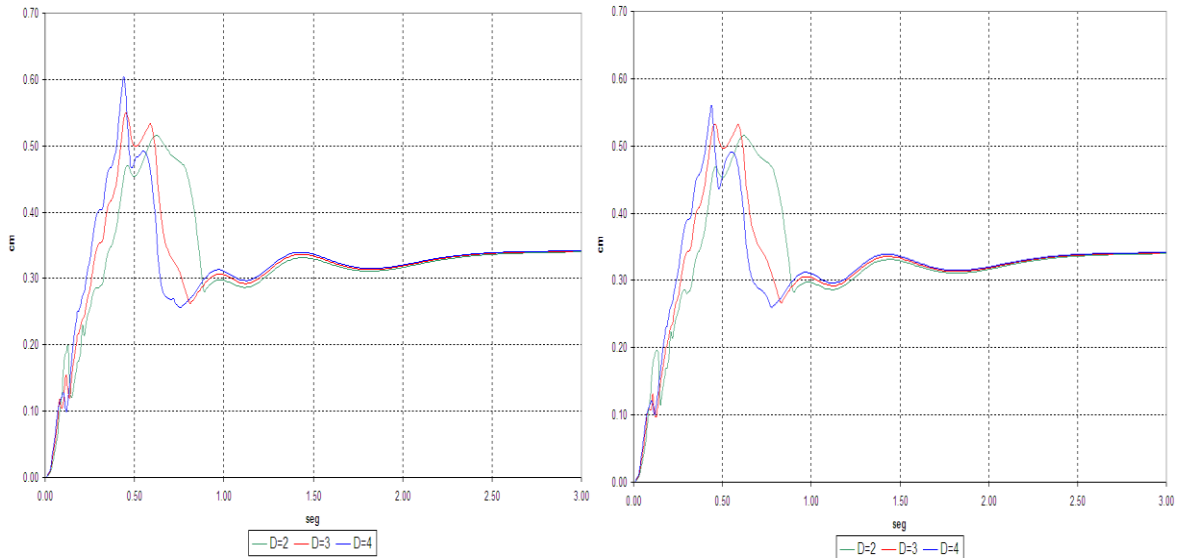
**Figura 4.61:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 28).

En la Figura 4.62 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente LONG. (registro código 29a).



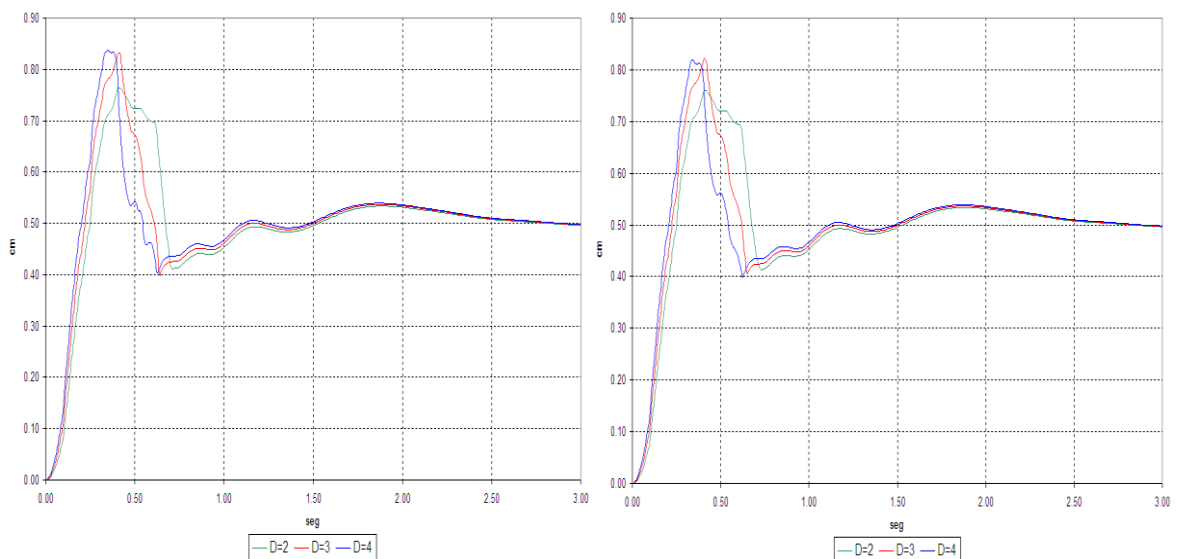
**Figura 4.62:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 29a).

En la Figura 4.63 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente TRANS. (registro código 29b).



**Figura 4.63:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 29b).

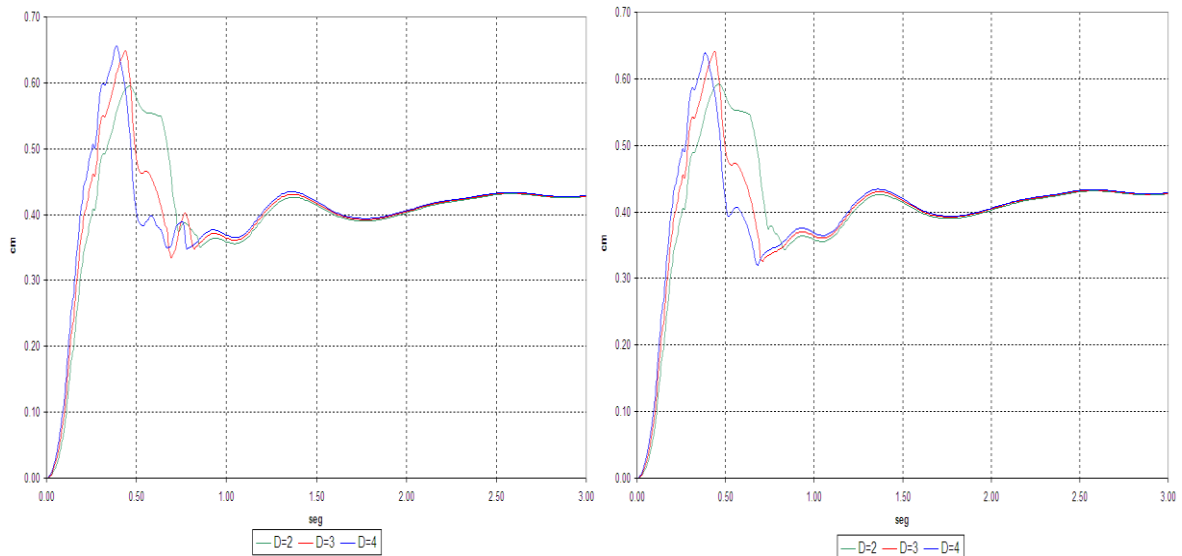
En la Figura 4.64 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente E-W. (registro código 30a).



**Figura 4.64:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 30a).



En la Figura 4.65 se muestran los espectros de desplazamiento inelástico para ductilidades de 2, 3 y 4 del sismo del 23/08/2005 registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente N-S. (registro código 30b).



**Figura 4.65:** Espectros inelásticos para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 30b).

## CAPÍTULO V

### RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO INELÁSTICO Y MÁXIMO ELÁSTICO.

#### RESUMEN

Se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento calculados en capítulos anteriores para cada registro acelerográfico, inelásticos con ductilidades de 2, 3 y 4, divididos para el espectro elástico. Se describe el procedimiento de

trabajo y adicionalmente la utilización del programa DEGTRA A4. Es necesario hacer notar que no se describen todas las funciones del programa DEGTRA A4 sino solamente las utilizadas para el presente estudio.

Finalmente se exponen los resultados obtenidos de cada registro acelerográfico, utilizando los modelos de histéresis descritos en capítulo IV y organizándolos por países Colombia, Perú, Chile y Argentina respectivamente.

## **5.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.**

Luego de disponer de una base de registros acelerográficos en formato similar, se obtuvieron los espectros elásticos e inelásticos para cada uno de los registros, los espectros elásticos se presentaron en el capítulo III, mientras que los espectros inelásticos en el capítulo IV del presente estudio.

Ambos tipos de espectros fueron calculados utilizando el programa DEGTRA A4 versión 5.1.0, los resultados obtenidos se llevaron a Microsoft Excel

donde se realizó la división entre los espectros inelásticos y elásticos para encontrar la relación entre el desplazamiento máximo inelástico y máximo elástico.

DEGTRA A4 es la herramienta fundamental para el presente estudio por lo que es importante describir las principales funciones utilizadas en el presente estudio. Para una mayor información del programa se puede consultar el manual elaborado por M. Ordaz (2002), adicionalmente se pueden consultar la tesis de Vallejo (2002) y el manual escrito por Haro (2002).

#### **5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEGTRA A4**

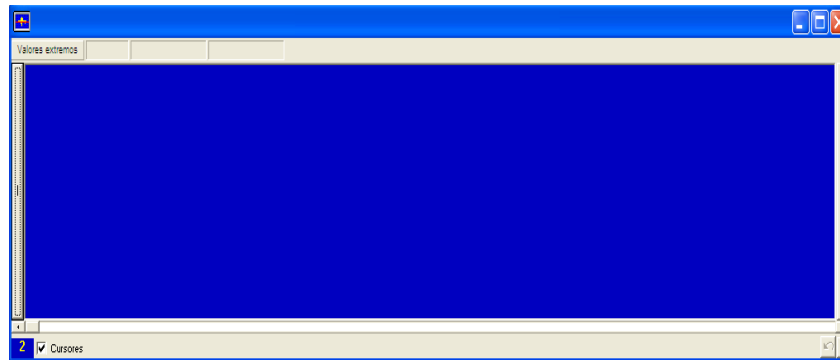
DEGTRA A4 es un programa elaborado en la Universidad Autónoma de México por Ordaz M, permite visualizar señales y manipularlas, se pueden usar filtros básicos y avanzados, evaluar la coherencia, correlación cruzada, integrar, derivar, calcular espectros de amplitudes de Fourier, mostrar en forma de odograma los registros sísmicos de componentes diferentes, rotar, sumar, restar, corregir línea base de diversas formas y también permite calcular espectros de

respuesta lineales o no lineales, así como la respuesta de osciladores de un grado de libertad o Intensidad de Arias.

Los alumnos de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM han usado DEGTRA A4 desde hace mucho tiempo en la comprobación de programas-tarea de dinámica estructural, por lo cual DEGTRA A4 ha sido revisado un sin número de ocasiones, generando confiabilidad, M. Ordaz (2002).

DEGTRA A4 permite realizar múltiples operaciones con un registro acelerográfico sin embargo a continuación se describe solamente el procedimiento seguido en este estudio:

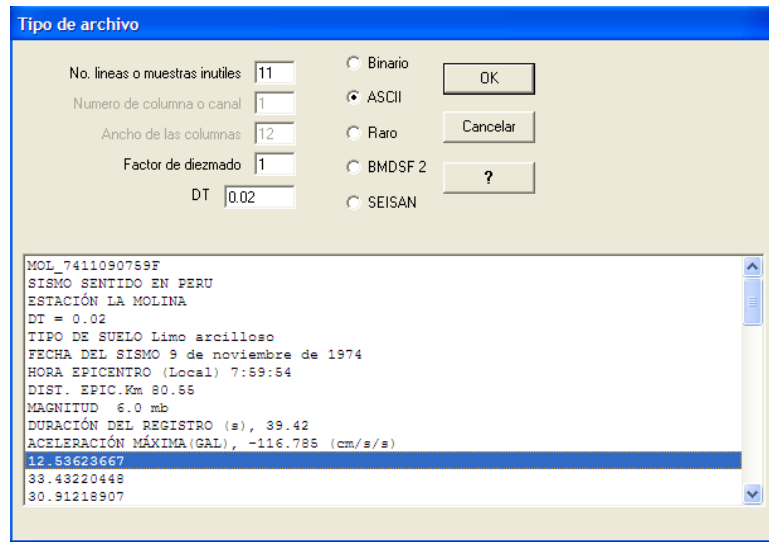
- Una vez en el programa se necesita abrir una ventana nueva, para esto se hace clic en el menú “Archivo” y se escoge la opción “Nueva Ventana”, el resultado es una ventana similar a la que se muestra en la figura 5.1.



**Figura 5.1** Nueva ventana en DEGTRA A4.

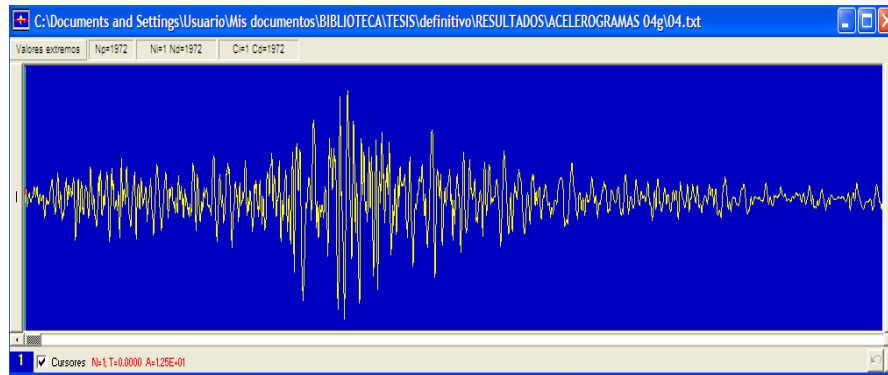
- Se escoge a continuación el registro acelerográfico mediante el menú “Archivo” y se elige la opción “Leer acelerograma”, se abre el registro con el que se desea

trabajar y una ventana como la que se muestra en la figura 5.2 aparece, es importante conocer que el máximo número de datos permitido en cada registro es  $NP_{MAX} = 2^{14} + 2$ , si un registro posee más datos, el programa los ignorará y solamente trabajará con los 16386 datos iniciales.




**Figura 5.2** Pantalla para lectura de acelerograma.

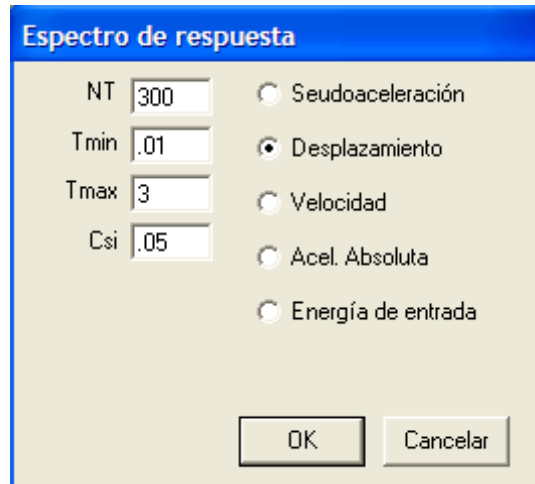
- En la pantalla que se muestra la figura 5.2 se elige el tipo de archivo ASCII ya que la base de registros de este estudio está en este formato, se escribe el número de líneas inútiles del registro, se coloca el intervalo de tiempo con el que los datos fueron tomados y se escribe el factor de diezmado N, para este estudio  $N = 1$ . Con el valor de N se leerá sólo una de cada N muestras. El programa entonces grafica el acelerograma como se muestra en la figura 5.3.



**Figura 5.3** Grafica de acelerograma.

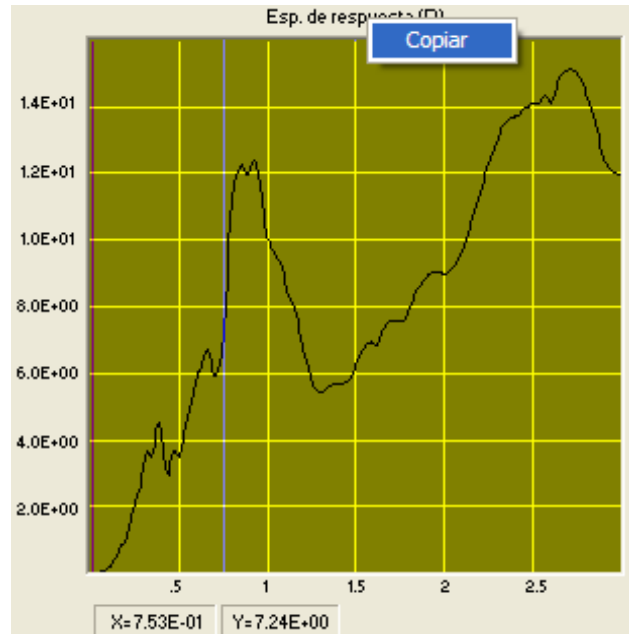
- Para calcular el espectro de respuesta elástico se hace clic en el icono  y se asignan los parámetros mostrados a continuación:
  - NT Número de periodos o puntos para los que se calcula el espectro.
  - Tmin Periodo inicial más bajo del espectro.
  - Tmax Periodo final más alto del espectro.
  - Csi Amortiguamiento, expresado como porcentaje del amortiguamiento crítico.

En la figura 5.4 se muestran los parámetros utilizados para el estudio, NT=300, Tmin = 0.01, Tmax = 3 y Csi = 0.05 y se selecciona además el tipo de espectro “Desplazamiento”.




**Figura 5.4** Parámetros utilizados para el cálculo del espectro elástico de desplazamiento.

- El resultado se presenta en forma gráfica y sus unidades corresponden a las unidades del acelegrama, por ejemplo para el estudio se utilizaron registros con aceleraciones en  $\text{gals} = \text{cm/s}^2$ , lo que quiere decir que el espectro de desplazamiento está en cm, para obtener los datos del espectro basta hacer clic en el encabezado y seleccionar “copiar” como se muestra en la figura 5.5. Los datos del espectro se pueden pegar en un documento de Texto cualquiera e incluso en Microsoft Excel.



**Figura 5.5** Opción copiar datos del espectro de desplazamiento.

- Para calcular los espectros inelásticos se hace clic en el icono , y se colocan los siguientes parámetros:
  - NT Número de periodos para los que se calcula el espectro.
  - Tmin Periodo inicial más bajo del espectro.
  - Tmax Periodo final más alto del espectro.
  - Csi Amortiguamiento, expresado como porcentaje del crítico.
  - Q Demanda de ductilidad deseada.
  - $\beta$  Rigidez de la rama post-fluencia, expresada como una fracción de la rigidez inicial.

En la figura 5.6 se muestran los parámetros utilizados para el estudio, NT=300, Tmin = 0.01, Tmax = 3 y Csi = 0.05, se selecciona además el tipo



de espectro “Desplazamiento”. Para el caso de  $\beta$  se utilizó valores de 0 y 0.05 y para cada uno de los casos se obtuvieron espectros con valores de Q de 2, 3 y 4.

Parameter	Value	Option
NT	300	Resistencia
Tmin	.01	Desplazamiento
Tmax	3	Energía de entrada
Csi	.05	Energía hysterética
Q	2	
$\beta$	0	

**Figura 5.6** Parámetros utilizados para el cálculo del espectro inelástico de desplazamiento.

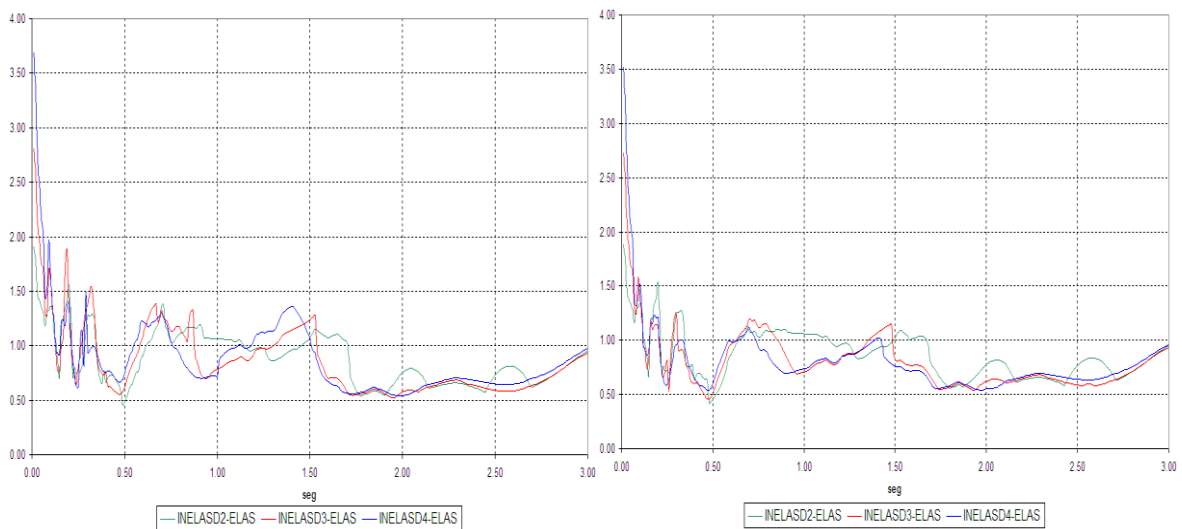
El espectro inelástico se presenta en forma gráfica y para obtener sus datos se procede de igual forma como con los espectros elásticos figura 5.5, se hace clic en el encabezado y se selecciona “copiar”. Los datos se pueden pegar en cualquier archivo de texto o directamente en Microsoft Excel.

A continuación se presentan los resultados de dividir los espectros inelásticos para los espectros elásticos de desplazamiento obtenidos de cada registro acelerográfico, para el estudio se utilizaron dos modelos de histéresis por lo que cada figura consta de dos gráficas, la de la izquierda utilizando un modelo

elasto plástico perfecto ( $\alpha = 0$ ) y la de la derecha utilizando un modelo elasto plástico con rigidez post fluencia de 0.05 ( $\alpha = 5\%$ ).

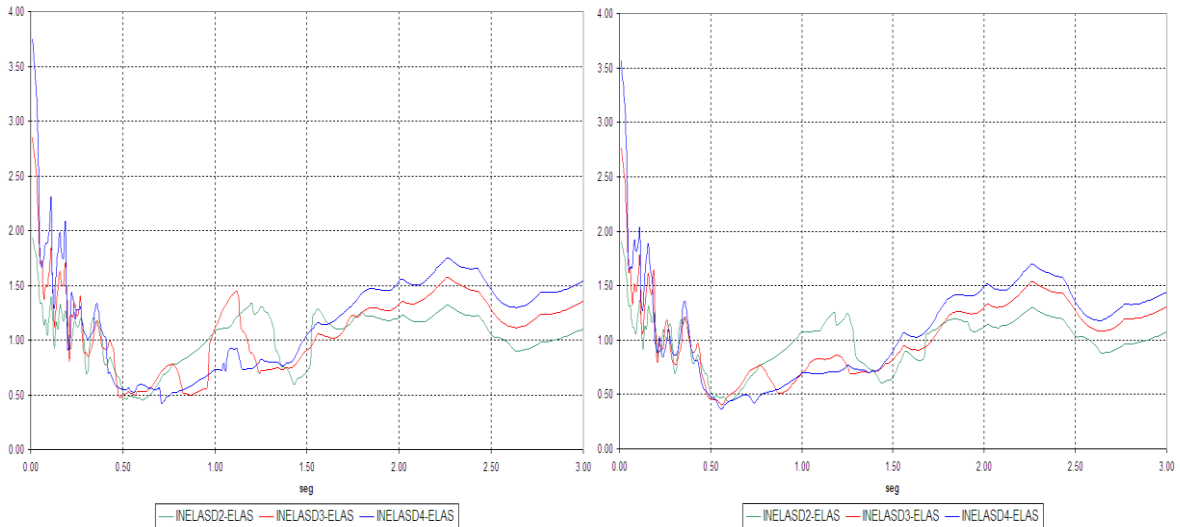
## 5.2 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE COLOMBIA.

En la Figura 5.7 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente E-W (registro código 31a).

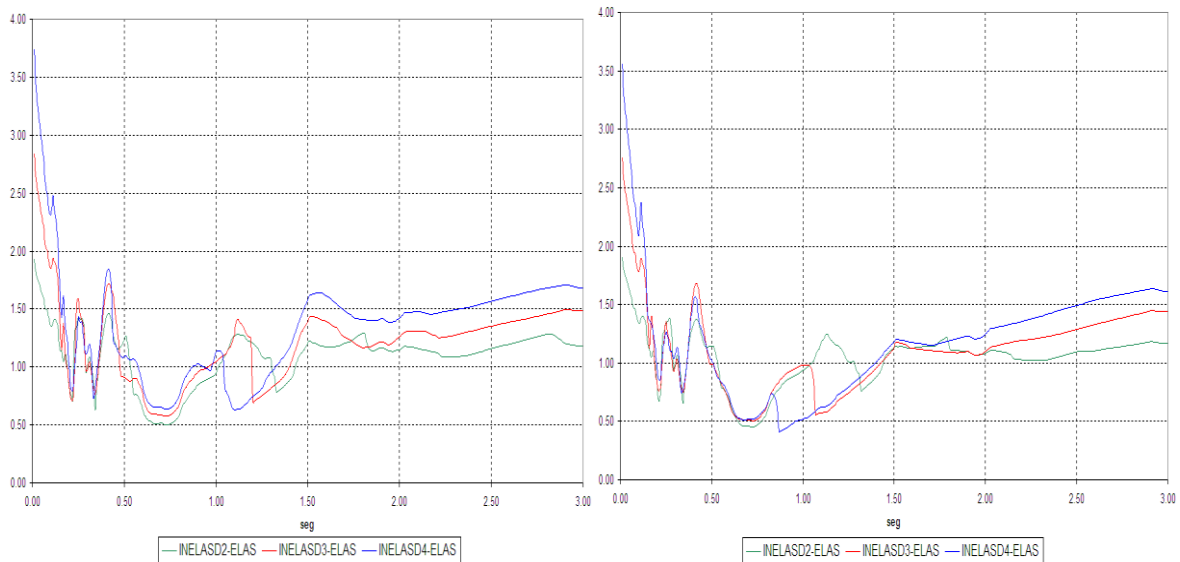


**Figura 5.7:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 31a).

En la Figura 5.8 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “ARMENIA (CARME)”, componente N-S (registro código 31b).

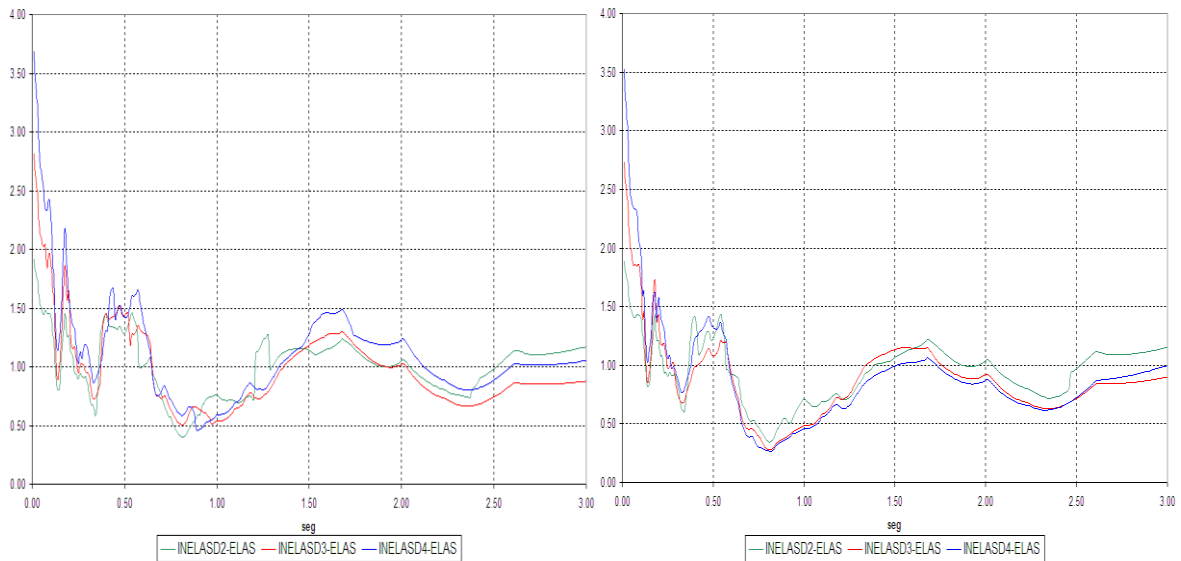


**Figura 5.8:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 31b).  
 En la Figura 5.9 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “FILANDIA (CFLAN)”, componente E-W (registro código 32a).

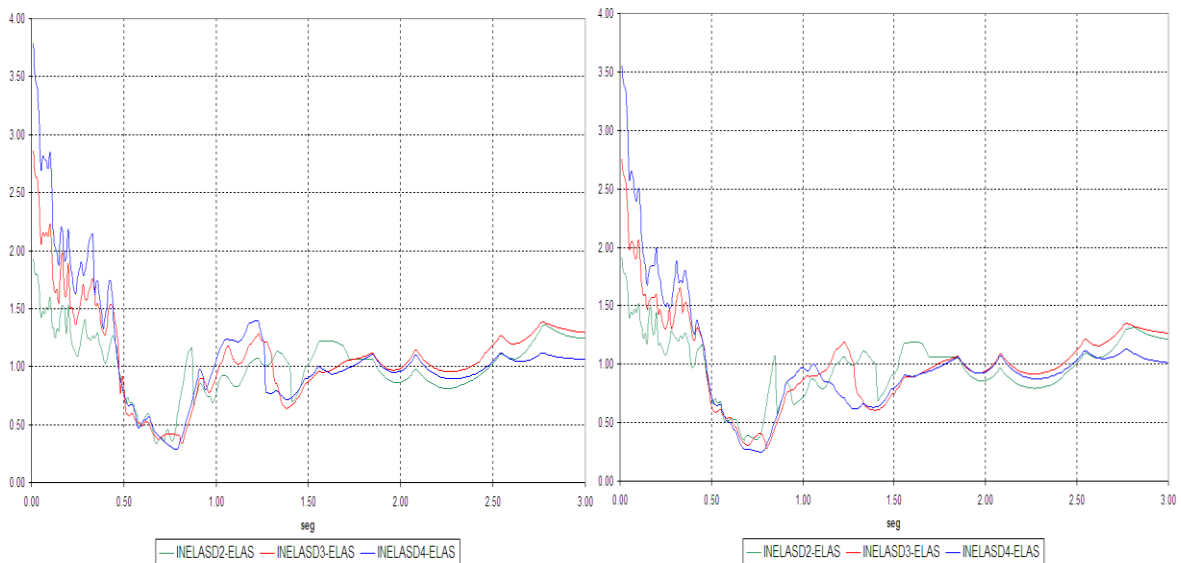


**Figura 5.9:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 32a).

En la Figura 5.10 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “FILANDIA (CFLAN)”, componente N-S (registro código 32b).

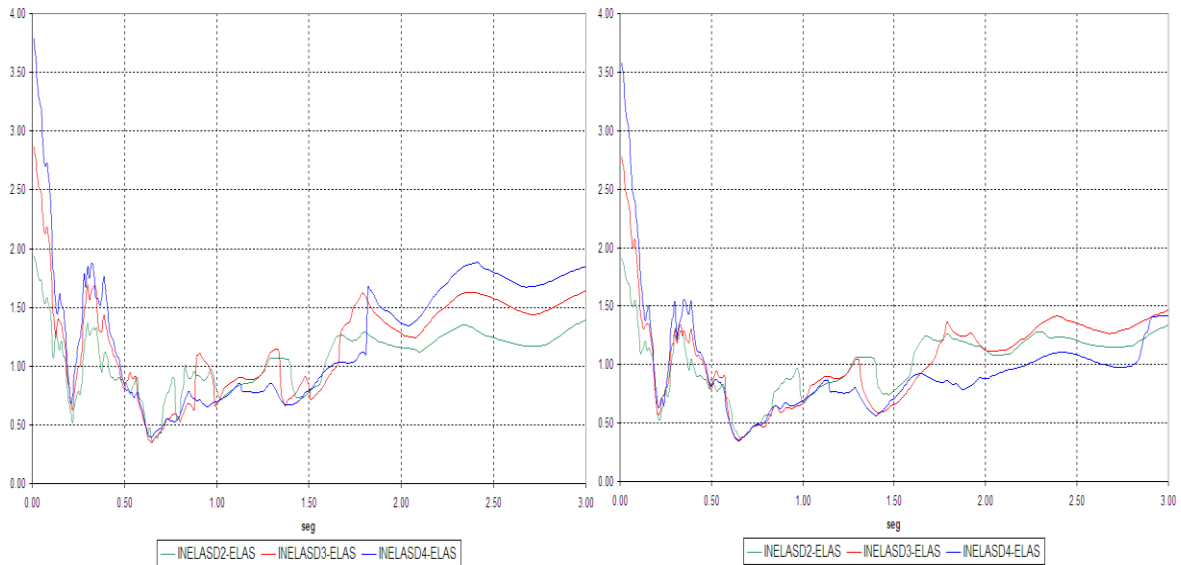


**Figura 5.10:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 32b).  
 En la Figura 5.11 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente E-W (registro código 33a).

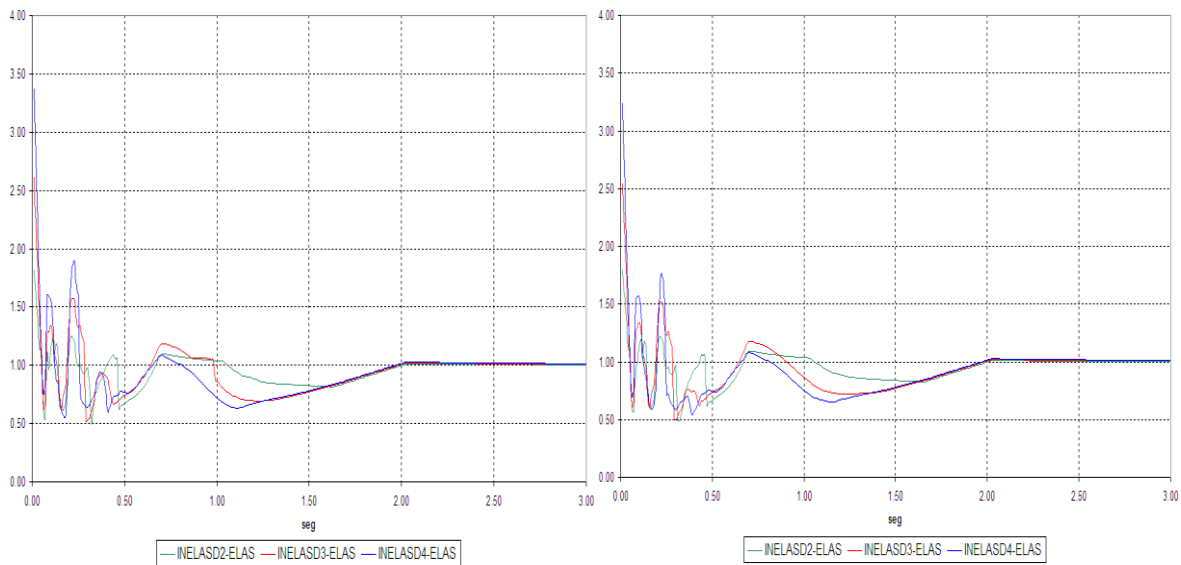


**Figura 5.11:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 33a).

En la Figura 5.12 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 25/01/1999, registrado en la Estación “PEREIRA (CPER)”, componente N-S (registro código 33b).

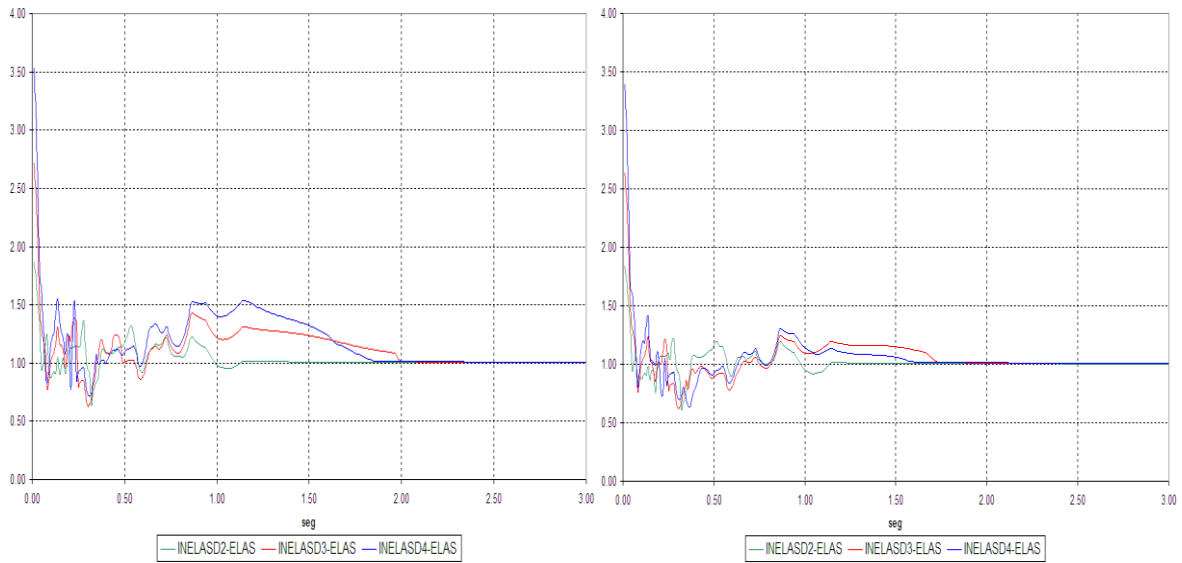


**Figura 5.12:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 33b).  
 En la Figura 5.13 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 17/07/1998, registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente E-W (registro código 34a).



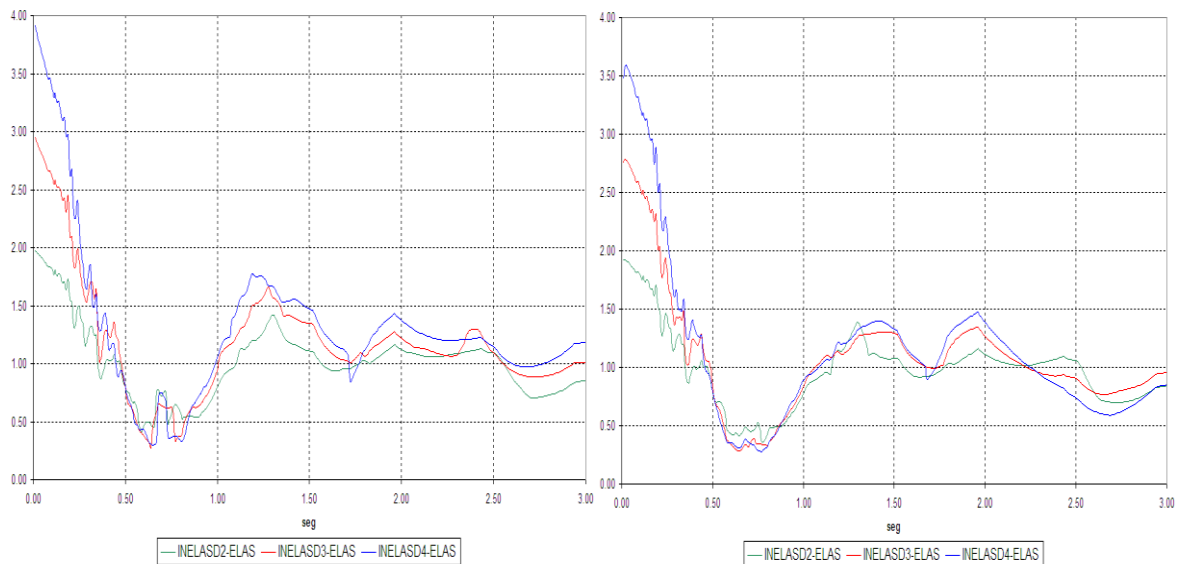
**Figura 5.13:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 34a).

En la Figura 5.14 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 17/07/1998, registrado en la Estación “RICAURTE (CRICA)”, componente N-S (registro código 34b).



**Figura 5.14:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 34b).  
 En la Figura 5.15 se muestra la relación entre los espectros de

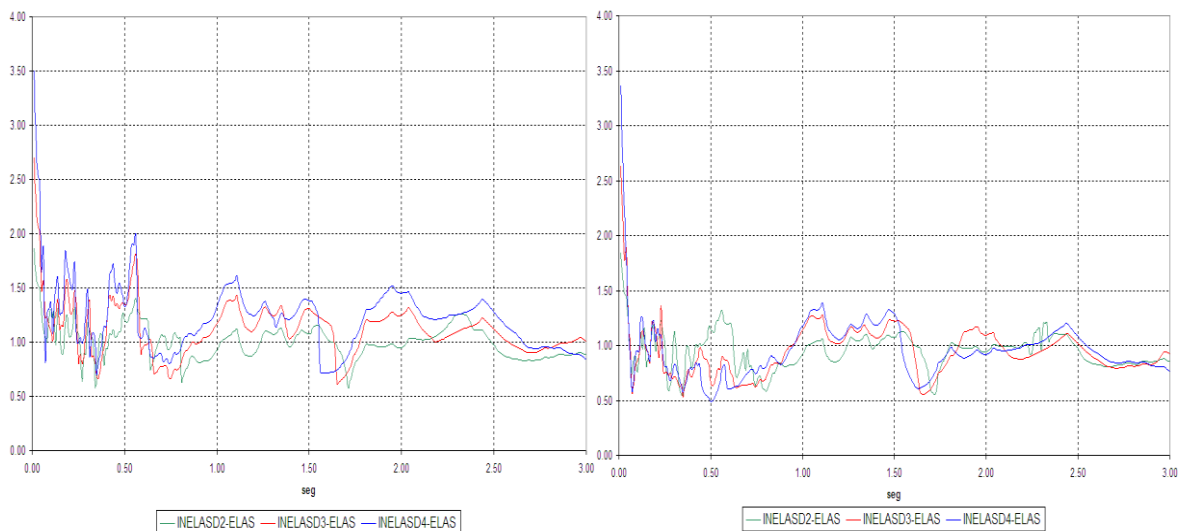
desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 19/02/1997, registrado en la Estación “PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)”, componente E-W (registro código 35).



**Figura 5.15:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 35).

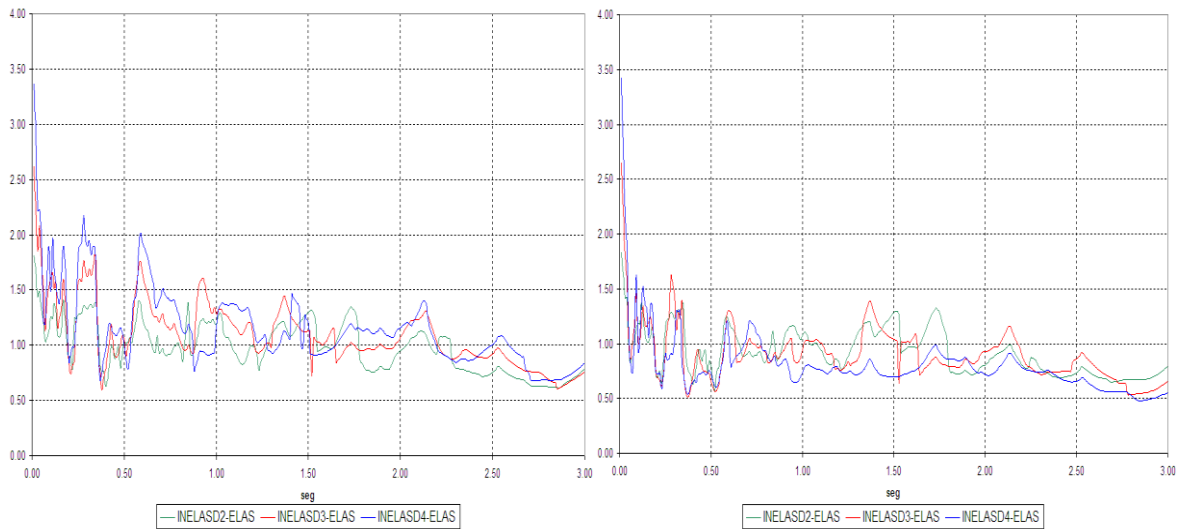
### 5.3 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE PERÚ.

En la Figura 5.16 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 13/06/2005, registrado en la Estación “CHARACATO”, componente E-W (registro código 01a).



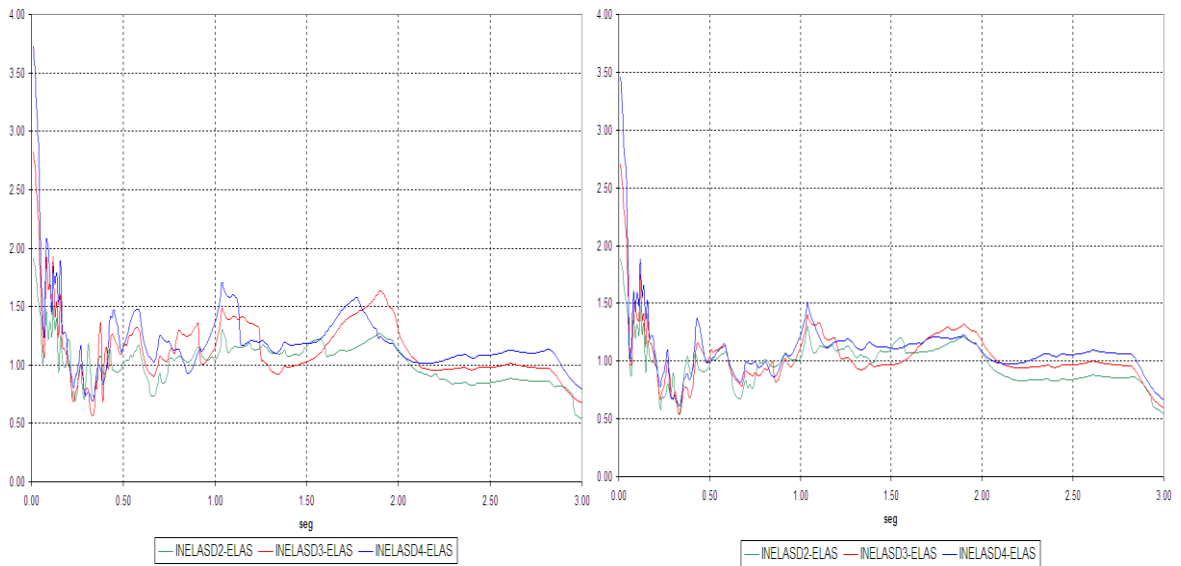
**Figura 5.16:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 01a).

En la Figura 5.17 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 13/06/2005, registrado en la Estación “CHARACATO”, componente N-S (registro código 01b).



**Figura 5.17:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 01b).  
 En la Figura 5.18 se muestra la relación entre los espectros de

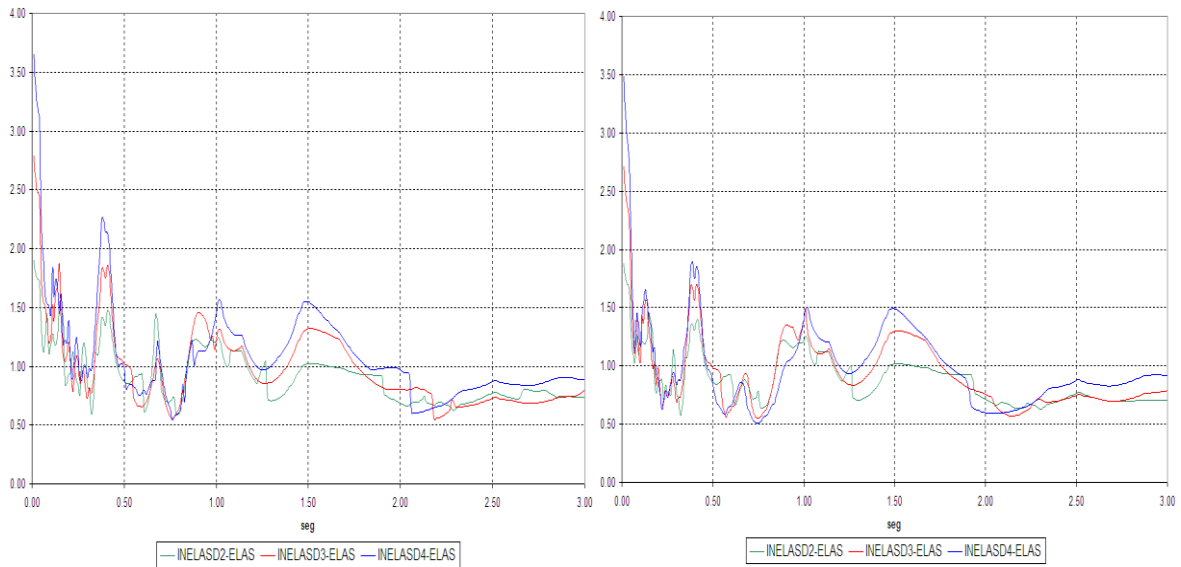
desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 13/06/2005, registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente E-W (registro código 02a).



**Figura 5.18:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 02a).

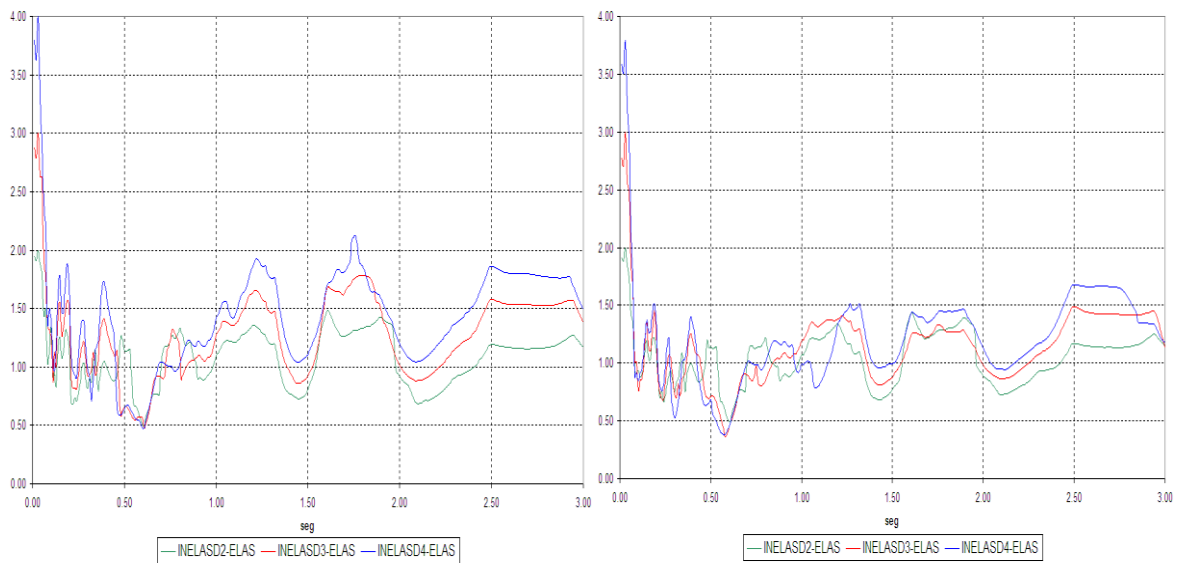
En la Figura 5.19 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 13/06/2005, registrado en la Estación “ALBERTO GIESECKE MATTO”, componente N-S (registro código 02b).





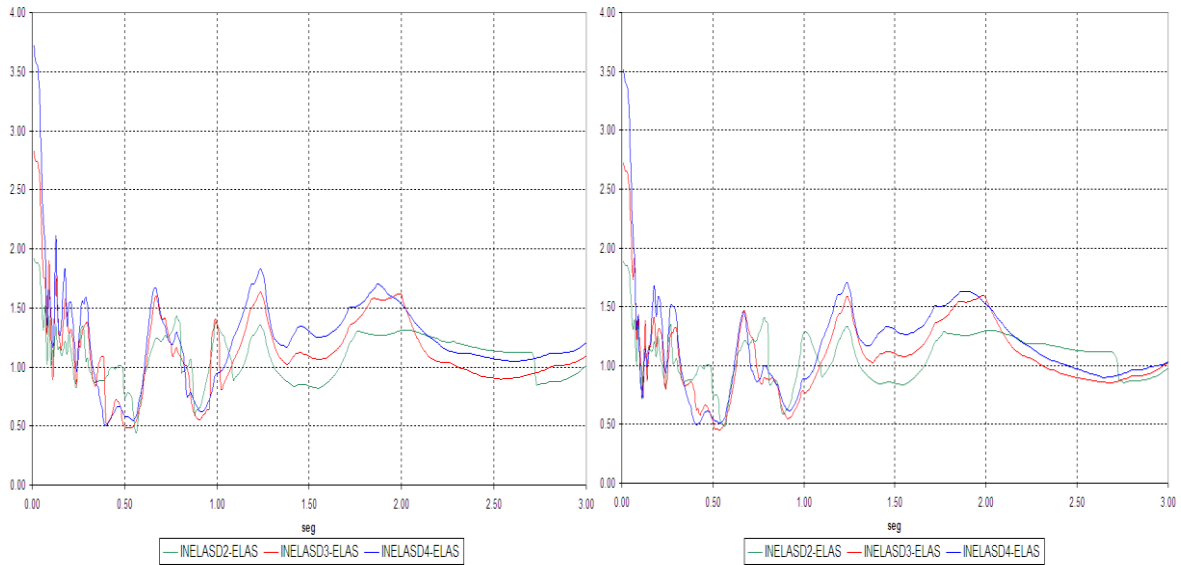
**Figura 5.19:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 02b).  
 En la Figura 5.20 se muestra la relación entre los espectros de

desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 17/10/1966, registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 03a).

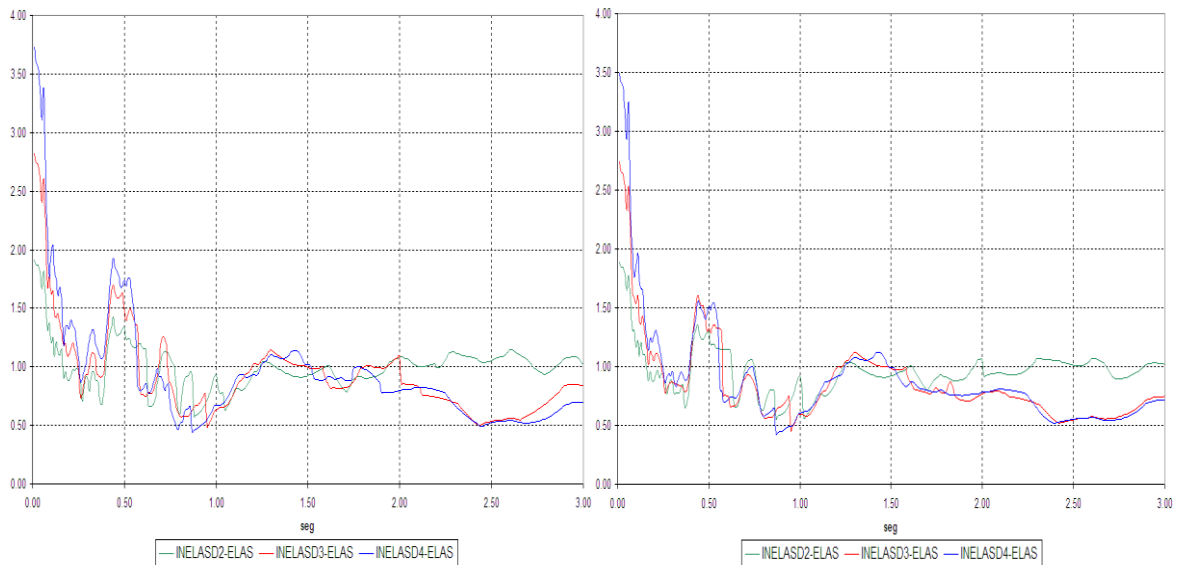


**Figura 5.20:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 03a).

En la Figura 5.21 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 17/10/1966, registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 03b).

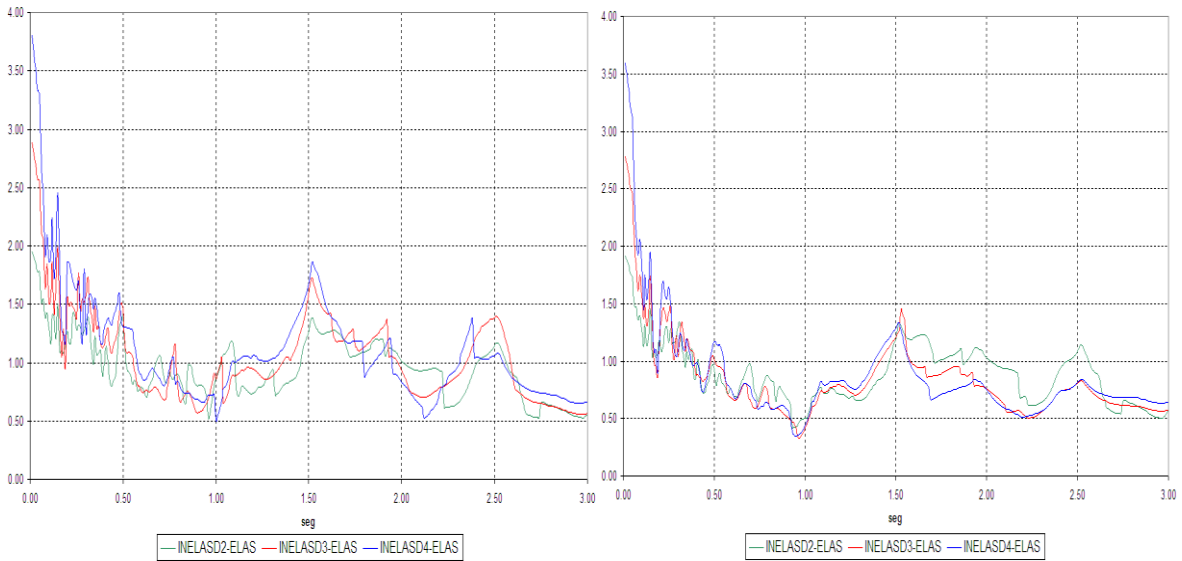


**Figura 5.21:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 03b).  
 En la Figura 5.22 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 09/11/1974, registrado en la Estación “LA MOLINA”, componente E-W (registro código 04).

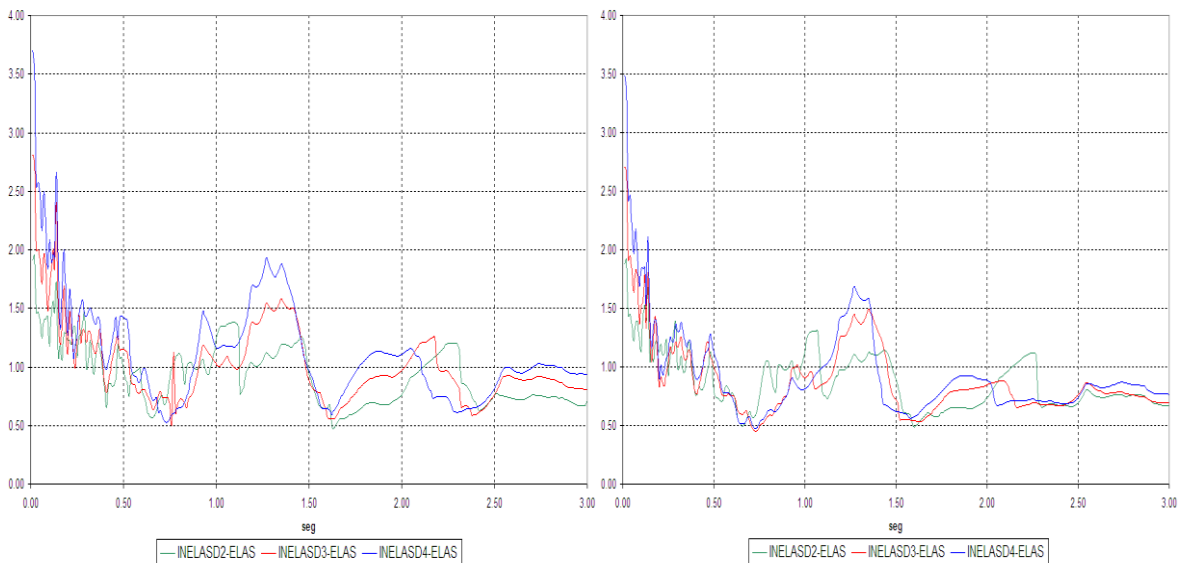


**Figura 5.22:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 04).

En la Figura 5.23 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/06/2001, registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente E-W (registro código 05a).

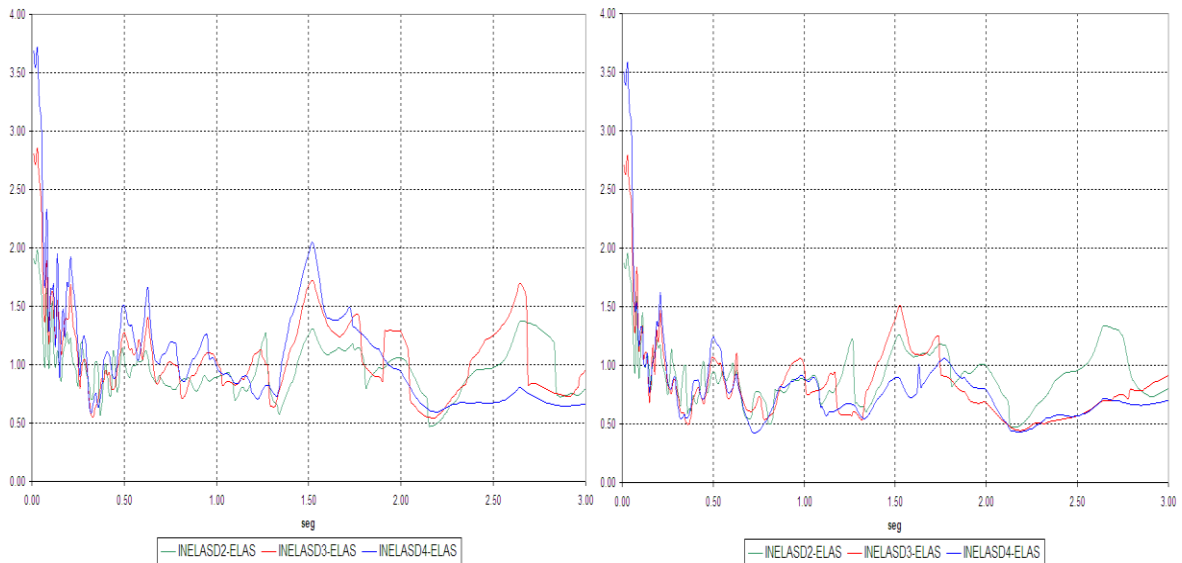


**Figura 5.23:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 05a).  
 En la Figura 5.24 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/06/2001, registrado en la Estación “CESAR VIZCARRA VARGAS”, componente N-S (registro código 05b).



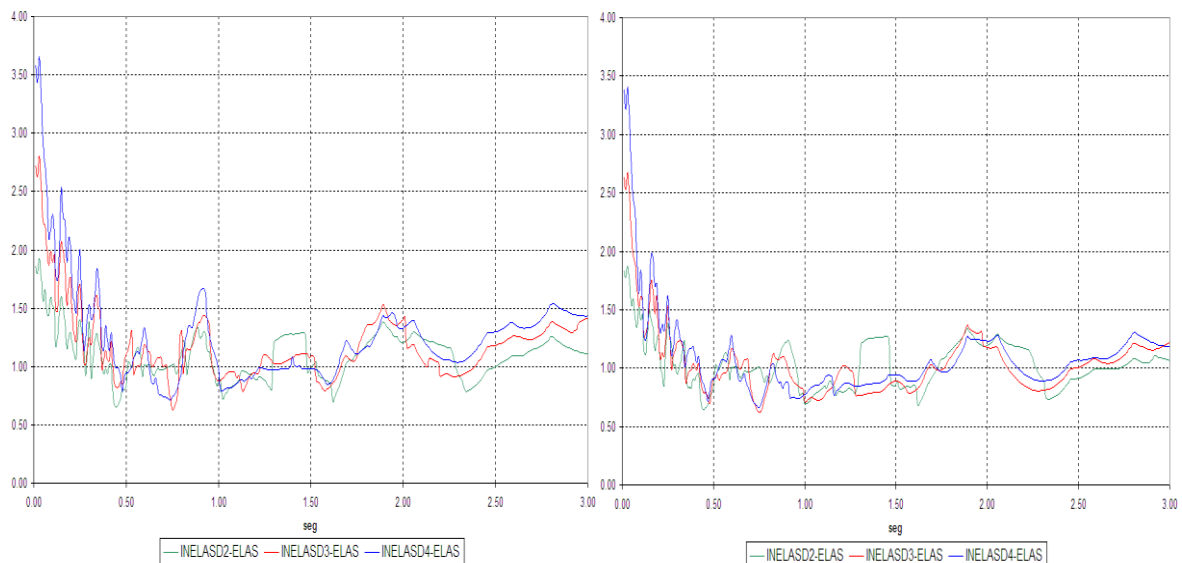
**Figura 5.24:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 05b).

En la Figura 5.25 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 31/05/1970, registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 06).



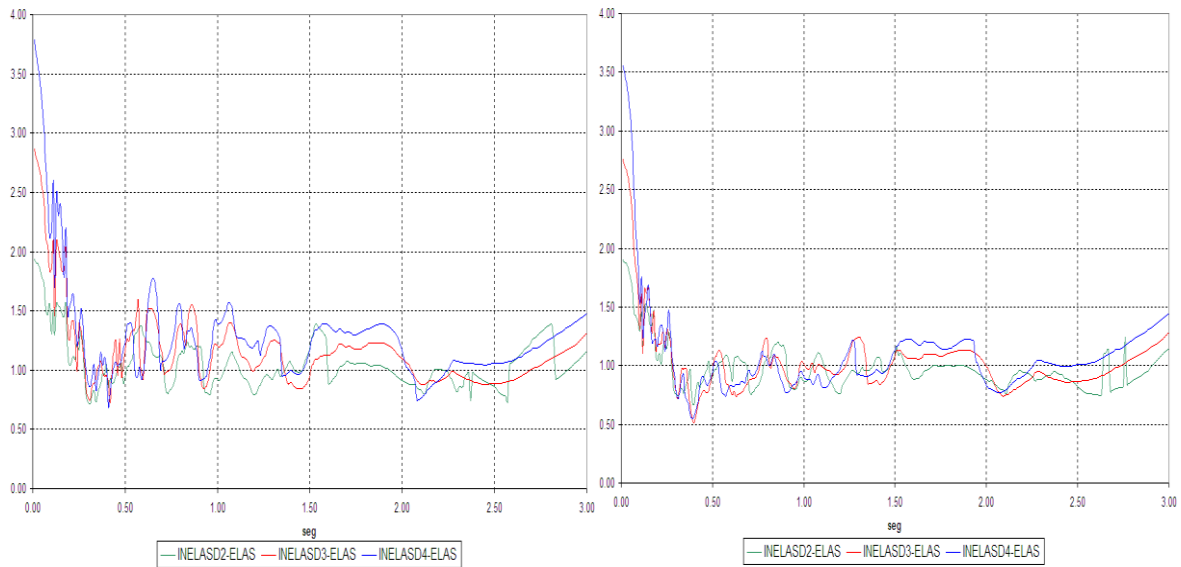
**Figura 5.25:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 06).

En la Figura 5.26 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/10/1974, registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente E-W (registro código 07a).

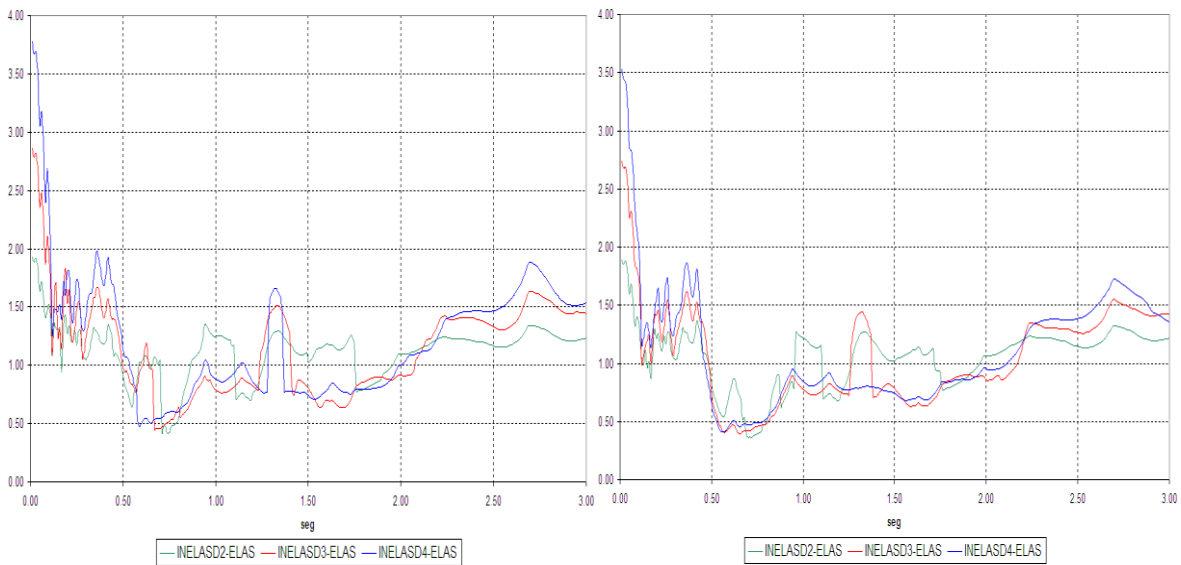


**Figura 5.26:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 07a).

En la Figura 5.27 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/10/1974, registrado en la Estación “PARQUE DE LA RESERVA”, componente N-S (registro código 07b).

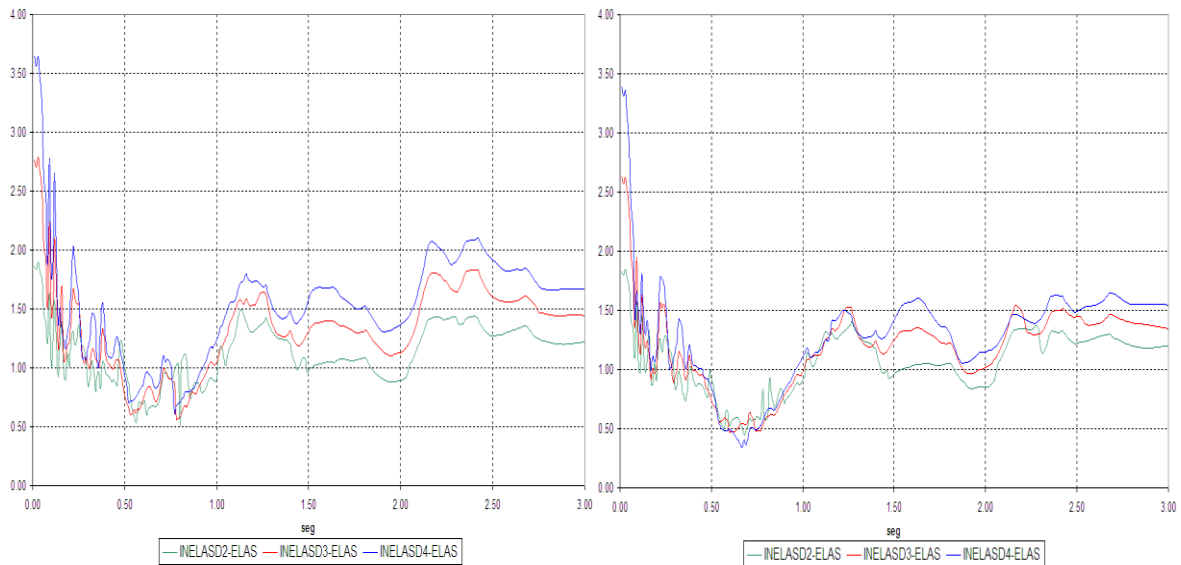


**Figura 5.27:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 07b).  
 En la Figura 5.28 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/10/1974, registrado en la Estación “SURCO”, componente E-W (registro código 08a).



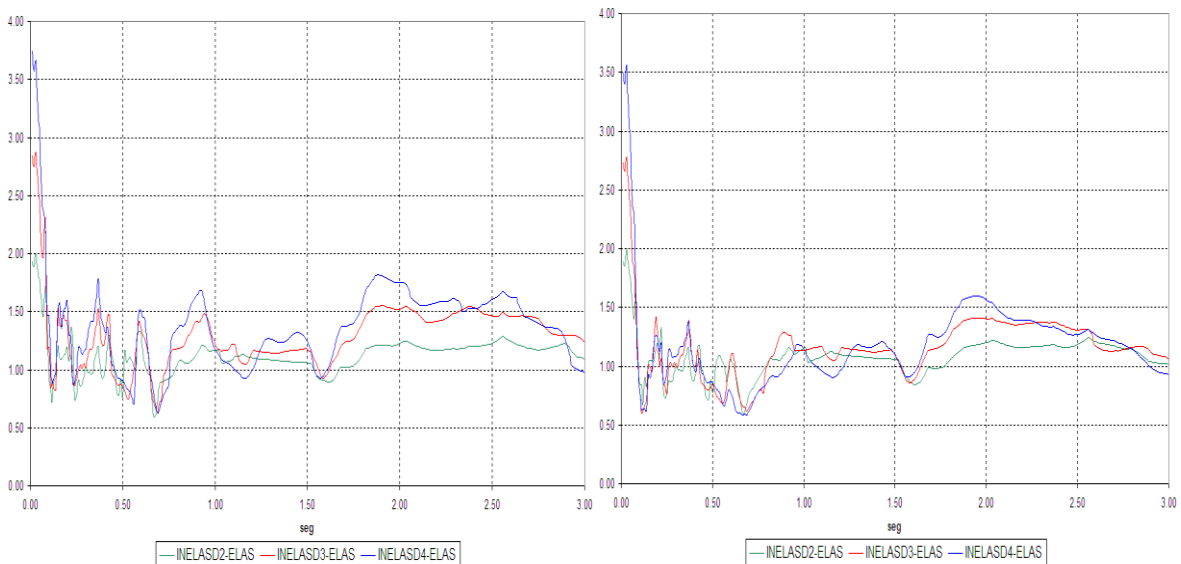
**Figura 5.28:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 08a).

En la Figura 5.29 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/10/1974, registrado en la Estación “SURCO”, componente N-S (registro código 08b).



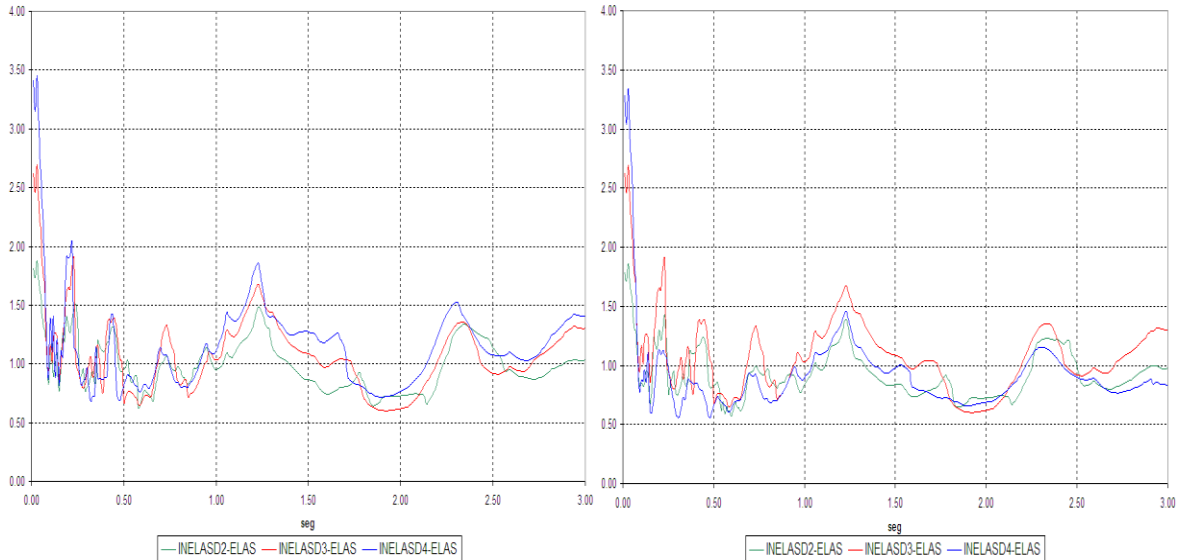
**Figura 5.29:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 08a).

En la Figura 5.30 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 05/01/1974, registrado en la Estación “ZARATE”, componente E-W (registro código 09a).



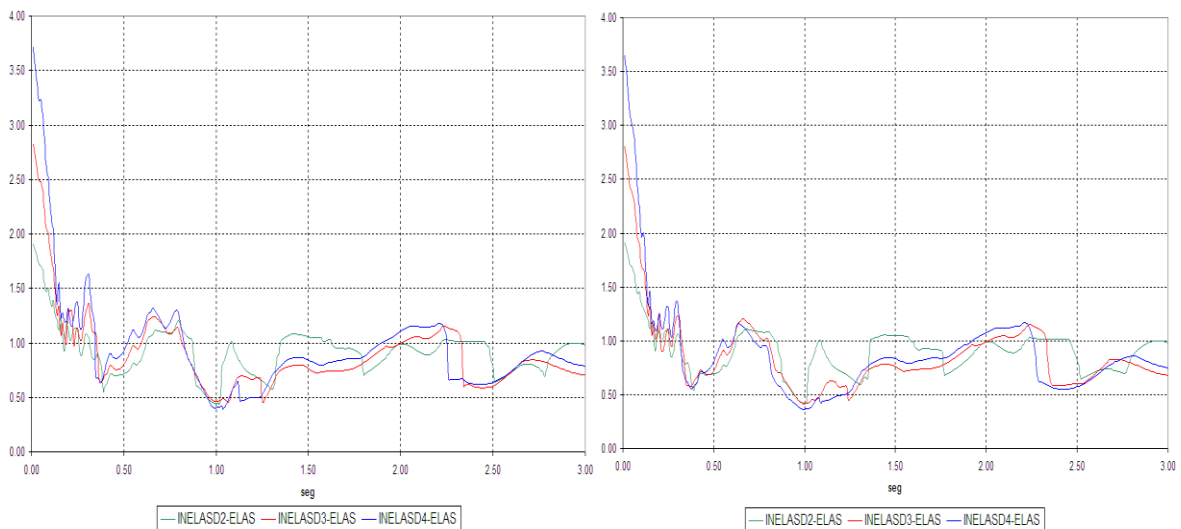
**Figura 5.30:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 09a).

En la Figura 5.31 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 05/01/1974, registrado en la Estación “ZARATE”, componente N-S (registro código 09b).



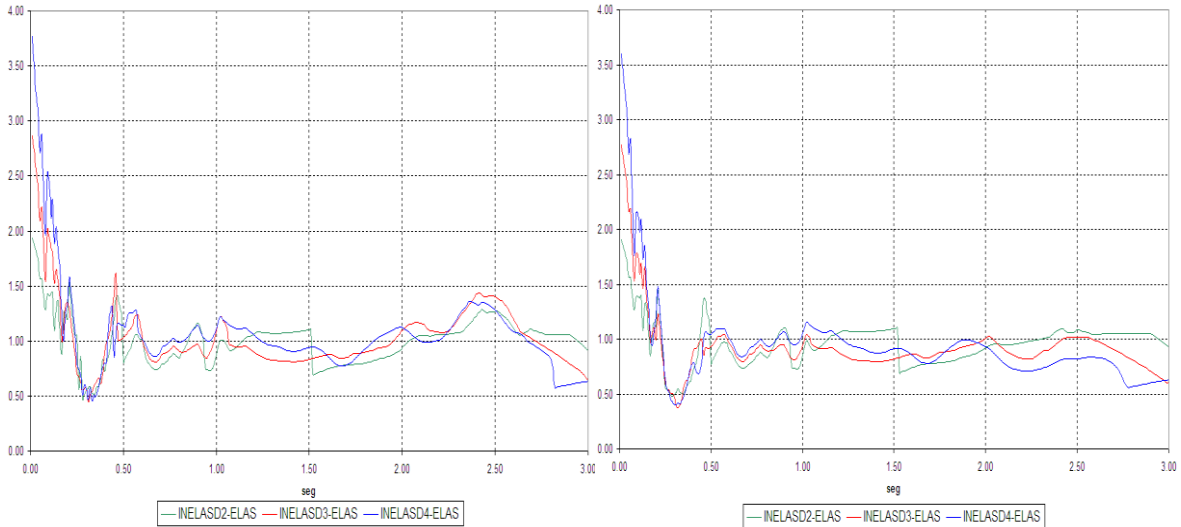
**Figura 5.31:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 09b).  
**5.4 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE CHILE.**

En la Figura 5.32 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 04/09/1985, registrado en la Estación “ILOCA”, componente N-S (registro código 10a).



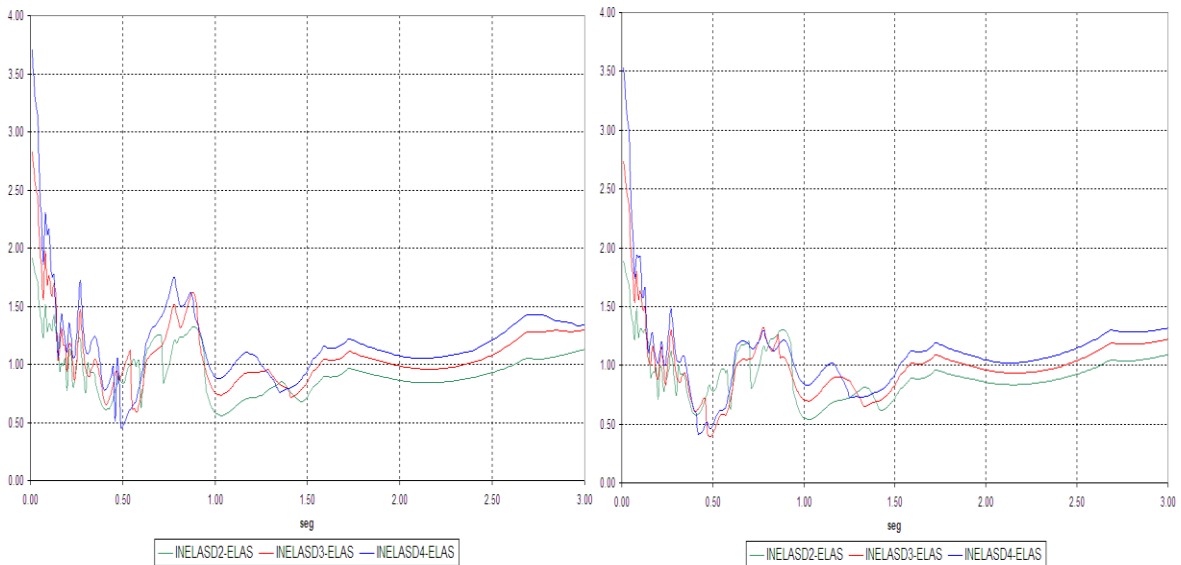
**Figura 5.32:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 10a).

En la Figura 5.33 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 04/09/1985, registrado en la Estación “ILOCA”, componente E-W (registro código 10b).



**Figura 5.33:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 10b).

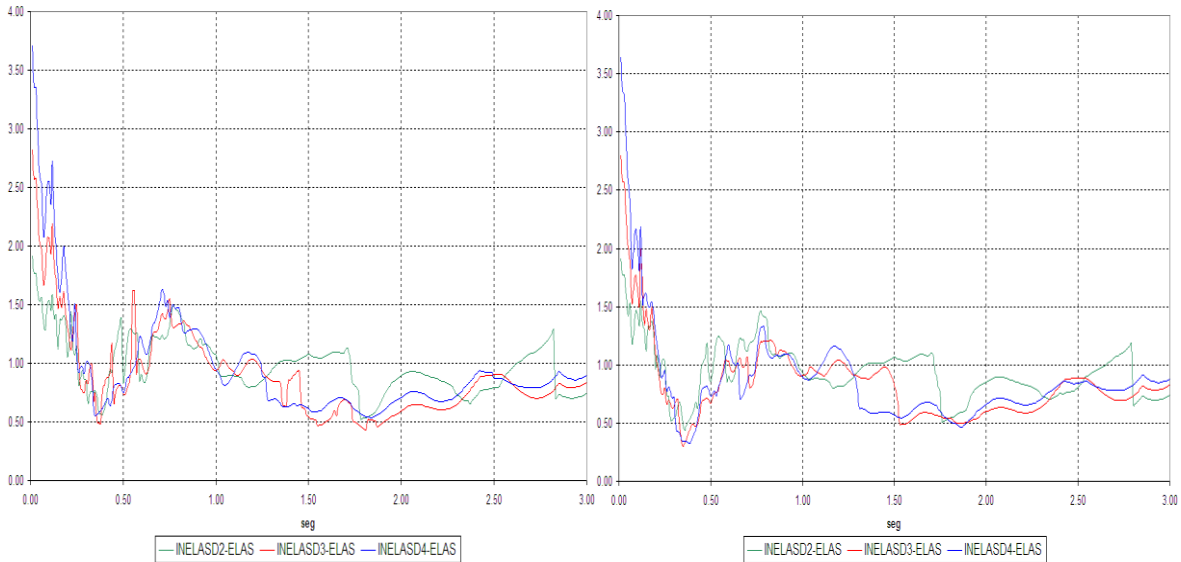
En la Figura 5.34 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 04/09/1985, registrado en la Estación “RAPEL”, componente E-W (registro código 11).



**Figura 5.34:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 11).

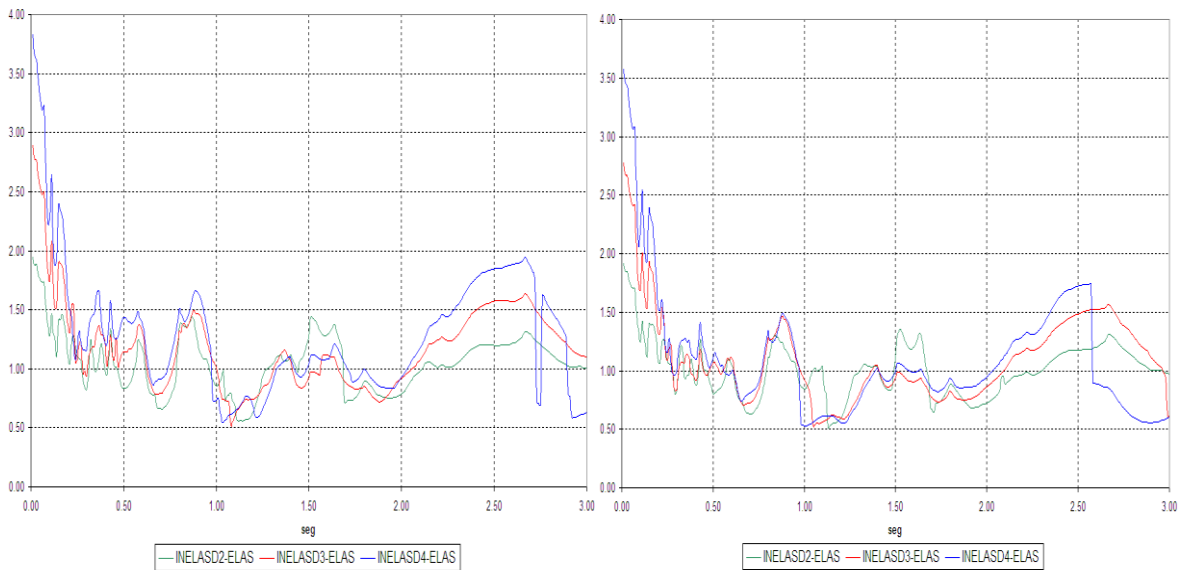


En la Figura 5.35 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “PAPUDO”, componente 140° (registro código 12).



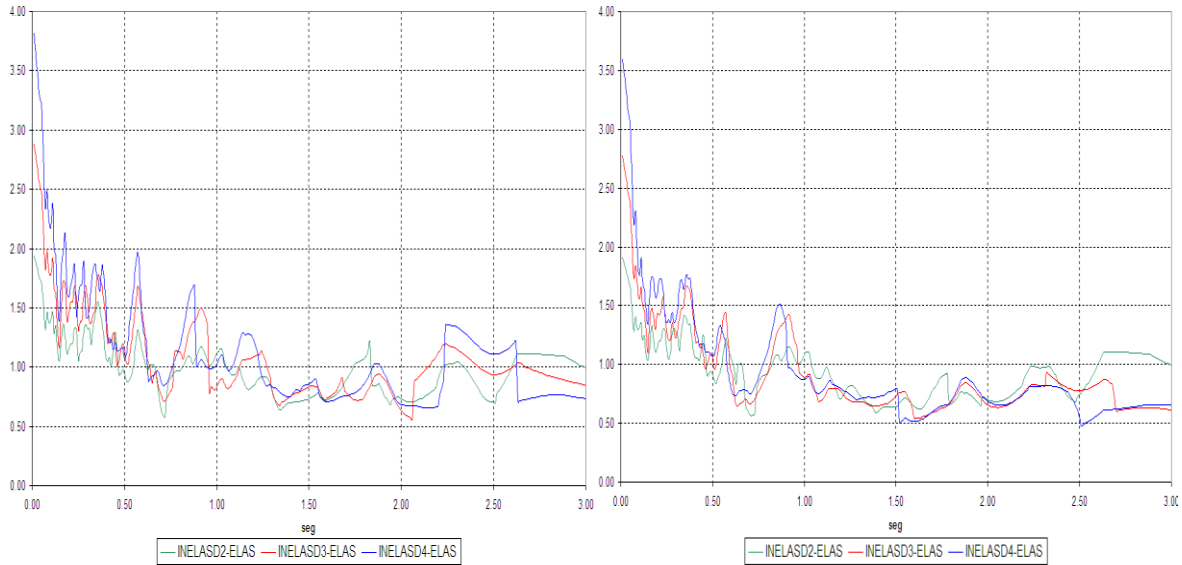
**Figura 5.35:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 12).

En la Figura 5.36 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 280° (registro código 13a).



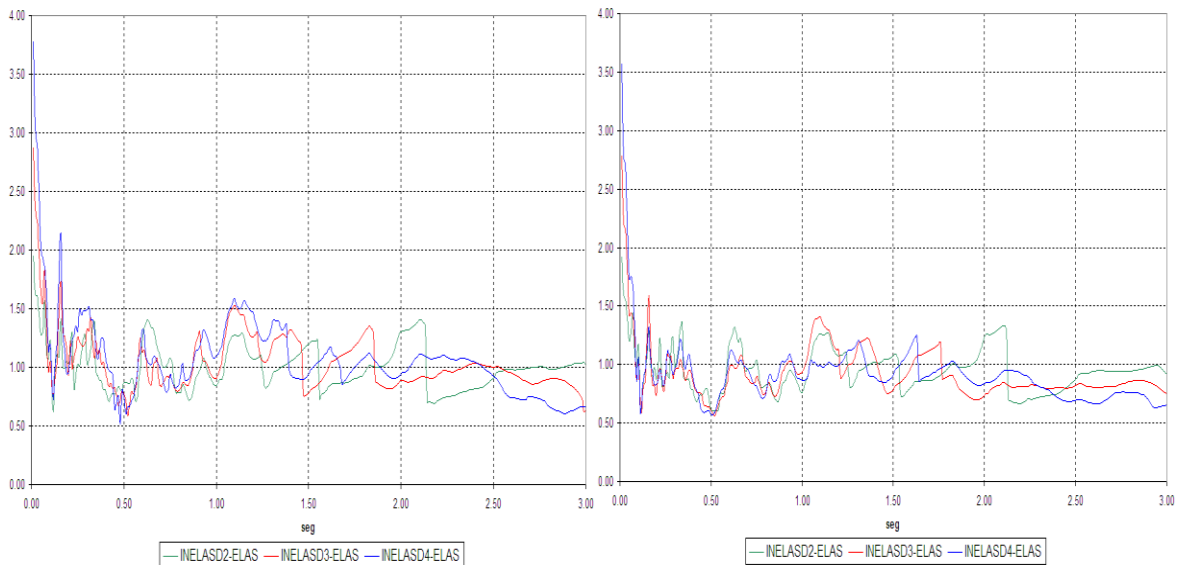
**Figura 5.36:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 13a).

En la Figura 5.37 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “LLAYLLAY”, componente 190° (registro código 13b).



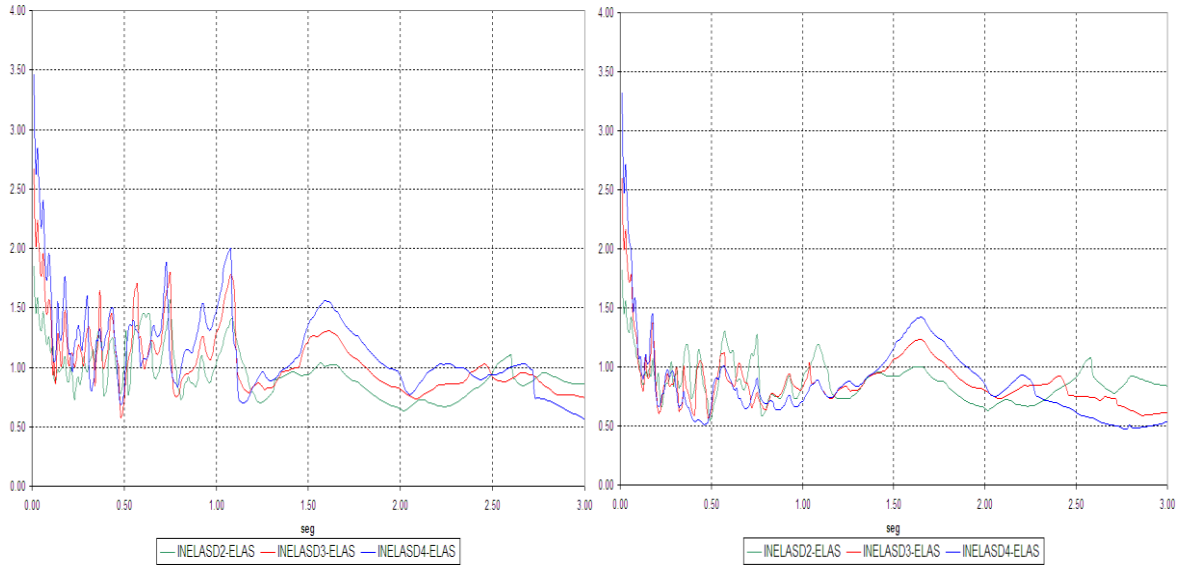
**Figura 5.37:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 13b).

En la Figura 5.38 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN FELIPE”, componente 170° (registro código 14a).



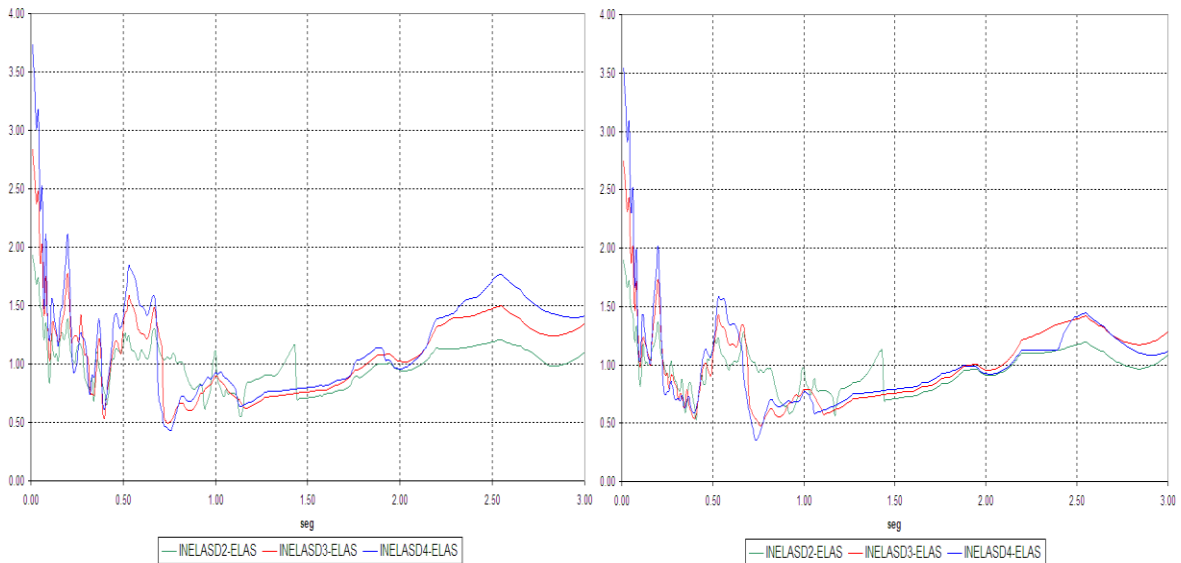
**Figura 5.38:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 14a).

En la Figura 5.39 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN FELIPE”, componente 80° (registro código 14b).



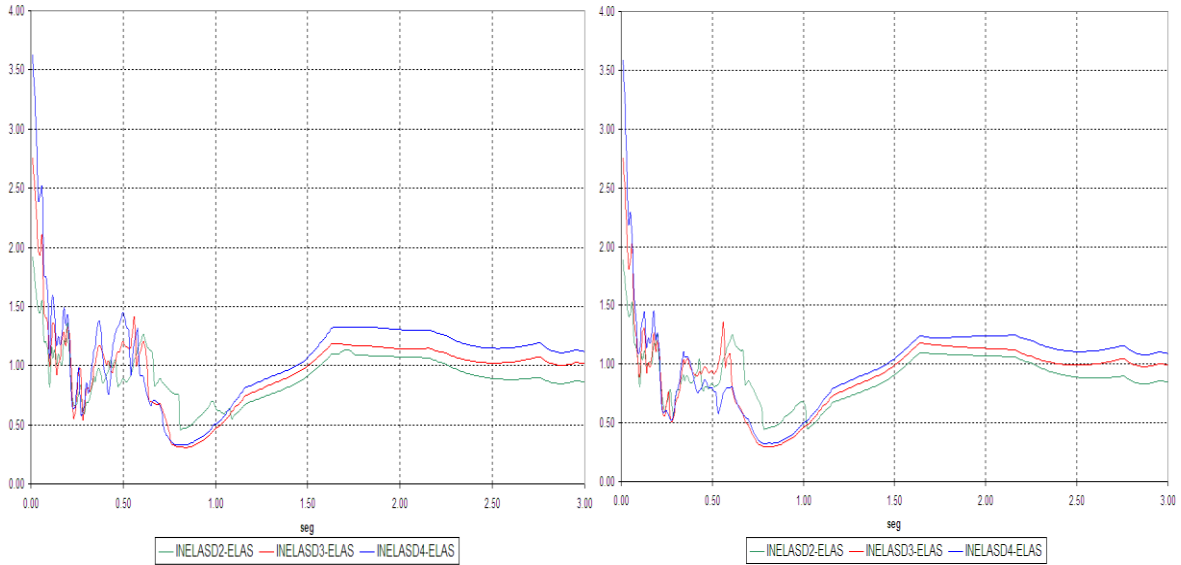
**Figura 5.39:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 14b).

En la Figura 5.40 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 08/04/1985, registrado en la Estación “LLOLLEO”, componente 100° (registro código 15a).



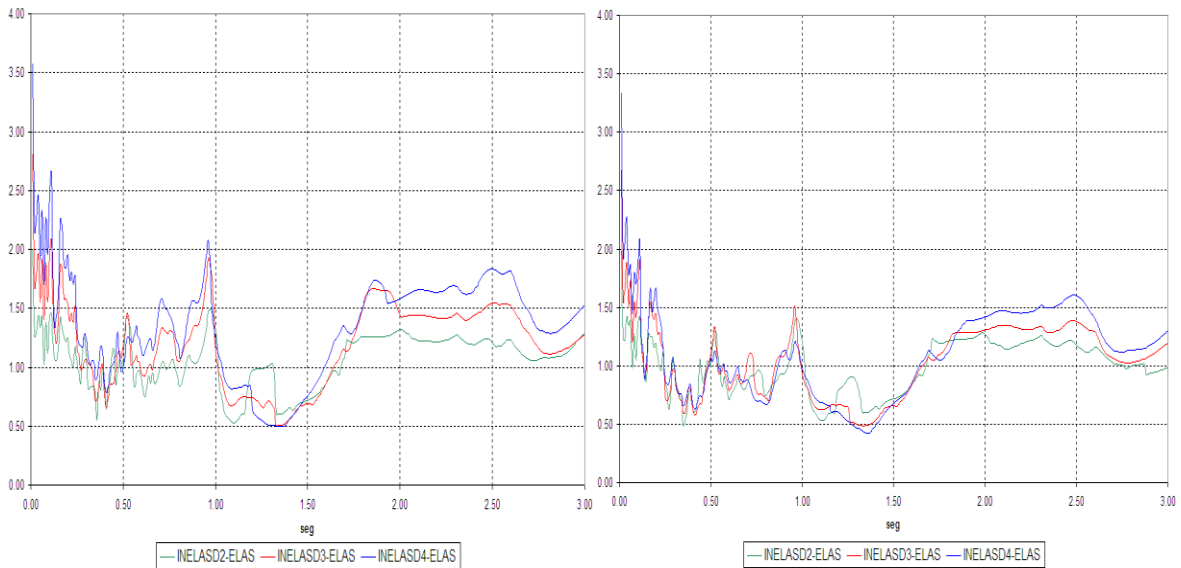
**Figura 5.40:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 15a).

En la Figura 5.41 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 08/04/1985, registrado en la Estación “LLOLLEO”, componente 10° (registro código 15a).



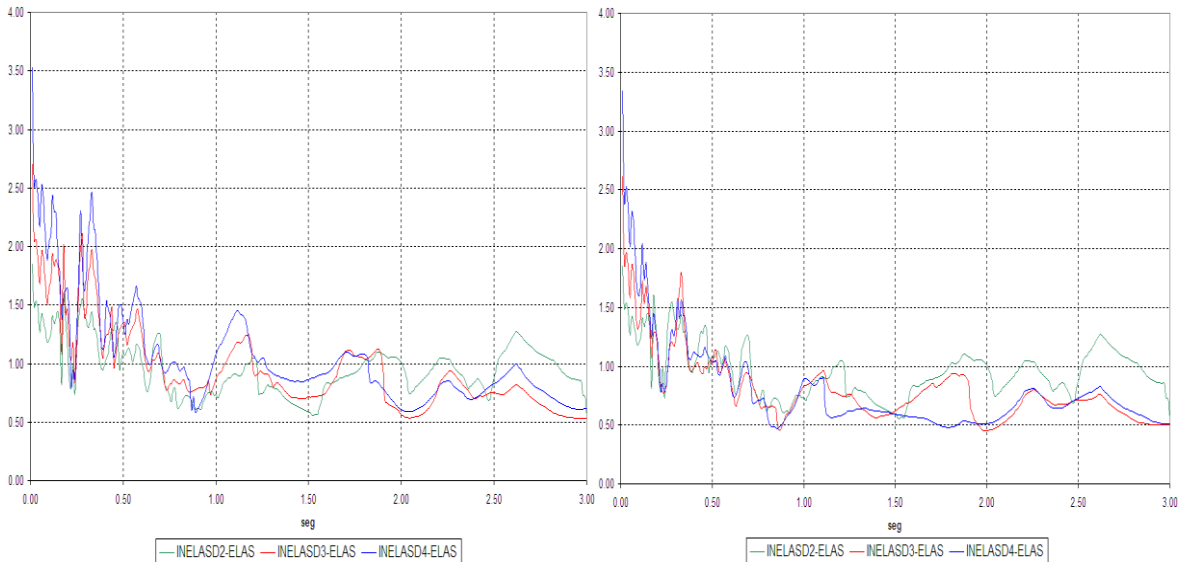
**Figura 5.41:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 15b).

En la Figura 5.42 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “LLOLLEO (U. OF CHILE)”, componente 100° (registro código 16a).



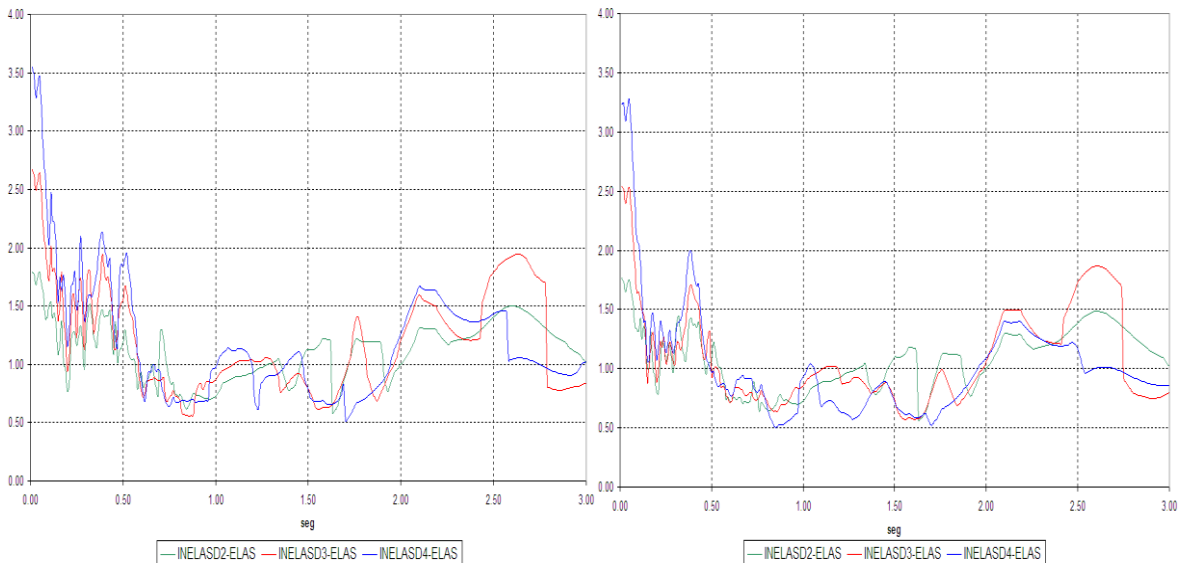
**Figura 5.42:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 16a).

En la Figura 5.43 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “LLOLLEO (U. OF CHILE)”, componente 10° (registro código 16b).



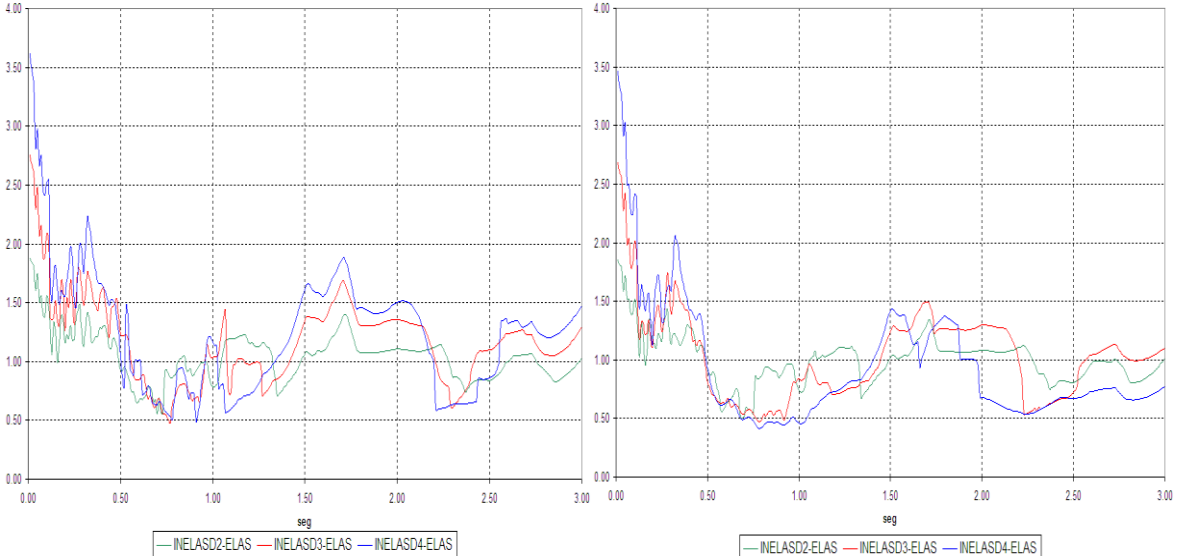
**Figura 5.43:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 16b).

En la Figura 5.44 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (U. OF CHILE)”, componente 290° (registro código 17a).



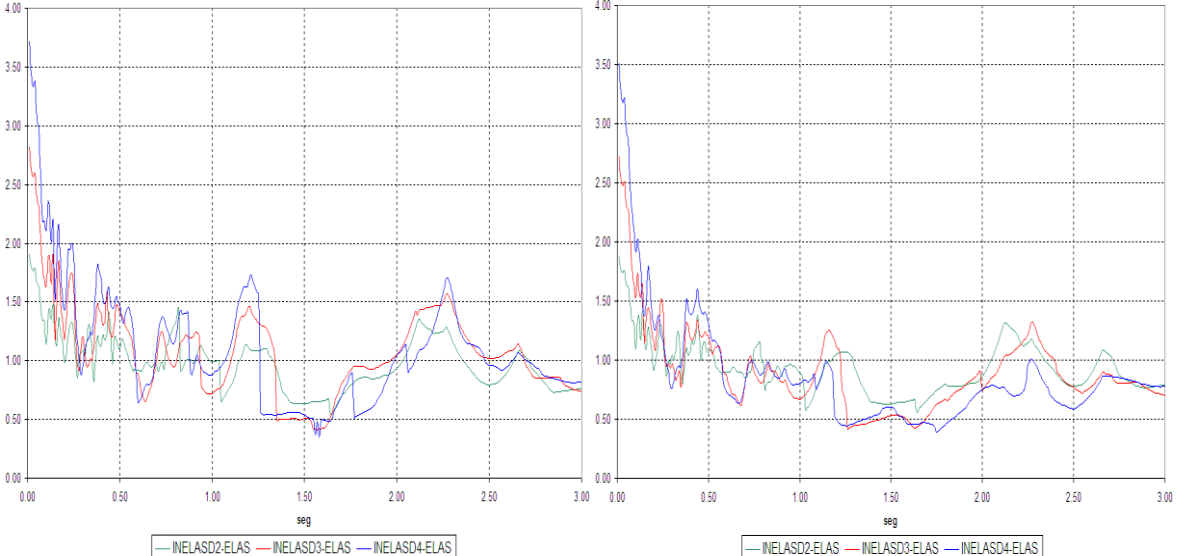
**Figura 5.44:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 17a).

En la Figura 5.45 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “VIÑA DEL MAR (U. OF CHILE)”, componente 200° (registro código 17b).



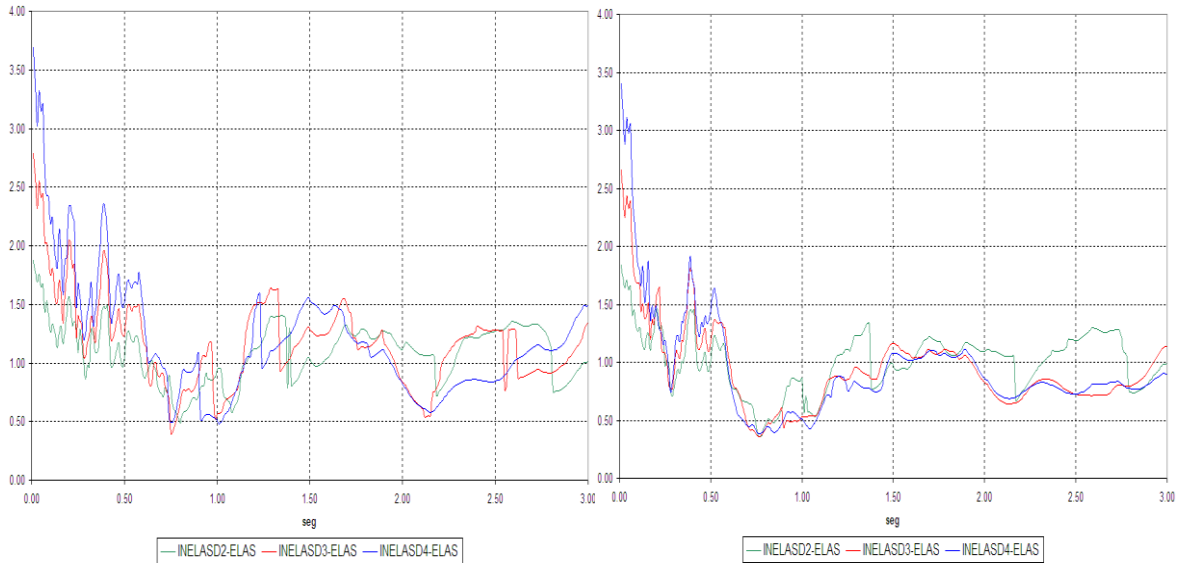
**Figura 5.45:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 17b).  
En la Figura 5.46 se muestra la relación entre los espectros de

desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “VALPARAISO EL ALMENDRAL”, componente 50° (registro código 18a).



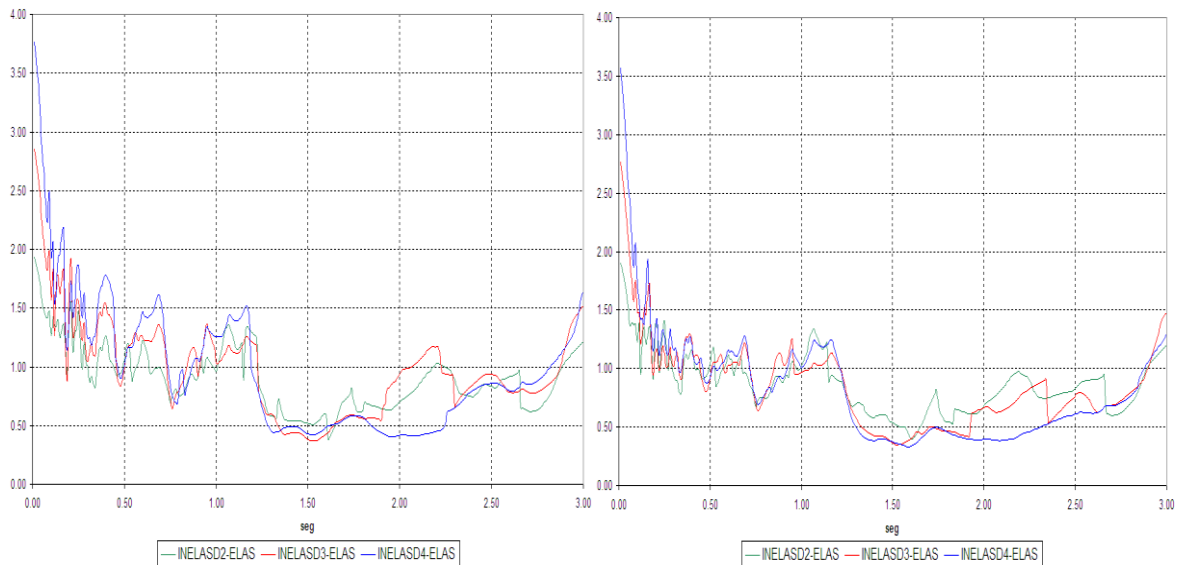
**Figura 5.46:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 18a).

En la Figura 5.47 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "VALPARAISO EL ALMENDRAL", componente 140°(registro código 18b).



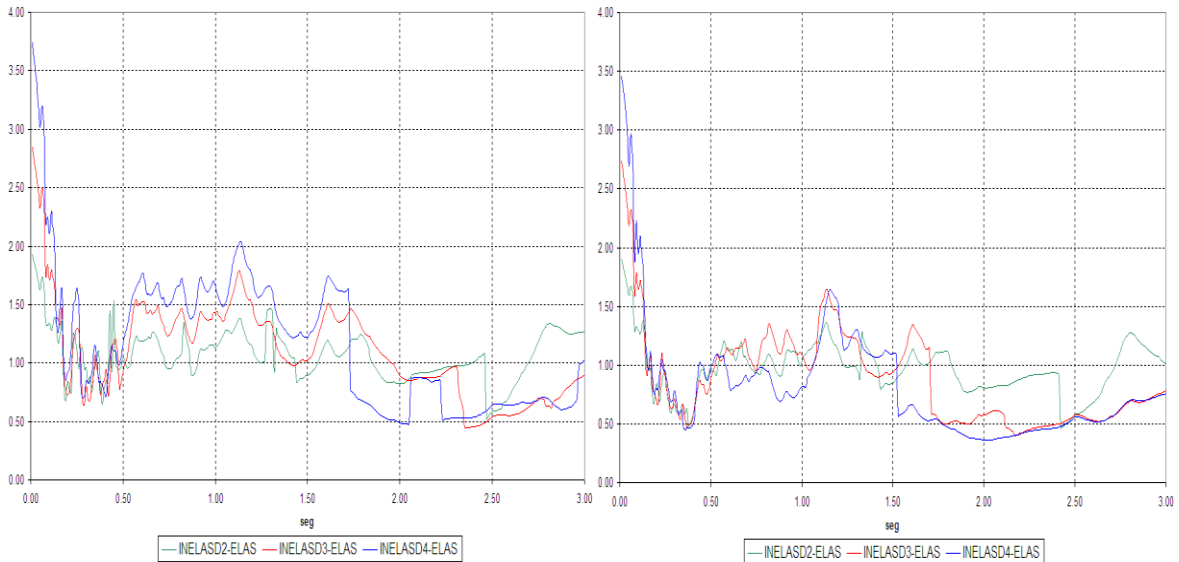
**Figura 5.47:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 18b).

En la Figura 5.48 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "COLOBUN", componente LONG. (registro código 19).



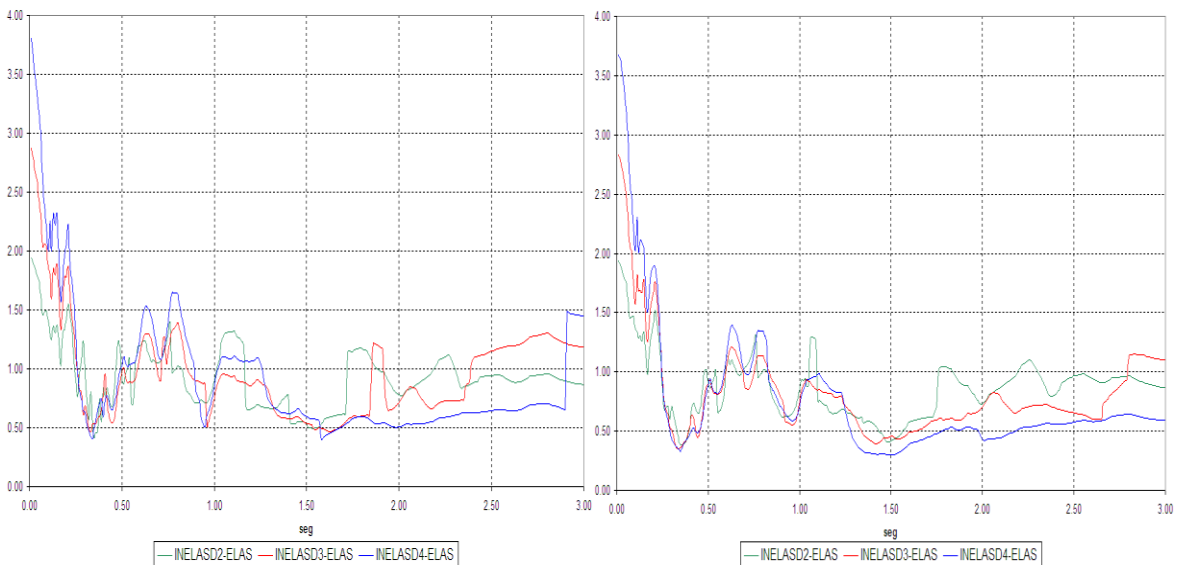
**Figura 5.48:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 19).

En la Figura 5.49 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "ILOCA", componente E-W. (registro código 20a).



**Figura 5.49:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 20a).

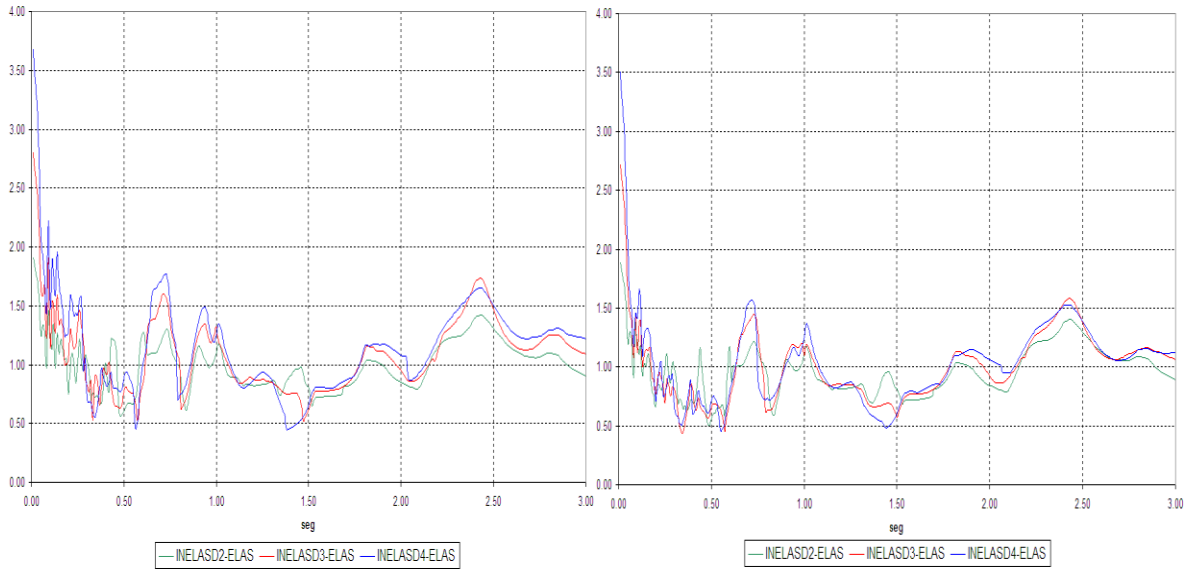
En la Figura 5.50 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "ILOCA", componente N-S. (registro código 20b).



**Figura 5.50:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 20b).

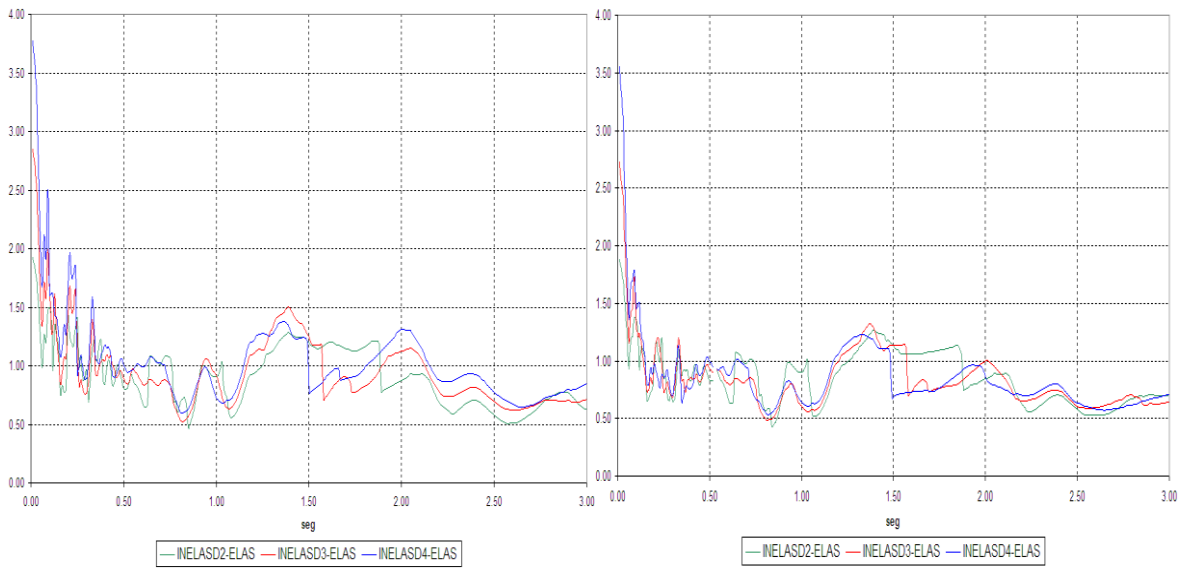


En la Figura 5.51 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “MELIPILLA”, componente E-W. (registro código 21a).



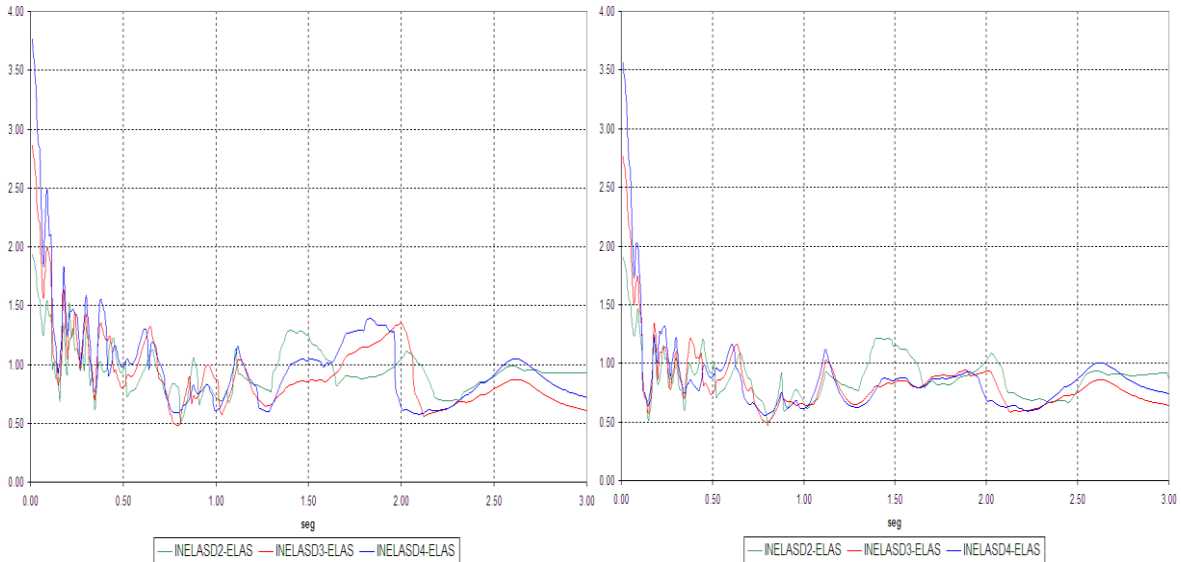
**Figura 5.51:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 21a).

En la Figura 5.52 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “MELIPILLA”, componente N-S. (registro código 21b).



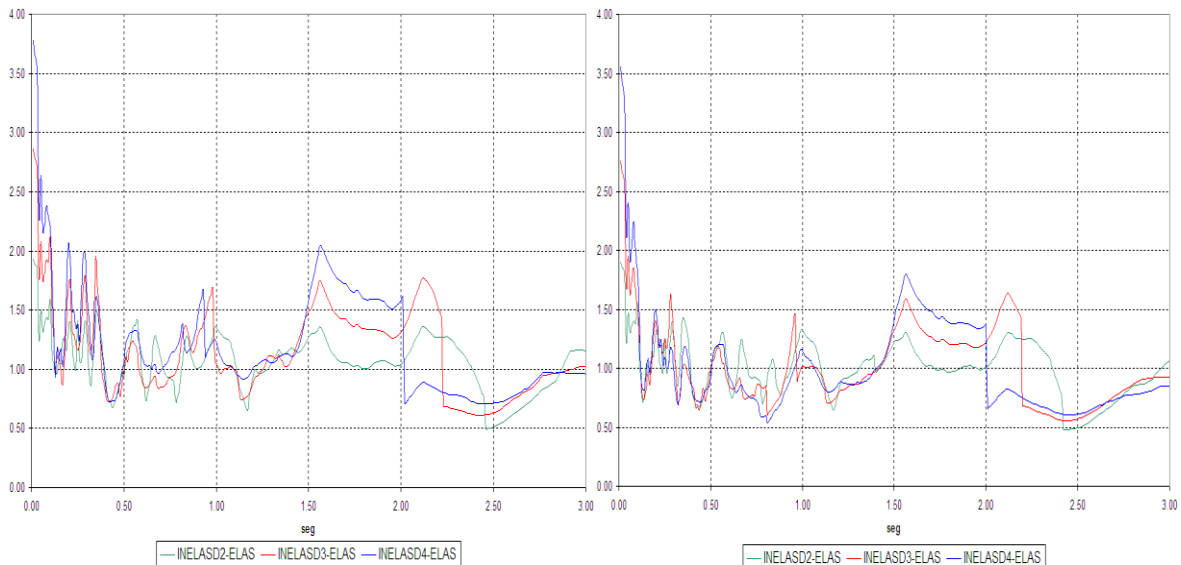
**Figura 5.52:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 21b).

En la Figura 5.53 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "PICHILEMU", componente E-W. (registro código 22a).



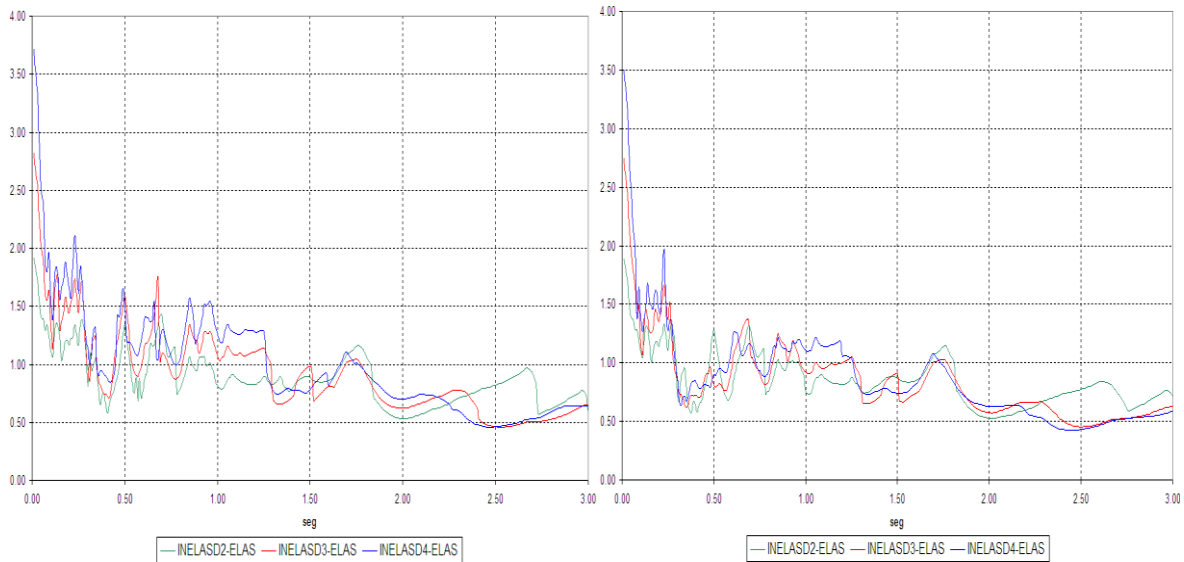
**Figura 5.53:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 22a).

En la Figura 5.54 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación "PICHILEMU", componente N-S. (registro código 22b).



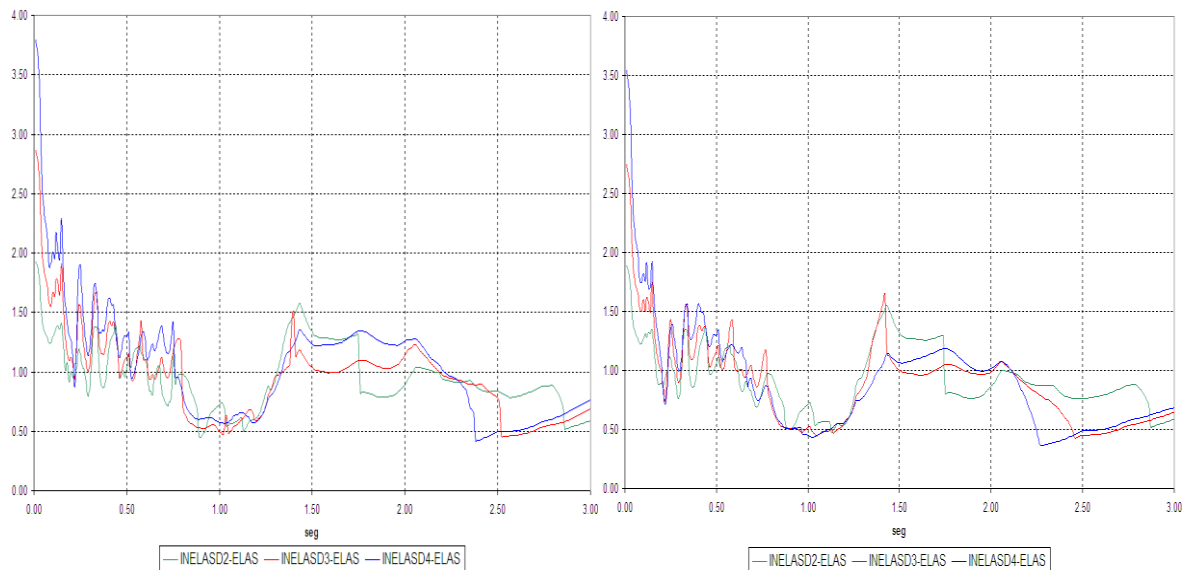
**Figura 5.54:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 22b).

En la Figura 5.55 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN FERNANDO”, componente E-W. (registro código 23a).



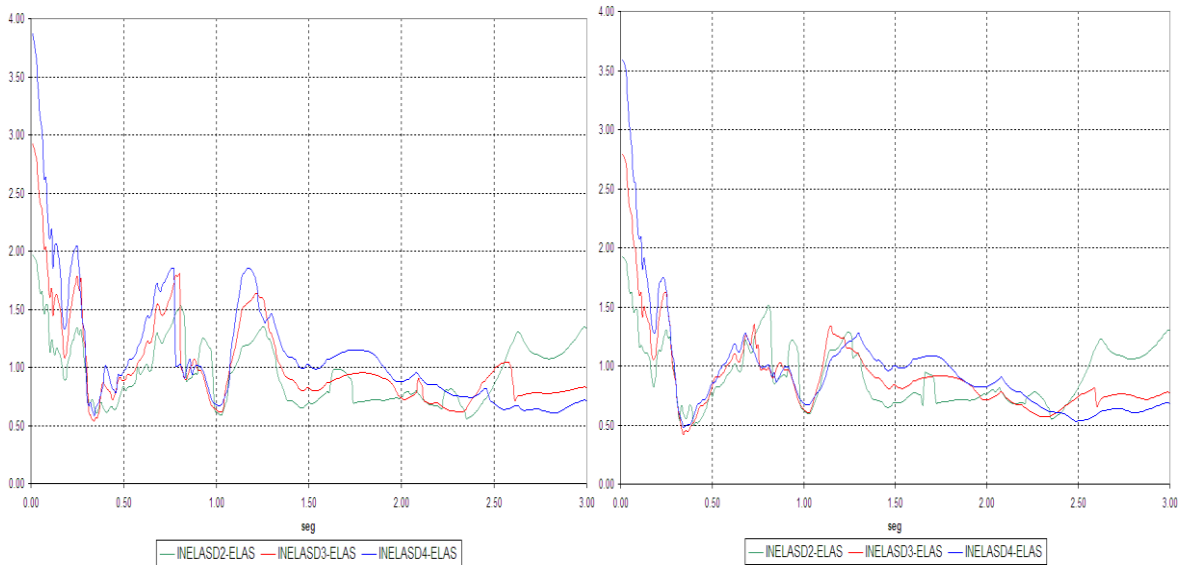
**Figura 5.55:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 23a).

En la Figura 5.56 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN FERNANDO”, componente N-S. (registro código 23b).



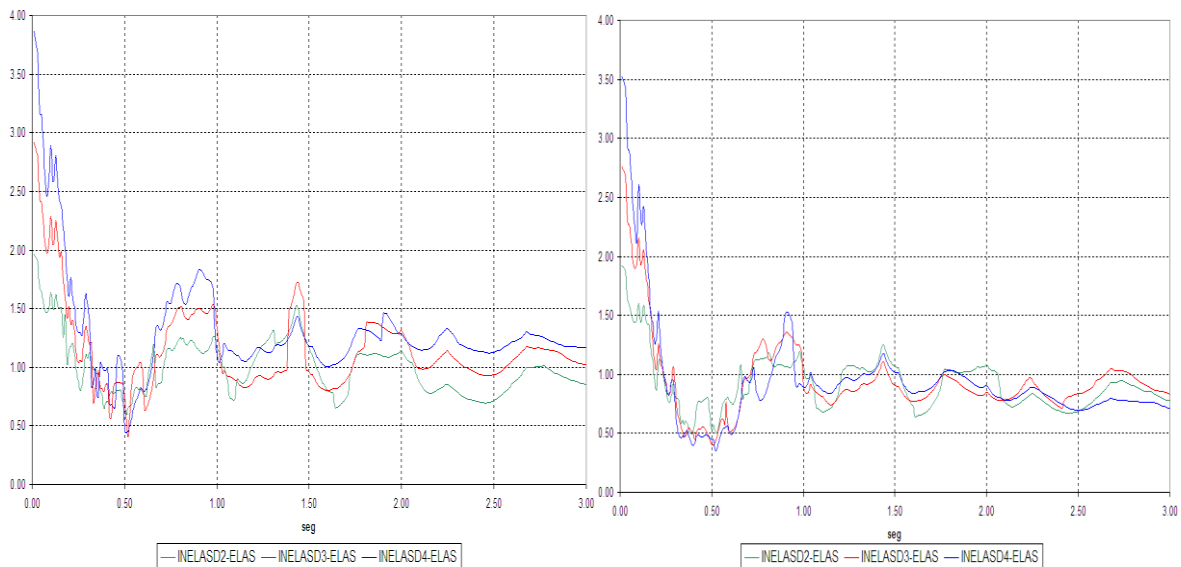
**Figura 5.56:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 23b).

En la Figura 5.57 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente LONG. (registro código 24a).



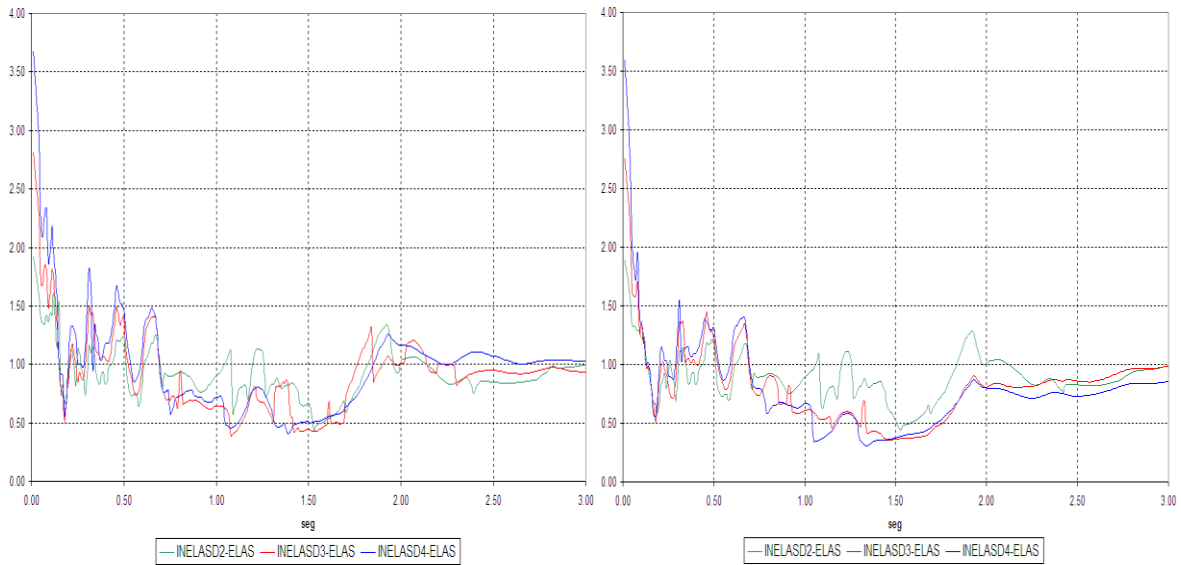
**Figura 5.57:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 24a).

En la Figura 5.58 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “SAN ISIDRO”, componente TRANS. (registro código 24b).



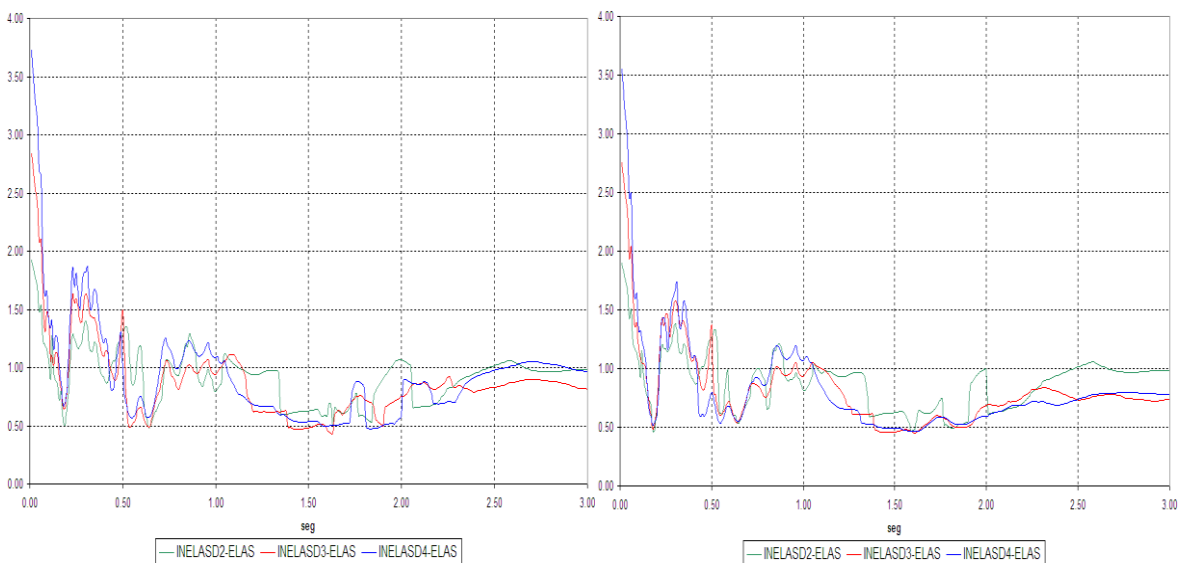
**Figura 5.58:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 24b).

En la Figura 5.59 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “ZAPALLAR”, componente E-W. (registro código 25a).



**Figura 5.59:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 25a).

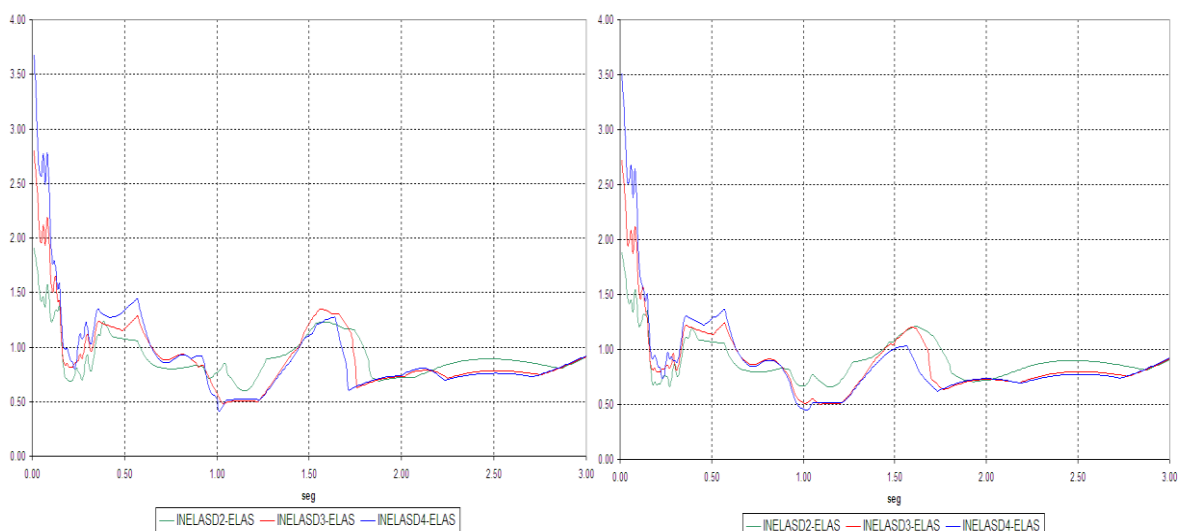
En la Figura 5.60 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 03/03/1985, registrado en la Estación “ZAPALLAR”, componente N-S. (registro código 25b).



**Figura 5.60:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 25b).

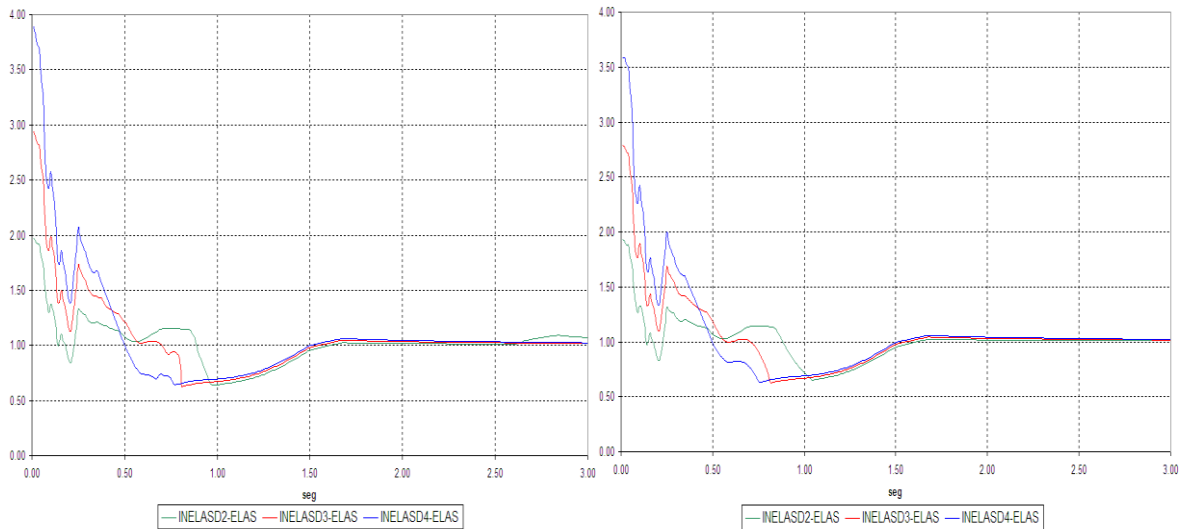
## 5.5 RELACIÓN PARA REGISTROS SÍSMICOS DE ARGENTINA.

En la Figura 5.61 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 26/01/1985, registrado en la Estación “EDMUNDO DE AMICIS”, componente LONG. (registro código 26a).



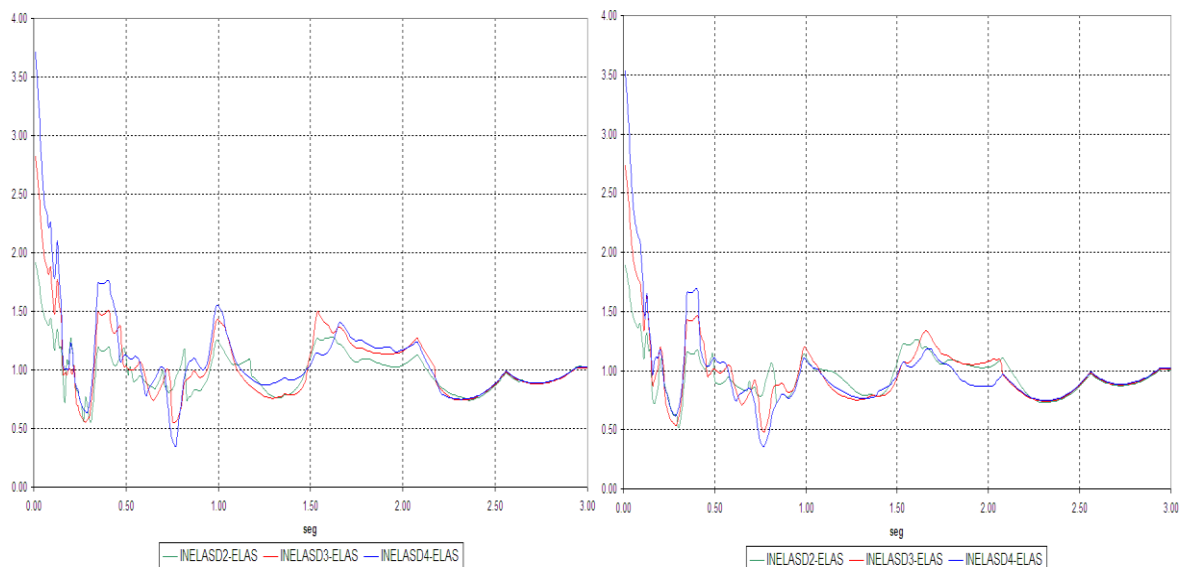
**Figura 5.61:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 26a).

En la Figura 5.62 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 26/01/1985, registrado en la Estación “EDMUNDO DE AMICIS”, componente TRANS. (registro código 26b).



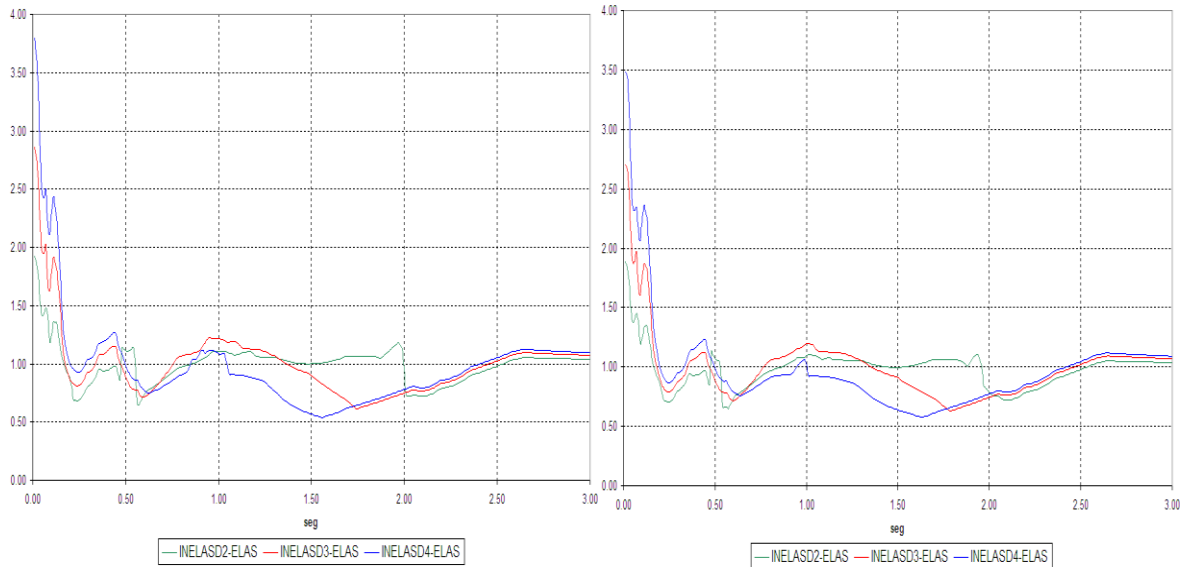
**Figura 5.62:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 26b).

En la Figura 5.63 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 26/01/1985, registrado en la Estación “LAS HERAS - MENDOZA”, componente LONG. (registro código 27a).



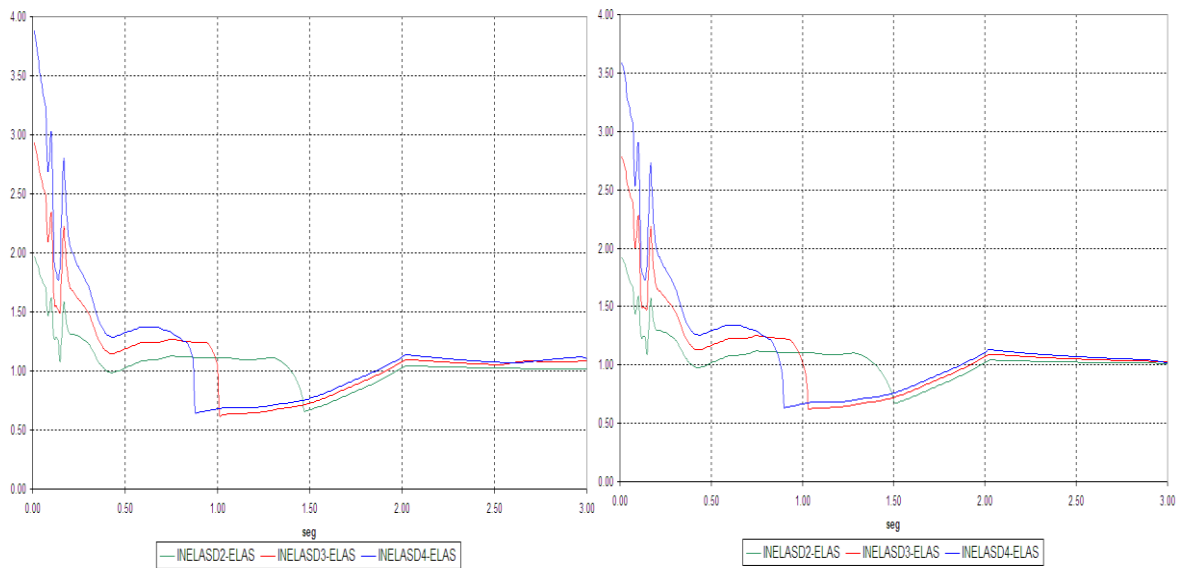
**Figura 5.63:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 27a).

En la Figura 5.64 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 26/01/1985, registrado en la Estación “LAS HERAS - MENDOZA”, componente TRANS. (registro código 27b).



**Figura 5.64:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 27b).

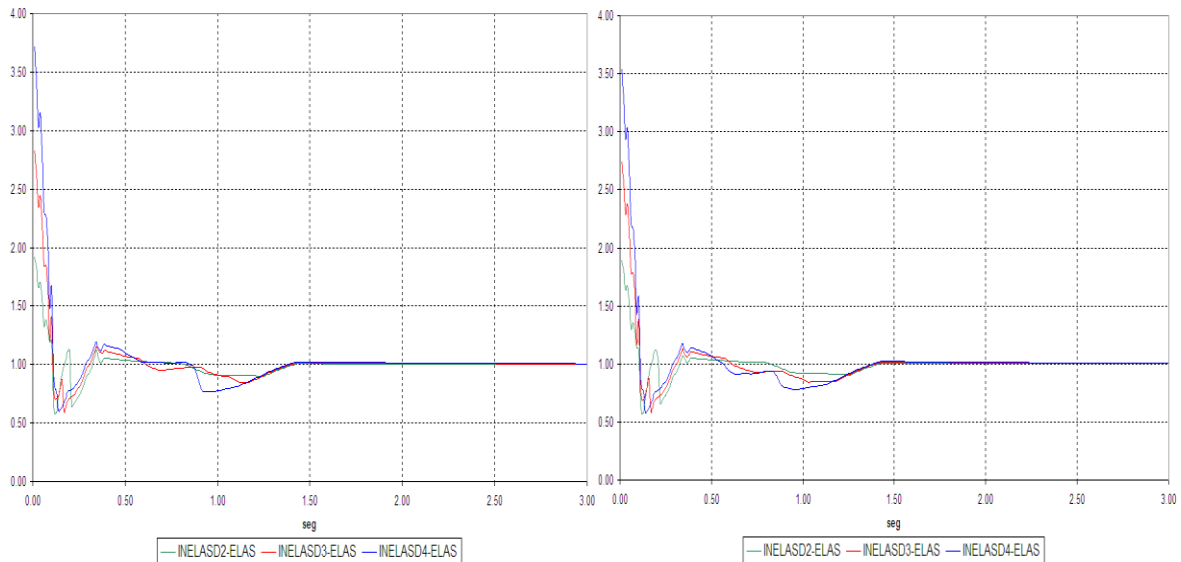
En la Figura 5.65 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 26/01/1985, registrado en la Estación “MAIPU - MENDOZA”, componente TRANS. (registro código 28).



**Figura 5.65:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 28).

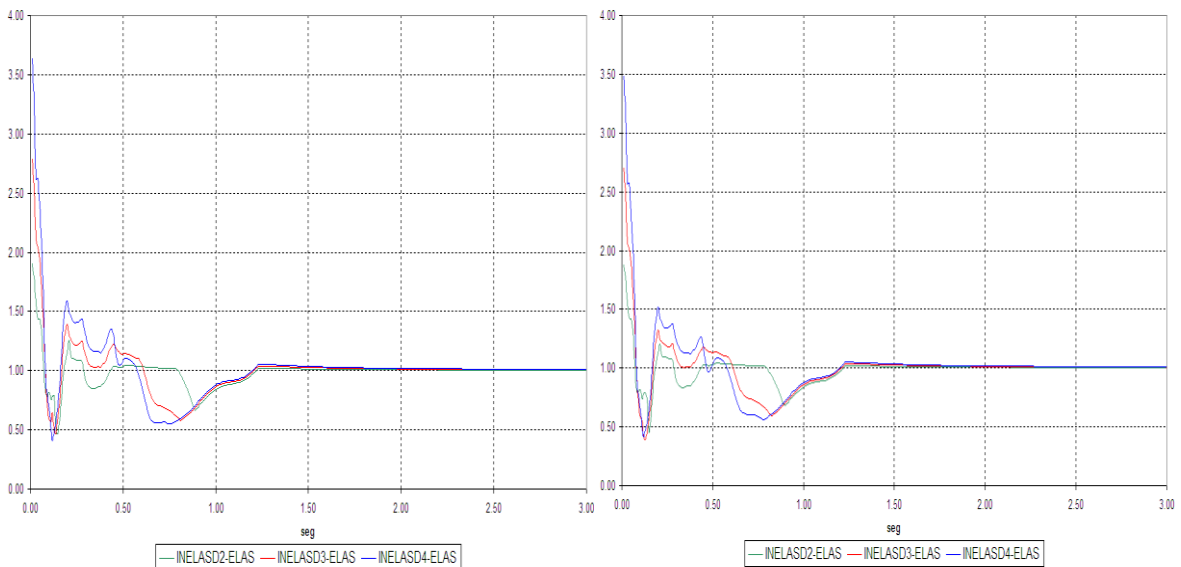


En la Figura 5.66 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/08/2005, registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente LONG. (registro código 29a).



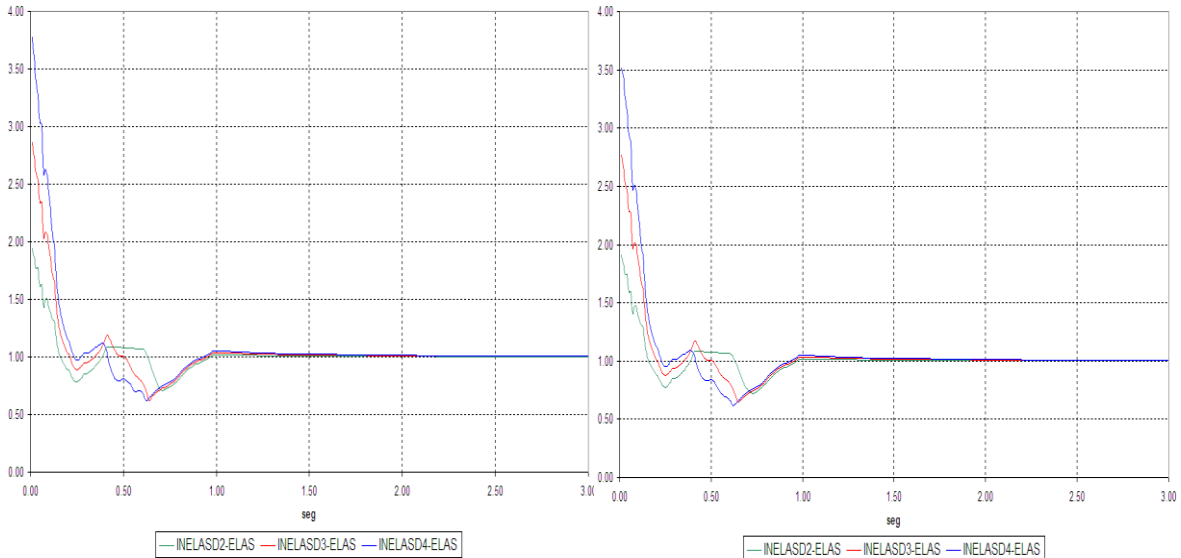
**Figura 5.66:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 29a).

En la Figura 5.67 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/08/2005, registrado en la Estación “ETNA S/N 2673”, componente TRANS. (registro código 29b).



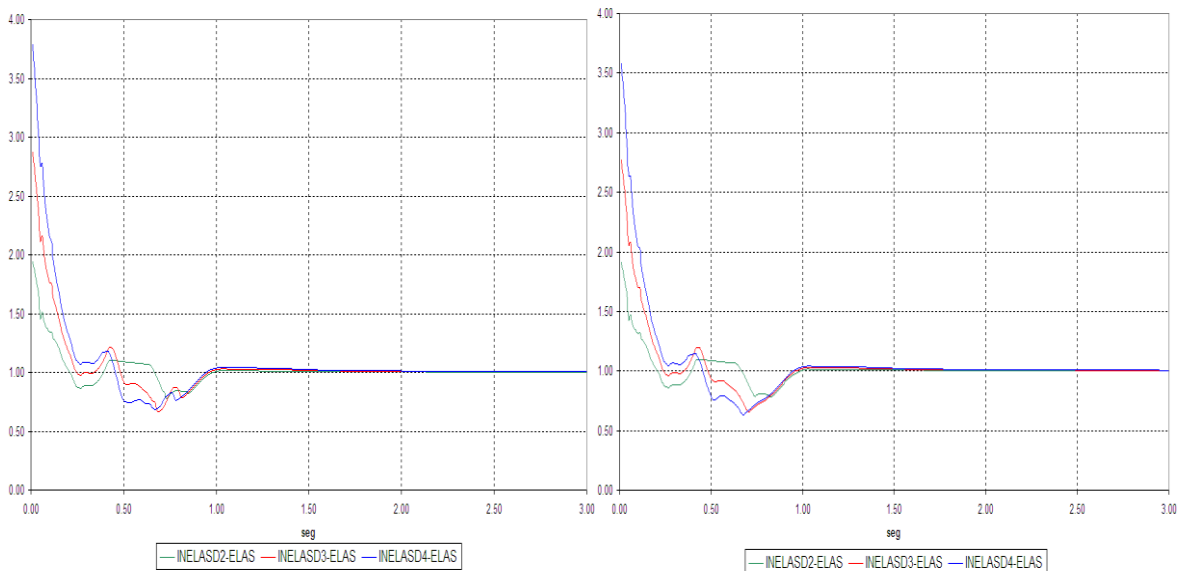
**Figura 5.67:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 29b).

En la Figura 5.68 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/08/2005, registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente E-W. (registro código 30a).



**Figura 5.68:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 30a).

En la Figura 5.69 se muestra la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico del sismo del 23/08/2005, registrado en la Estación “SSA2EVT S/N 1428”, componente N-S. (registro código 30b).



**Figura 5.69:** Relación de espectros para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente (registro código 30b).

## **CAPÍTULO VI**

### **AJUSTE DE CURVAS Y RESULTADOS**

#### **RESUMEN**

Se trata sobre el ajuste de curvas obtenidas con los valores medios de la relación entre espectros inelásticos y elásticos de todos los registros acelerográficos del presente estudio, se describe el programa MATH GRAPHER, indicando las funciones y el método utilizado para el ajuste de curvas.

Adicionalmente se presentan los resultados medios de la relación de espectros para cada país organizándolos por Colombia, Perú, Chile y Argentina, la ecuación resultante del ajuste de curvas y su aplicación a los valores medios totales del presente estudio.

## 6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA MATH GRAPHER.


El programa MATH GRAPHER utilizado en el estudio es un DEMO del Internet que puede utilizar durante 7 días, para acceder a este programa se puede seguir la siguiente ruta:

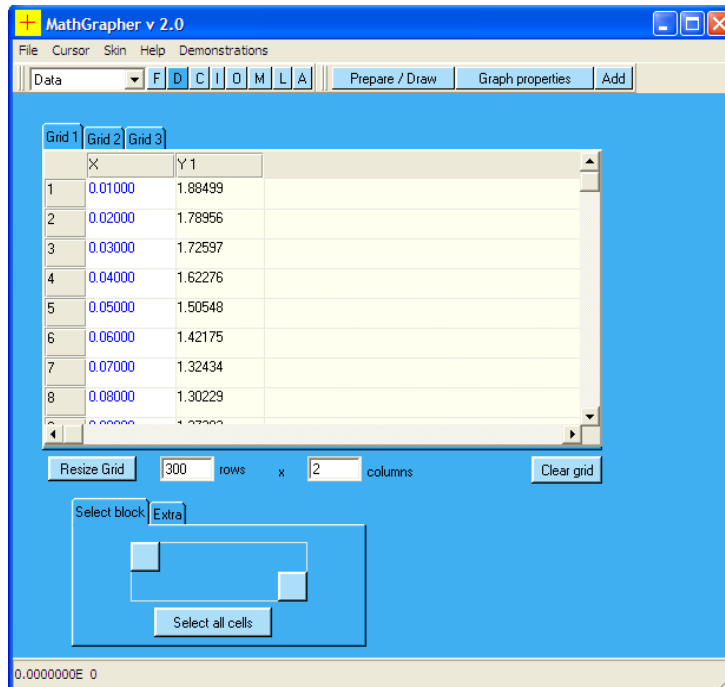
[www.mathgrapher.com](http://www.mathgrapher.com) / Download / Trial

Este programa permite graficar funciones de la forma  $f(x)$  y  $f(x,y)$ , contiene mas de 20 sub funciones, 150 constantes numéricas y 100 constantes literales, 48 funciones especiales que pueden ser utilizadas para definir nuevas funciones. Las funciones de la forma  $f(x)$  pueden ser integradas, derivadas y se puede encontrar las raíces de las funciones, las funciones de la forma  $f(x,y)$  pueden ser representadas gráficamente como superficies, contornos de superficies, planos de corte junto con contornos de superficies. Se puede ingresar y seleccionar datos mediante tablas para realizar gráficos en 2D y 3D, permite trabajar con matrices, realizar un ajuste de curvas por el método de Levenberg-Marquardt ingresando un conjunto de datos y definiendo el modelo de la función a la que se desee aproximar, pero también permite realizar ajustes a funciones preestablecidas lineales, hiperbólicas, exponenciales, polinómicas, etc.

Para efectos de este estudio se describe solamente el procedimiento utilizado para el ajuste de curvas y las funciones que intervienen en el proceso, para mayor información sobre el programa se puede recurrir al manual del propio programa MATH GRAPHER.

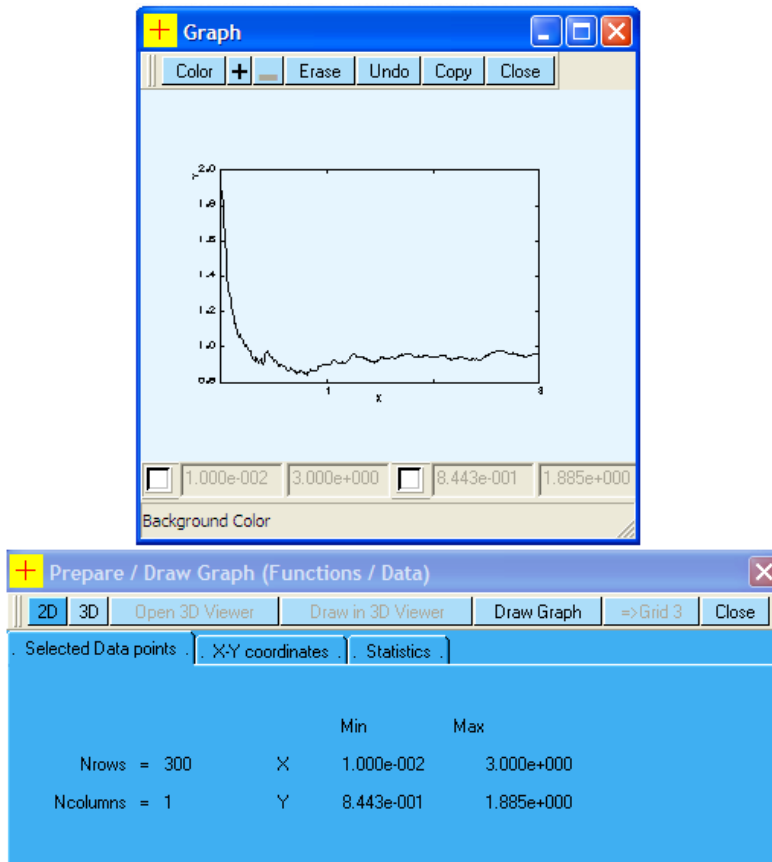
El método que se utiliza para el ajuste de curvas es Levenberg-Marquardt , es un algoritmo que permite realizar un ajuste de curvas por mínimos cuadrados de una serie de puntos a una función determinada, los puntos pueden estar dispuestos de forma lineal o no lineal. Para utilizarlo en el programa MATH GRAPHER se siguen los pasos que se detallan a continuación:

- Una vez abierto el programa Seleccione la opción “Data” con el icono  e ingrese los puntos que desee ajustar en forma de columnas, de preferencia se coloca en la primera los valores de las abscisas y en la segunda las ordenadas como se ve en la figura 6.1, es conveniente antes de ingresar los datos redimensionar el número de filas y columnas en función del número de datos que se disponga, para esto ingrese el número de filas (rows) y columnas (columns) y presione el boton “Resize Grid”.




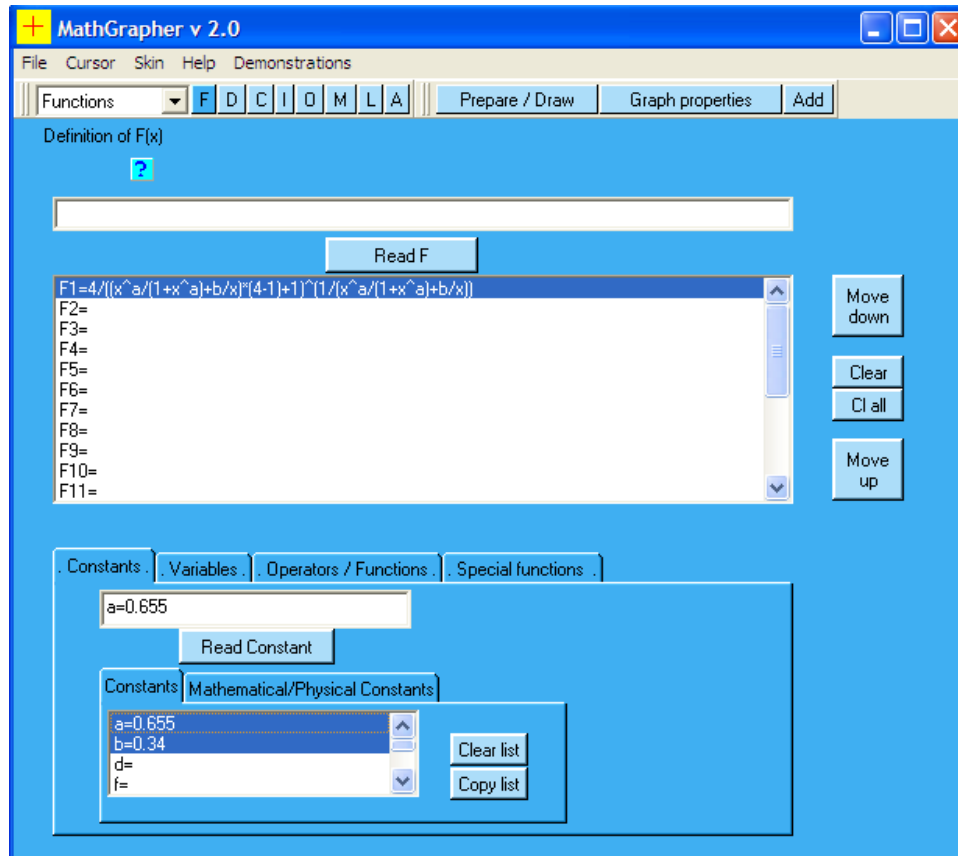
**Figura 6.1:** Pantalla para ingreso de puntos.

- Una vez ingresados los puntos se los dibuja utilizando la opción “Prepare/Draw” como se muestra en la figura 6.2, previamente es necesario seleccionar los datos que se deseen graficar. Si los puntos se ingresaron en dos columnas en la primera las abscisas y en la segunda las ordenadas basta con hacer clic en “Select all cells”, se abren dos ventanas, la primera de nombre “Graph” y la segunda “Prepare / Draw Graph (Functions / Data)”, en la segunda ventana se selecciona “Draw Graph” y el grafico aparece en la primera ventana.




**Figura 6.2:** Pantallas “Graph” y “Prepare / Draw Graph (Functions / Data)” respectivamente.

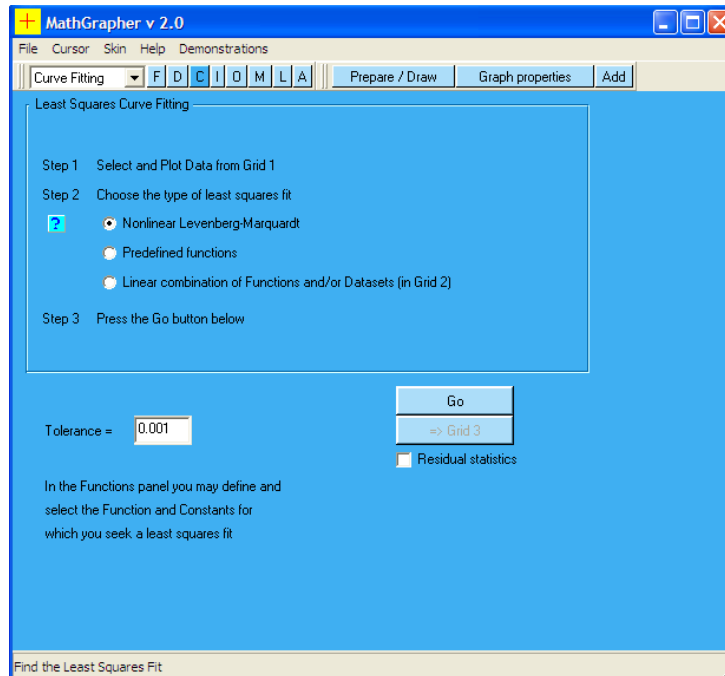
- Sin cerrar la ventana de gráfico, se elige la opción “Funcion” del menú mediante el icono  y se ingresa la función a la que se quieren aproximar los puntos, se presiona el boton “Read F”, que permite leer la función ingresada y se la selecciona como se muestra en la figura 6.3, se seleccionan las constantes para las que se desee encontrar la aproximación y se ingresa un valor aproximado inicial para realizar el ajuste con el botón “Read Constant” , se puede seleccionar más de una constante usando las teclas “ ctrl.” o “Shift”.



**Figura 6.3:** Pantalla para el ingreso de funciones y constantes.

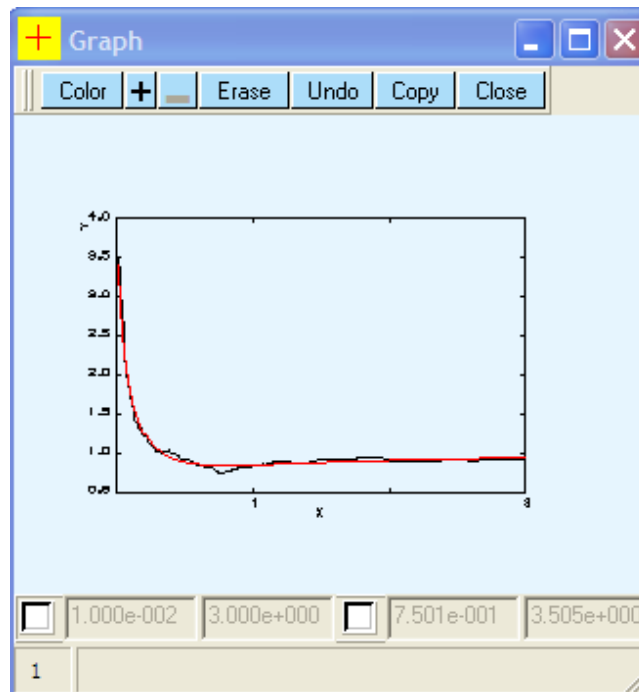
- Seleccione la opción “Curve Fitting” mediante el icono  y aparece una pantalla como la que se muestra en la figura 6.4, seleccione “Levenberg-Marquardt”, ingrese la tolerancia del ajuste (Para el estudio se utilizó 0.001) y finalmente presione “Go”.





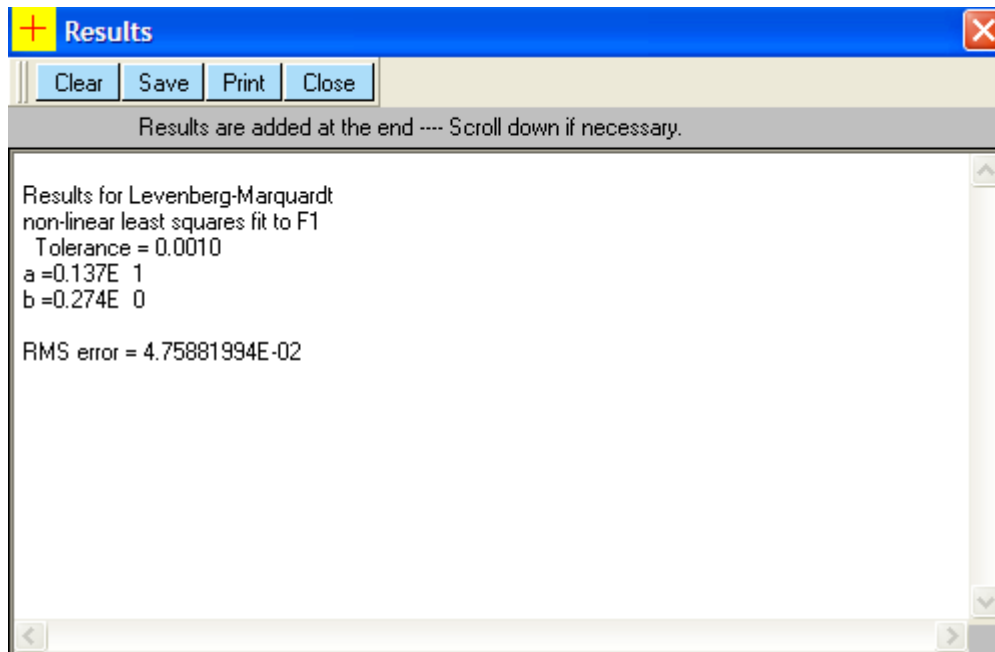
**Figura 6.4:** Pantalla para el ajuste de curvas.

- La curva ajustada se muestra en el área de gráfico como se ve en la figura 6.5, junto a la gráfica ajustada se muestra también la gráfica de puntos.



**Figura 6.5:** Curva resultante del ajuste de curvas.

- Los valores de las constantes se escriben en una nueva ventana de resultados como se muestra en la figura 6.6, pero también se los puede obtener del archivo "Results.out" que se genera producto de la aproximación.



**Figura 6.6:** Pantalla de resultados.

## 6.2 RESULTADOS MEDIOS POR CADA PAÍS.

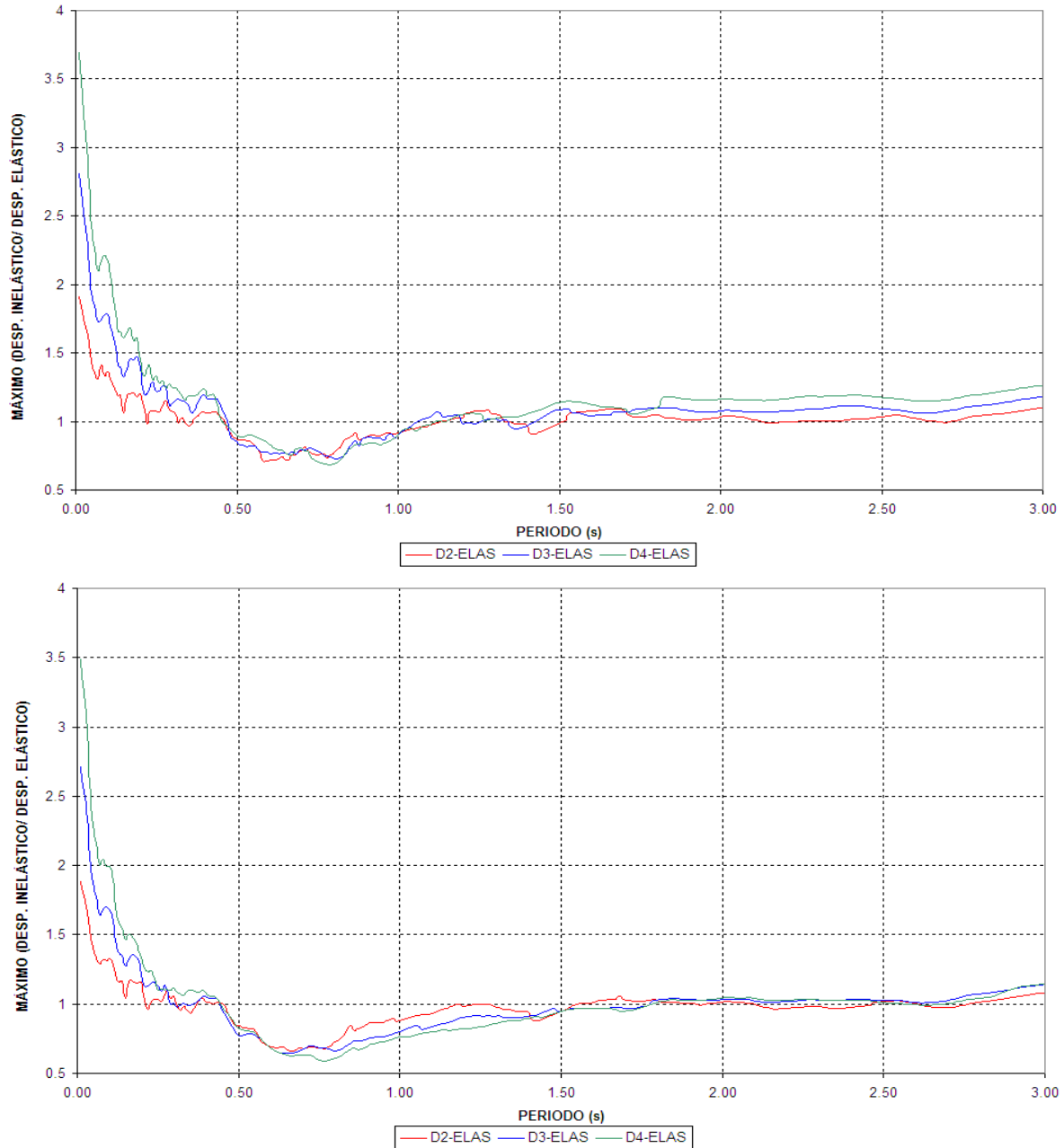
En el capítulo V se encontró la relación entre espectros inelásticos y elásticos para cada registro acelerográfico, en cada una de las relaciones se calcularon 300 puntos, correspondientes a las ordenadas de los espectros calculados para periodos desde 0.1 a 3 segundos, con intervalos de 0.1 segundos respectivamente.

Para tener una idea global de la relación entre espectros se determinó la media aritmética y la desviación estándar para cada una de las ordenadas de las relaciones calculadas, por motivos de mostrar que la tendencia de resultados se mantiene se presenta los resultados medios obtenidos para cada país del estudio.

Las gráficas que se muestran a continuación corresponden a la media aritmética calculada para las ordenadas de la relación de espectros obtenidos con los registros del país correspondiente, en la parte superior se muestra la relación calculada utilizando un modelo de histéresis elasto plástico perfecto ( $\alpha=0$ ) y en la parte inferior la calculada con un modelo elasto plástico con rigidez post fluencia del 5% ( $\alpha=5\%$ ).

## 6.2.1 RESULTADOS MEDIOS PARA COLOMBIA

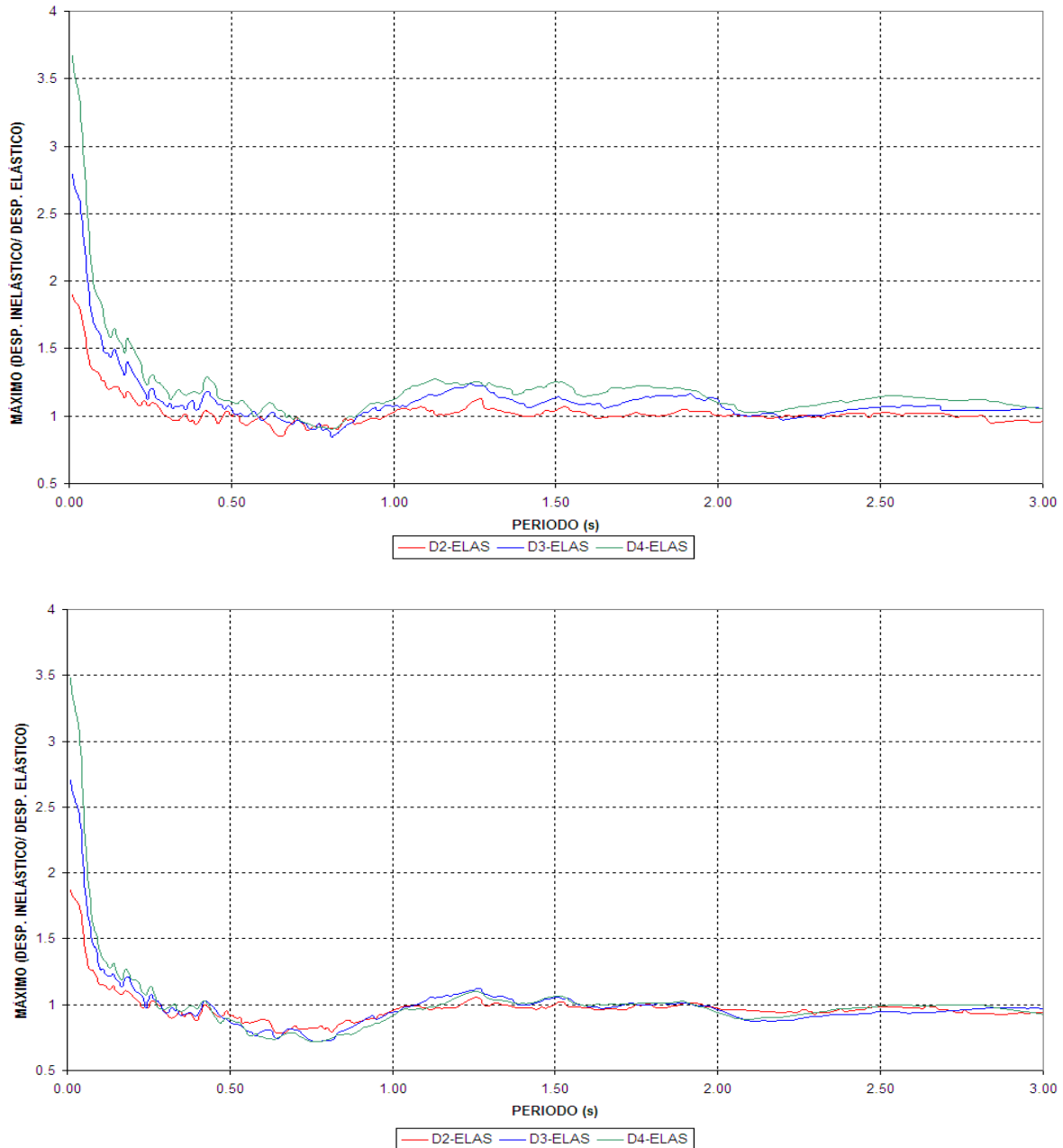
En la Figura 6.7 se muestra los valores medios de la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico utilizando los registros acelerográficos de código 31a, 31b, 32a, 32b, 33a, 33b, 34a, 34b y 35, pertenecientes a eventos sísmicos registrados en Colombia.



**Figura 6.7:** Resultados medios de Colombia para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

## 6.2.2 RESULTADOS MEDIOS PARA PERÚ

En la Figura 6.8 se muestra los valores medios de la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico utilizando los registros acelerográficos de código 01a, 01b, 02a, 02b, 03a, 03b, 04, 05a, 05b, 06, 07a, 07b, 08a, 08b, 09a y 09b, pertenecientes a eventos sísmicos registrados en Perú.



**Figura 6.8:** Resultados medios de Perú para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

### 6.2.3 RESULTADOS MEDIOS PARA CHILE

En la Figura 6.9 se muestra los valores medios de la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico utilizando los registros acelerográficos de código 10a, 10b, 11, 12, 13a, 13b, 14a, 14b, 15a, 15b, 16a, 16b, 17a, 17b, 18a, 18b, 19, 20a, 20b, 21a, 21b, 22a, 22b, 23a, 23b, 24a, 24b, 25a y 25b pertenecientes a eventos sísmicos registrados en Chile.

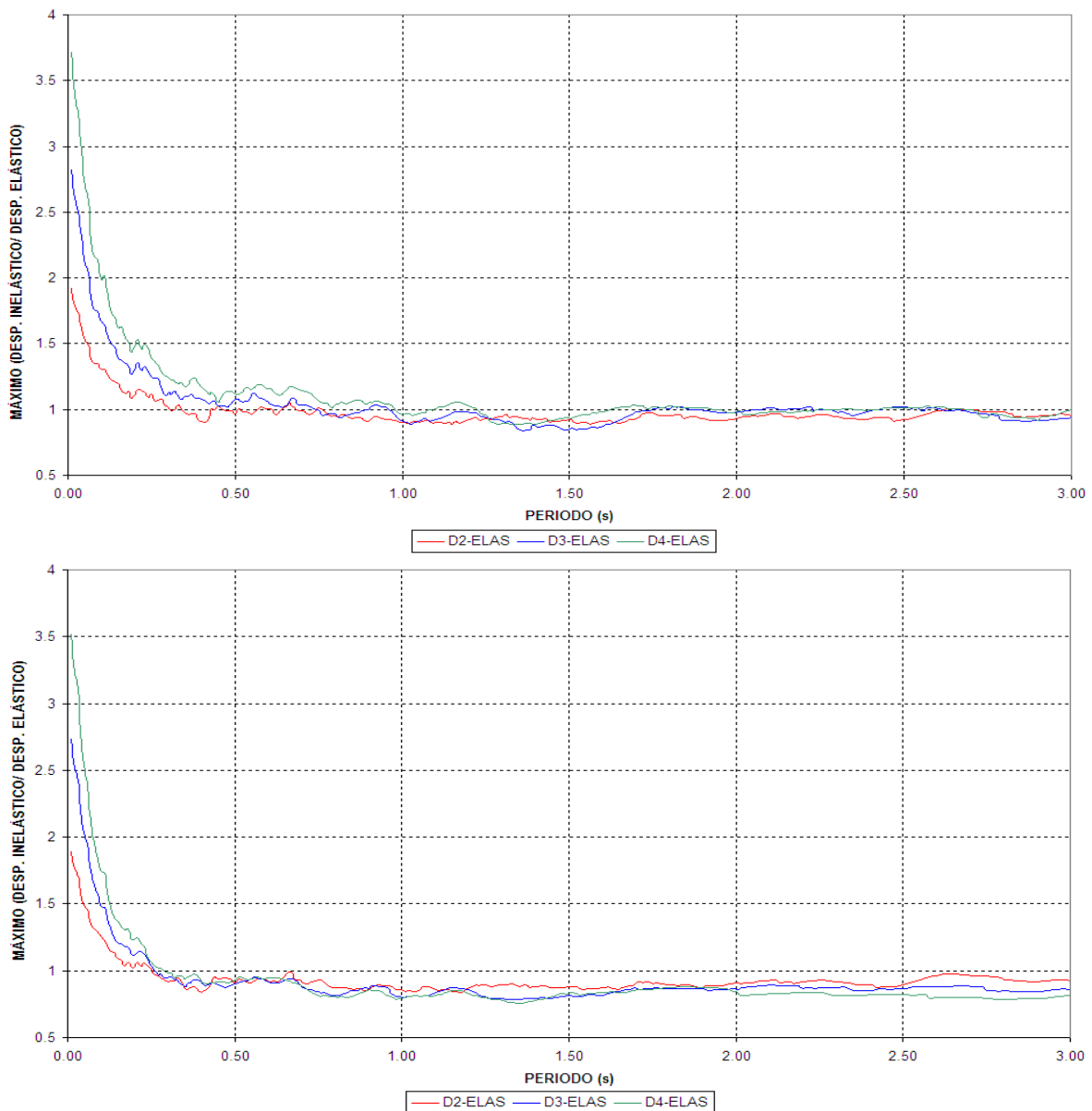
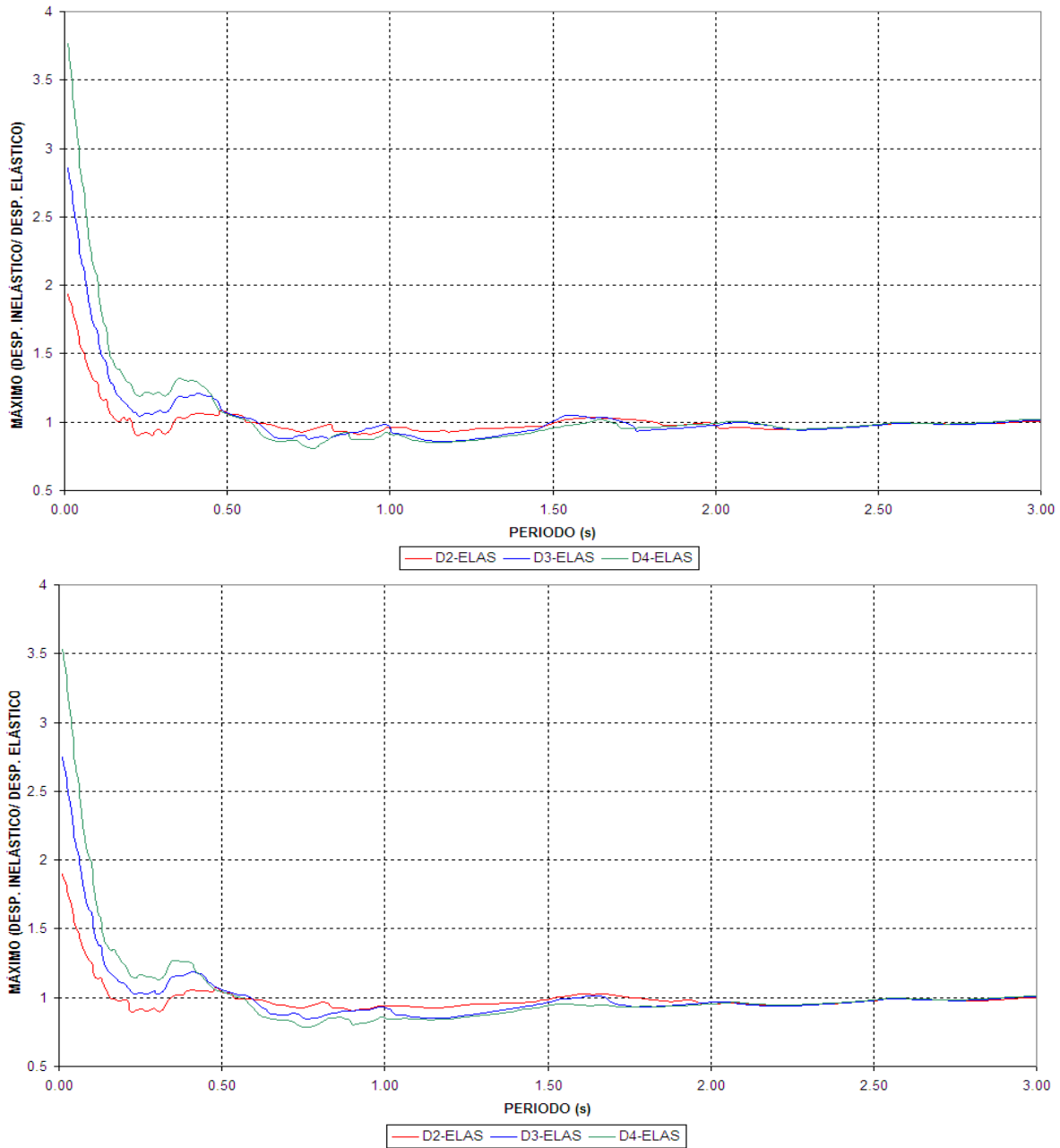


Figura 6.9: Resultados medios de Chile para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

## 6.2.4 RESULTADOS MEDIOS PARA ARGENTINA

En la Figura 6.10 se muestra los valores medios de la relación entre los espectros de desplazamiento inelástico para elástico utilizando los registros acelerográficos de código 26a, 26b, 27a, 27b, 28, 29a, 29b, 30a y 30b pertenecientes a eventos sísmicos registrados en Argentina.



**Figura 6.10:** Resultados medios de Argentina para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

### 6.3 RESULTADOS GLOBALES Y AJUSTE DE CURVAS.

Los resultados medios de la relación de espectros utilizando todos los registros acelerográficos de la base de datos disponible para este estudio se muestran en la figura 6.11, en la parte superior la relación calculada con un modelo de histéresis elasto plástico perfecto ( $\alpha=0$ ) y en la parte inferior la calculada con un modelo elasto plástico con rigidez post fluencia del 5% ( $\alpha=5\%$ ).

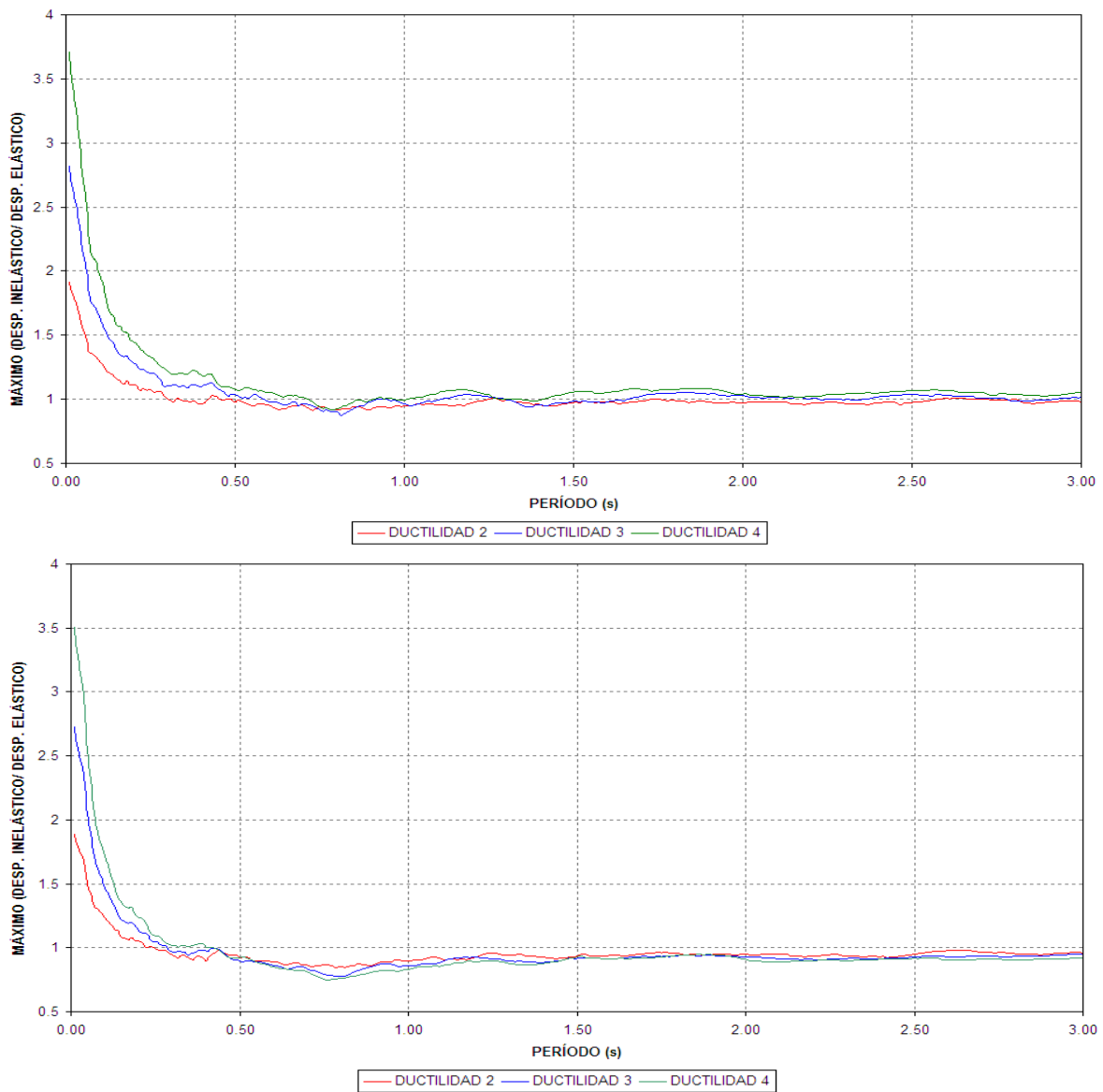
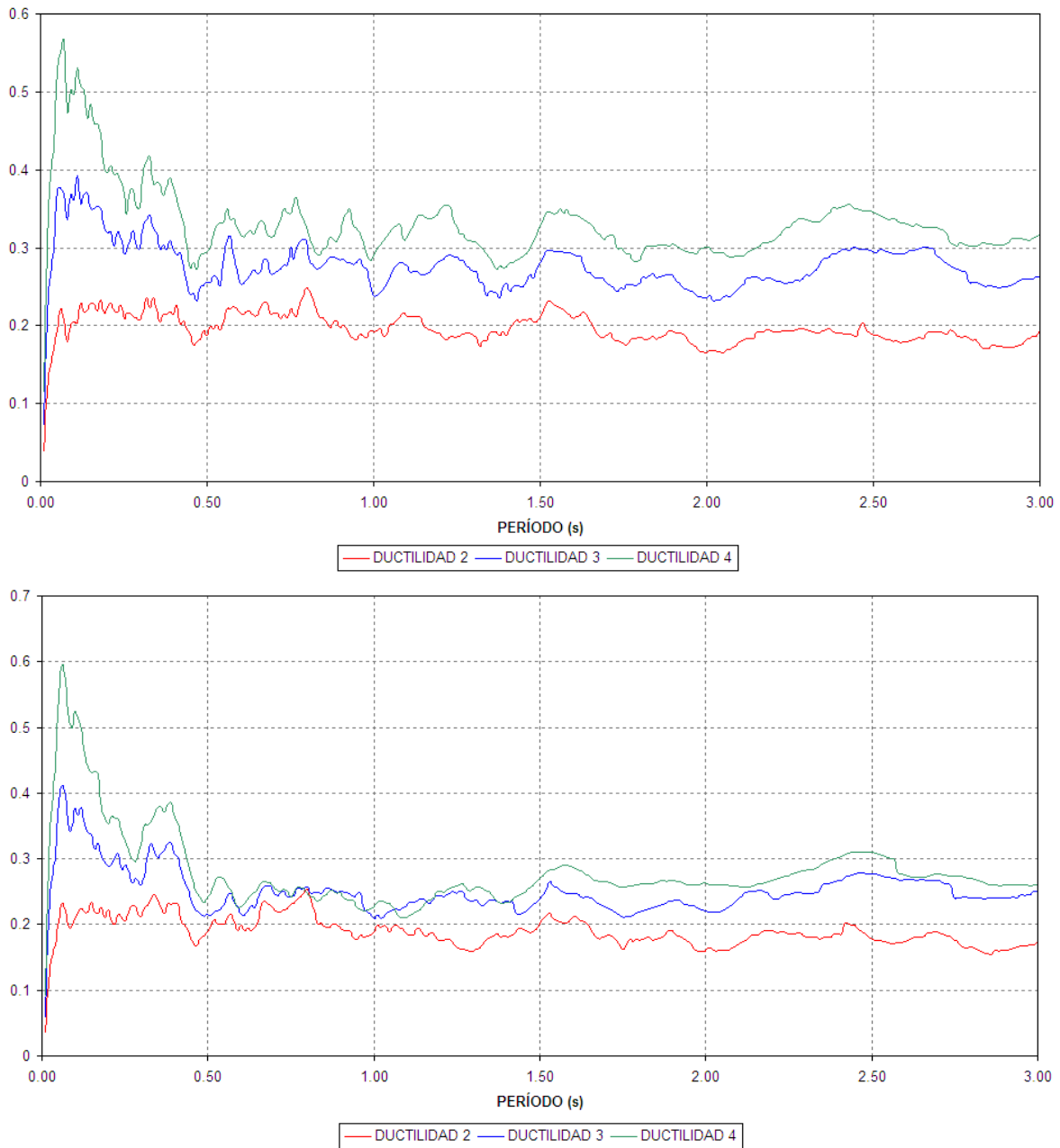


Figura 6.11: Resultados medios globales para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.



Para conocer la dispersión de los datos se determinó la desviación estándar utilizando todas las relaciones calculadas con los diferentes registros acelerográficos, en la figura 6.12 se presenta la desviación estándar, en la parte superior con un modelo de histéresis elasto plástico perfecto ( $\alpha=0$ ) y en la parte inferior con un modelo elasto plástico con rigidez post fluencia del 5% ( $\alpha=5\%$ ).



**Figura 6.12:** Desviación estándar para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

La desviación estándar obtenida para periodos posteriores a 0.5 segundos esta alrededor de 0.3 para ambos casos, la forma de la ecuación a la que se aproximaron los resultados medios totales es la propuesta por Nassar y Krawinkler (1991):

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \quad (6.1)$$
$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T}$$

Donde  $\beta_3$  es el factor que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con el desplazamiento máximo elástico,  $\mu$  es la ductilidad, T es el periodo y los factores (a y b) son constantes que se obtuvieron mediante el ajuste y sobre las cuales se trata a continuación.

Utilizando el programa MATH GRAPHER se determinaron las constantes a y b de la ecuación (6.1) para cada caso de ductilidad 2, 3 y 4 respectivamente, los resultados se agruparon en dos grupos, el primero correspondiente a un modelo de histéresis elasto plástico con  $\alpha=0$  y el segundo con  $\alpha=5\%$ .

En las gráficas siguientes se aprecia el valor medio global y la ecuación propuesta con los valores de a y b resultantes del ajuste.

### 6.3.1 AJUSTE DE CURVAS PARA $\beta_3$ USANDO UN MODELO ELASTO PLÁSTICO PERFECTO ( $\alpha=0$ ).

En la figura 6.13 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 2, los resultados de MATH GRAPHER son  $a=1.590$  y  $b=0.318$ .

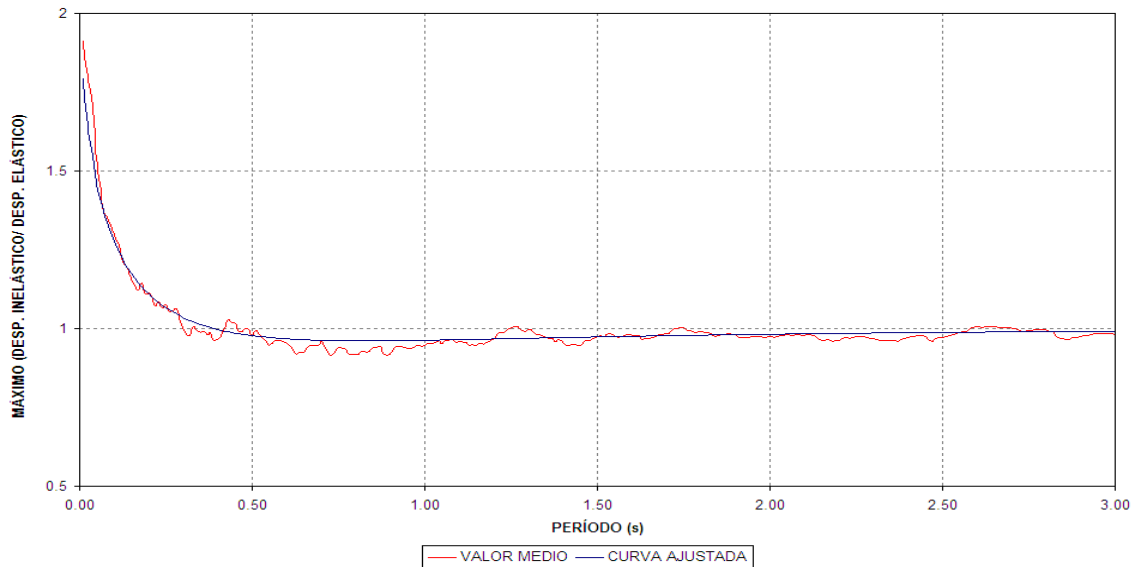


Figura 6.13: Ajuste para ductilidad 2 y  $\alpha=0$ .

En la figura 6.14 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 3, los resultados de MATH GRAPHER son  $a=2.180$  y  $b=0.396$ .

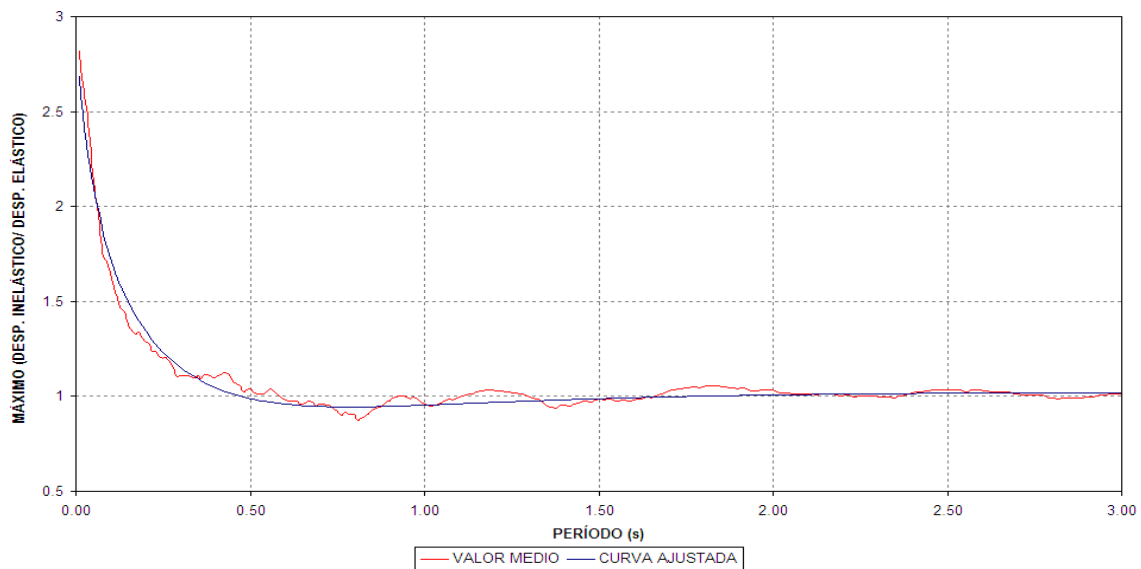
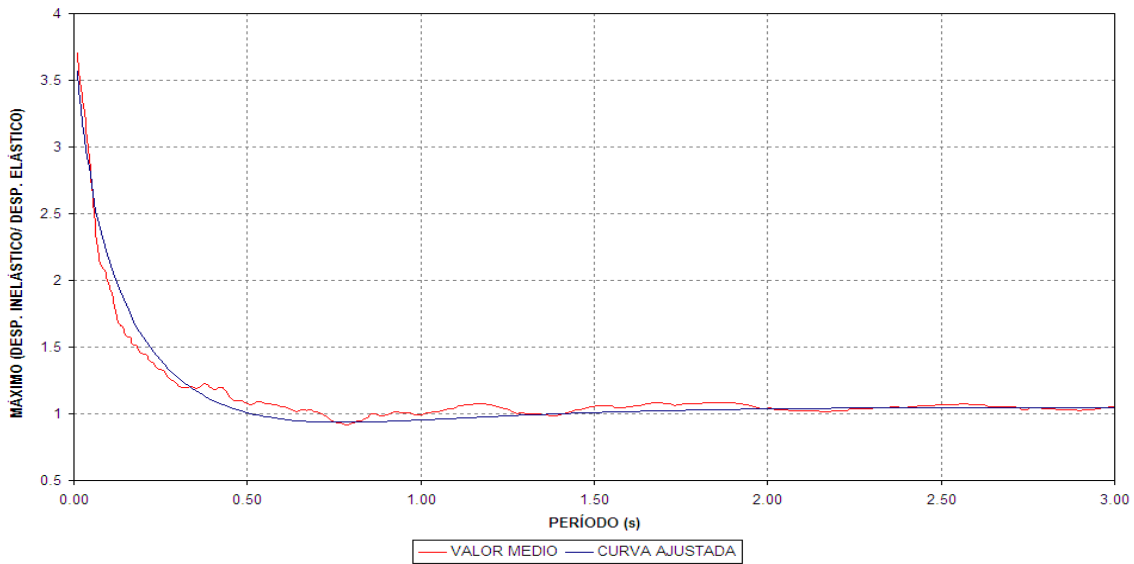


Figura 6.14: Ajuste para ductilidad 3 y  $\alpha=0$ .

En la figura 6.15 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 4, los resultados de MATH GRAPHER son a=2.440 y b=0.428.



**Figura 6.15:** Ajuste para ductilidad 4 y  $\alpha=0$ .

A manera de resumen los valores de las constantes a y b se ven en la tabla 6.1, para tener un valor único de estas constantes para un modelo de histéresis  $\alpha=0$  se obtuvo el promedio de dichos de los valores calculados.

**Tabla 6.1:** Valores de a y b calculados para  $\alpha=0$ .

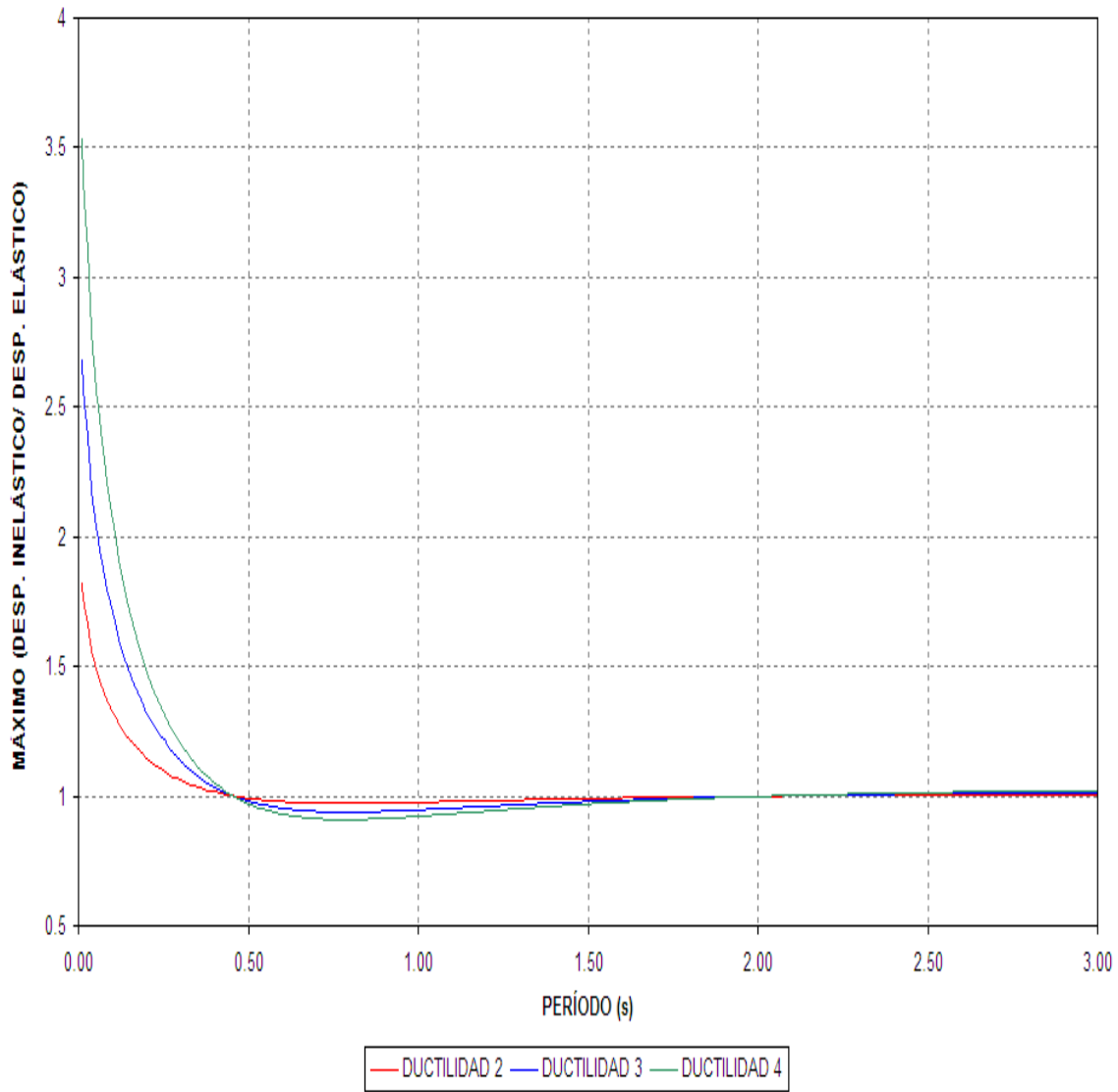
DUCTILIDAD	a	b
2	1.590	0.318
3	2.180	0.396
4	2.440	0.428
Promedio	2.070	0.381

Finalmente la ecuación propuesta para  $\alpha=0$  es:

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \tag{6.2}$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{2.070}}{1 + T^{2.070}} + \frac{0.381}{T}$$

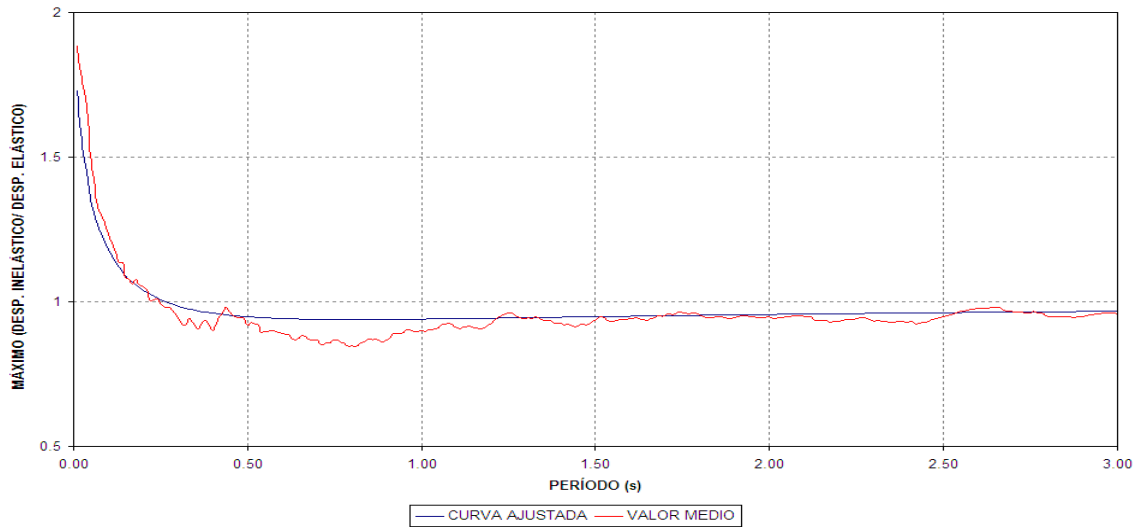
En la figura 6. 16 se muestra la ecuación propuesta para el cálculo del parámetro  $\beta_3$  que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con el desplazamiento máximo elástico utilizando un modelo de histéresis elasto plástico perfecto.



**Figura 6.16:** Propuesta para el factor  $\beta_3$  con  $\alpha=0$ .

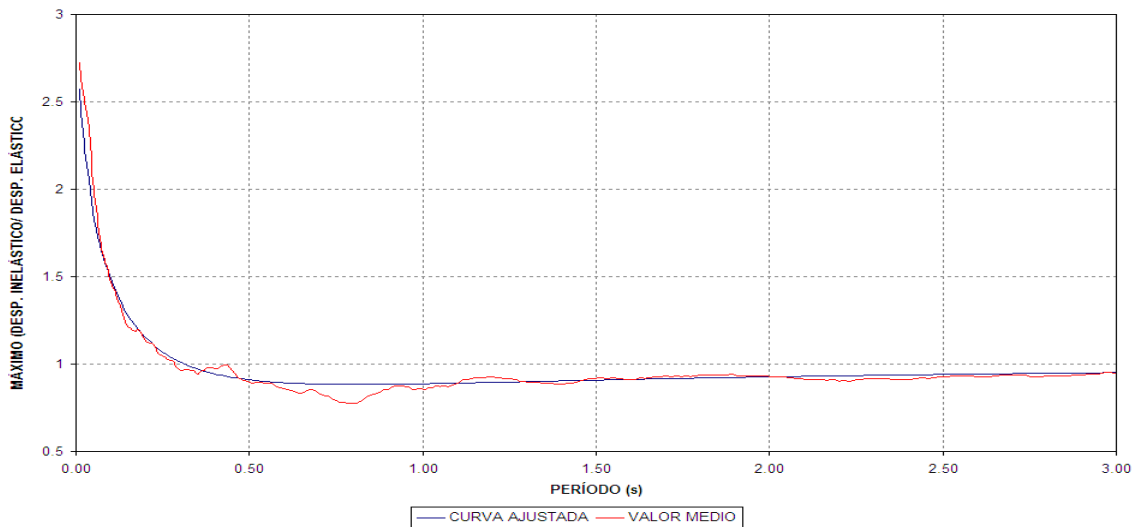
### 6.3.2 AJUSTE DE CURVAS PARA $\beta_3$ USANDO UN MODELO ELASTO PLÁSTICO CON RIGIDEZ POST FLUENCIA DEL 5% ( $\alpha=5\%$ ).

En la figura 6.17 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 2, los resultados de MATH GRAPHER son  $a=1.080$  y  $b=0.213$ .



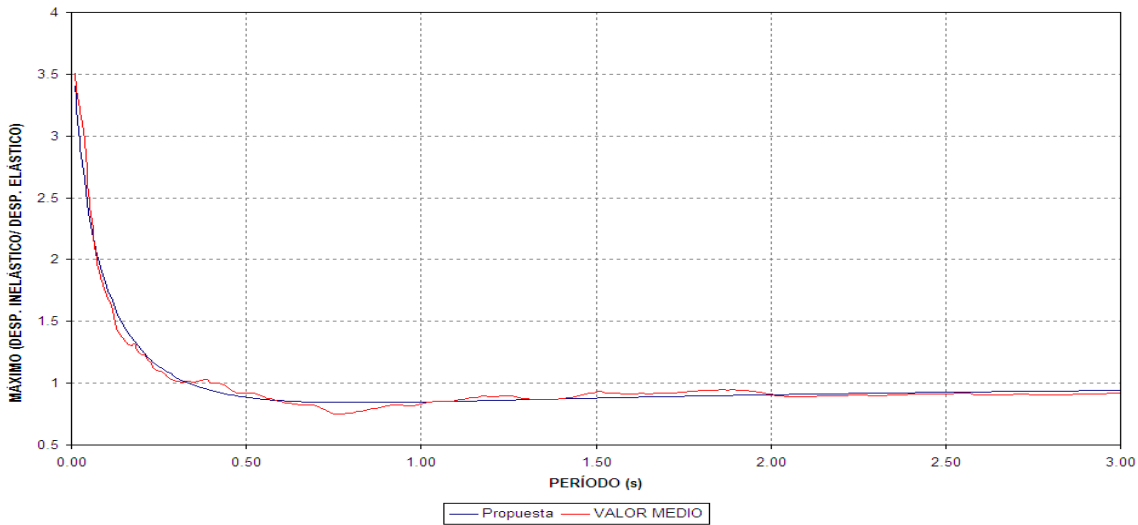
**Figura 6.17:** Ajuste para ductilidad 2 y  $\alpha=5\%$ .

En la figura 6.18 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 3, los resultados de MATH GRAPHER son  $a=1.290$  y  $b=0.256$ .



**Figura 6.18:** Ajuste para ductilidad 3 y  $\alpha=5\%$ .

En la figura 6.19 se muestra la ecuación ajustada para ductilidad 4, los resultados de MATH GRAPHER son  $a=1.370$  y  $b=0.274$ .



**Figura 6.19:** Ajuste para ductilidad 4 y  $\alpha=5\%$ .

A manera de resumen los valores de las constantes  $a$  y  $b$  se ven en la tabla 6.1, para tener un valor único de estas constantes para un modelo de histéresis  $\alpha=0$  se obtuvo el promedio de dichos de los valores calculados.

**Tabla 6.2:** Valores de  $a$  y  $b$  calculados para  $\alpha=5\%$ .

DUCTILIDAD	$a$	$b$
2	1.080	0.213
3	1.290	0.256
4	1.370	0.274
Promedio	1.247	0.248

Finalmente la ecuación propuesta para  $\alpha=5\%$  es:

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \tag{6.3}$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{1.247}}{1 + T^{1.247}} + \frac{0.248}{T}$$

En la figura 6. 20 se muestra la ecuación propuesta para el cálculo del parámetro  $\beta_3$  que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con el desplazamiento máximo elástico utilizando un modelo de histéresis elasto plástico con rigidez post fluencia del 5%.

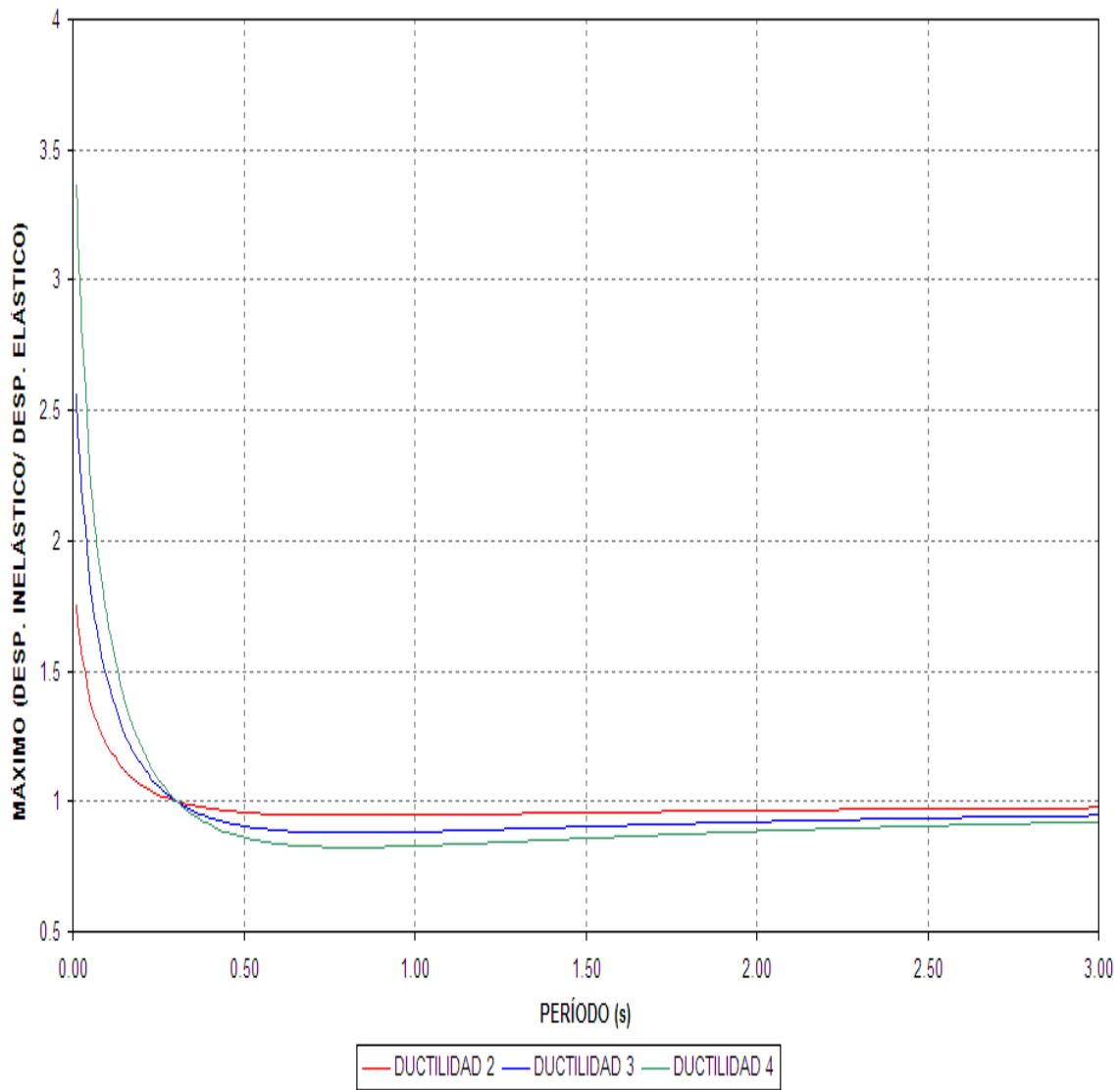


Figura 6.20: Propuesta para el factor  $\beta_3$  con  $\alpha=5\%$ .

## CAPÍTULO VII



## **RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO: INELÁSTICO A ELÁSTICO EN LA EVALUACIÓN DEL DRIFT.**

### **RESUMEN**

Se trata sobre la comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio con los obtenidos por Miranda (2000) y Nassar y Krawinkler (1991) en estudios similares.

Adicionalmente se muestra la relación entre la deriva de piso y los diferentes niveles de daño que una edificación puede sufrir ante el efecto de una acción sísmica, Ghobarah (2004).

Es necesario hacer notar que este capítulo sirvió de base para la elaboración de un artículo para las XXXII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural que se realizarán en Mayo del 2006 y para la revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (Actualmente el artículo esta en proceso de arbitraje para su publicación), por lo que he decidido incluirlo tal y como fue enviado para su publicación, razón por la cual contiene algunas imágenes y tablas ya expuestas en capítulos anteriores.

**RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO: INELÁSTICO A ELÁSTICO  
EN LA EVALUACIÓN DEL DRIFT.**

*Roberto Aguiar y Paúl Guerrero*

Centro de Investigaciones Científicas

Escuela Politécnica del Ejército

Quito-Ecuador

[raguiar@espe.edu.ec](mailto:raguiar@espe.edu.ec), [paul\\_ed\\_guerrero@hotmail.com](mailto:paul_ed_guerrero@hotmail.com)

***RESUMEN***

Se presenta una relación entre el desplazamiento lateral máximo inelástico con respecto al desplazamiento lateral máximo elástico, en sistemas de un grado de libertad, la misma que sirve para evaluar en forma rápida la deriva máxima de piso. Para obtener esta relación se trabajó con 63 acelerogramas de eventos registrados en América del Sur y cuya aceleración máxima del suelo fue mayor a 0.10 veces la aceleración de la gravedad.

***ABSTRACT***

A relationship between the maximum inelastic and elastic lateral displacements, in single degree of freedom systems, is presented to evaluate the maximum lateral drift. To obtain this relationship it has been worked in 63 accelerographs of southamerica's events whose maximum acceleration was 0.1 of g.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen una gran cantidad de modelos de daño, a nivel de elementos, de piso o de estructura completa para cuantificar el comportamiento de una estructura ante una acción sísmica, Aguiar y Barbat (1998). Modelos que toman como parámetro la cantidad de energía disipada, el número de ciclos que la estructura incursiona en el rango no lineal, la demanda de ductilidad, etc. Estos modelos implican realizar un análisis no lineal dinámico en tres dimensiones, que demanda bastante tiempo en la entrada de datos de los programas de ordenador que existen y en el análisis de los reportes.

Una alternativa para no calcular los índices de daño y tener una idea bastante clara del comportamiento sísmico de una estructura es determinar la distorsión máxima de piso  $\gamma$ , o drift en lengua inglesa, ya que se ha visto que se relaciona bastante bien con el daño estructural y no estructural. Bertero et al (1991), Moehle (1992 y 1996).

Pensando en el cálculo de la vulnerabilidad sísmica de una gran cantidad de estructuras, Miranda (1997), Gupta y Krawinkler (2000), entre otros, han propuesto metodologías rápidas de cálculo del drift máximo de piso  $\gamma$ ; las mismas que responden a la base de datos con las cuales los autores trabajaron. De tal manera que antes de usarlas en otros países es necesario primero adaptarlas a la realidad sísmica de dichos países y a sus sistemas constructivos, fundamentalmente.

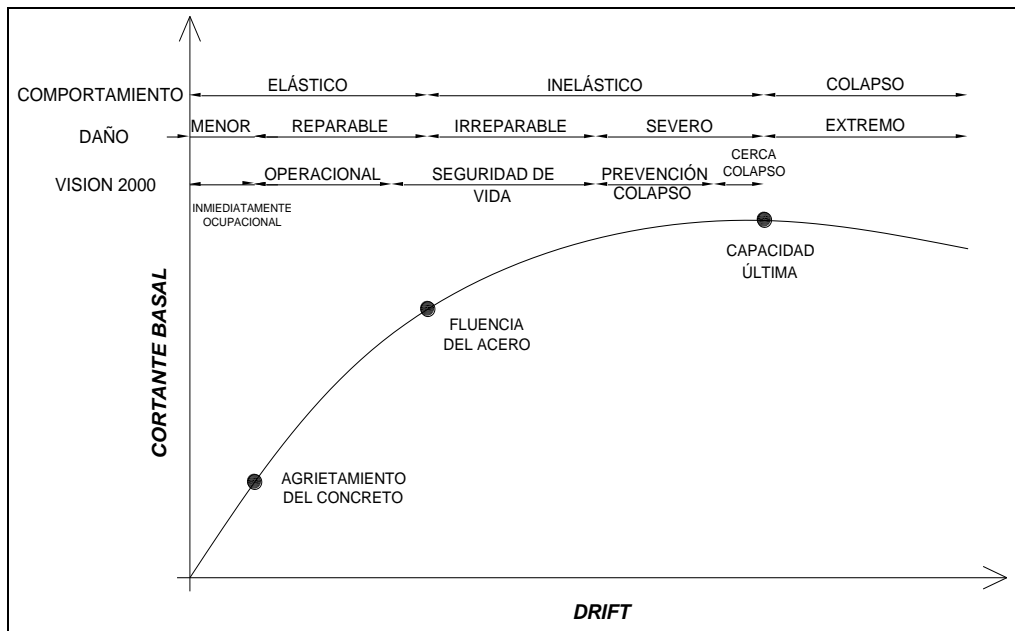
La ecuación que Miranda (1997) propone para evaluar la distorsión máxima de piso, en la metodología rápida, es la siguiente:

$$\gamma = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 T^2}{4 \pi^2 N h} S_a \quad (1)$$

donde  $\beta_1$  es el valor de paso del sistema de un grado de libertad al sistema de múltiples grados de libertad;  $\beta_2$  es un factor de amplificación que permite determinar la distorsión máxima de entrepiso a partir de la distorsión global de la estructura. La distorsión global se define como la relación entre el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio dividido para la altura total del edificio;  $\beta_3$  es un factor que permite calcular los desplazamientos laterales máximos con comportamiento inelástico a partir de los máximos desplazamientos laterales con comportamiento elástico ;  $\beta_4$  es un factor que sirve para determinar el cociente entre la distorsión máxima de entrepiso y la distorsión global pero calculado en

una estructura con comportamiento elástico lineal con relación a la misma relación pero calculada con comportamiento inelástico;  $N$  es el número de pisos de la estructura,  $h$  es la altura de un entrespacio;  $S_a$  es la aceleración del espectro que es función del período, del amortiguamiento y de la demanda de ductilidad.

En el presente artículo, en base a sismos registrados en América del Sur, con aceleraciones mayores de 0.1 g., siendo g la aceleración de la gravedad se determina el factor  $\beta_3$ .



**Figura 1** Niveles de daño en función del drift.

Con el propósito de ilustrar la importancia de conocer el drift máximo de piso, en la figura 1 se presenta la curva de capacidad sísmica resistente de una estructura, que relaciona el drift con el cortante basal. Esta curva es obtenida mediante la aplicación de la técnica del empujón o pushover. Se han determinado

tres puntos notables en la curva que son el punto de agrietamiento del concreto, el de fluencia del acero y el de capacidad última.

Con relación a estos puntos Ghobarah (2004) presenta el desempeño sísmico de la estructura, en la parte superior se aprecia el comportamiento estructural clasificado en: elástico, inelástico y colapso. En la parte intermedia el daño clasificado en: menor, reparable, irreparable, severo y extremo. Finalmente en la parte inferior, el desempeño de acuerdo a la recomendación del comité VISION 2000, que lo define como: inmediatamente ocupacional, operacional, seguridad de vida, prevención del colapso y cerca de colapso.

El desempeño que se espera en una estructura está en función del sismo de análisis, tema que no se aborda en el artículo para no desviar la atención del estudio. Pero en relación a la figura 1 se describe en la tabla 1, valores referenciales propuestos por Ghobarah et al (1997) para definir el daño y así tener una idea del estado en que se encuentra una edificación en base al drift máximo de piso o al drift global.

**Tabla 1** Criterios para la evaluación del desempeño estructural. Ghobarah et al (1997)

<b>Daño →</b>	<b>Menor</b>	<b>Reparable</b>	<b>Irreparable</b>	<b>Severo</b>	<b>Extremo</b>
<b>Desempeño</b>	Agrietamiento	Fluencia de acero	Inicio de Mecanismo	Mecanismo Global	Degradación notable de resistencia
<b>Descripción de los daños</b>	Grietas ligeramente visibles	Grietas	Grietas abiertas y pérdida de recubrimiento	Grietas muy anchas y mayor pérdida de recubrimiento	Deformaciones permanentes visibles

Índice de daño	0.05	0.14	0.40	0.60	Mayor de 0.60
Cuantificación de desempeño	Grietas menores de 0.3 mm.	Grietas menores de 1 mm.	Grietas entre 1 y 2 mm.	Grietas mayores de 2 mm.	Grietas anchas y profundas. Dilatación de los elementos
Drift de piso	0.005	0.011	0.023	0.046	> 0.060
Drift global	0.003	0.008	0.018	0.040	>0.049

## 2. DESPLAZAMIENTO INELÁSTICO

Sea  $\Delta_{INE}$  el desplazamiento lateral máximo inelástico, en un sistema de un grado de libertad y sea  $S_d$  el desplazamiento espectral elástico. La relación que existe entre  $\Delta_{INE}$  y  $S_d$ , es la siguiente:

$$\Delta_{INE} = \beta_3 S_d \quad (2)$$

Existen varias propuestas para el factor  $\beta_3$ , aquí únicamente se presentan tres, la desarrollada por Miranda (2000), la de Nassar y Krawinkler (1991) y las recomendaciones de FEMA 273. Miranda para su propuesta trabajó con 264 acelerogramas registrados en los Estados Unidos de Norte América. El resultado al que llega es:

$$\beta_3 = \left[ 1 + \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right) \exp(-12 T \mu^{-0.8}) \right]^{-1} \quad (3)$$

donde  $\mu$  es la demanda de ductilidad y  $T$  es el período de vibración del sistema.

Nassar y Krawinkler (1991) trabajaron con 15 terremotos registrados en el estado de California, sobre suelo firme y aluvial. Del estudio obtuvieron la siguiente ecuación:

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \quad (4)$$

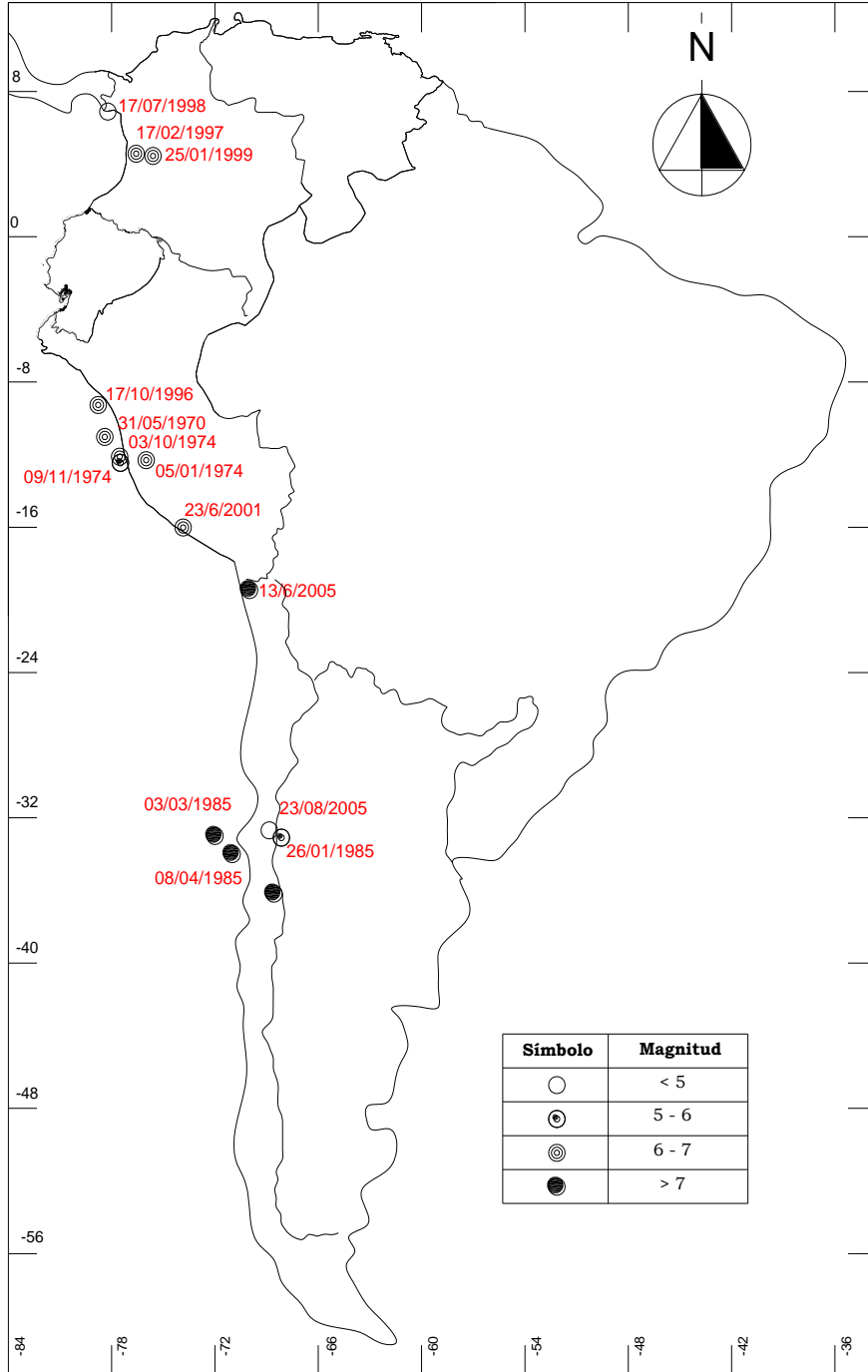
$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (5)$$

donde  $c$  es una función del período  $T$  y del cociente entre la rigidez post fluencia y rigidez elástica que se ha denominado  $\alpha$ . Los valores de  $a$  y  $b$  en función de la variable  $\alpha$  se indican en la tabla 2.

**Tabla 2:** Valores de  $a$  y  $b$

$\alpha$	$a$	$b$
0.00	1.00	0.42
0.02	1.00	0.37
0.10	0.80	0.29





**Figura 2:** Sismos considerados en el estudio.

Otra ecuación para el cálculo de  $\beta_3$  es la propuesta por FEMA 273 la misma que se indica a continuación.

$$\beta_3 = 1 \quad T_e \geq T^* \quad (6)$$

$$\beta_3 = 1.5 \quad T_e < 0.1 \quad (7)$$

siendo  $T^*$  es el período que define el punto de cambio del segmento de aceleración constante al segmento de velocidad constante;  $T_e$  es el período fundamental efectivo. Para valores de  $T_e$  comprendidos entre 0.1 y  $T^*$ , se recomienda interpolar linealmente. En consecuencia  $\beta_3$  se evaluará con la siguiente ecuación:

$$\beta_3 = 1.5 - 0.5 \left( \frac{T_e - 0.1}{T^* - 0.1} \right) \quad (8)$$

Se destaca que las tres propuestas han sido obtenidas con sismos registrados en los Estados Unidos. Por otra parte, Miranda (2000) demostró que el tipo de suelo tiene muy poca influencia en el valor de  $\beta_3$ , algo similar obtuvo con la influencia de la distancia epicentral y de la magnitud del sismo. De tal manera que lo importante es encontrar una ecuación para  $\beta_3$  en base a sismos registrados en América del Sur, si se pretende utilizar esta metodología en dichos países.

**Tabla 3:** Parámetros más importantes de los sismos considerados en el estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	PAÍS	FECHA	MAGNITUD	COMPONENTE	ACELERACIÓN MÁXIMA [gals]
01a	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	7.20	E-W	-138.5
01b	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	7.20	N-S	125.4
02a	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	7.20	E-W	119.1
02b	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	7.20	N-S	111.2
03a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	6.40	E-W	-180.6
03b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	6.40	N-S	-269.3
04	ESTACIÓN LA MOLINA	PERU	09/11/1974	6.00	E-W	-116.8
05a	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	6.90	E-W	-295.2
05b	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	6.90	N-S	-234.0
06	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	31/05/1970	6.40	E-W	-104.8
07a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	-192.5
07b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	179.0
08a	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	192.3
08b	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	-207.1
09a	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	6.60	E-W	-139.6
09b	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	6.60	N-S	-156.2
10a	ILOCA	CHILE	04/09/1985	7.20	N-S	-159.0
10b	ILOCA	CHILE	04/09/1985	7.20	E-W	-110.0
11	RAPEL	CHILE	04/09/1985	7.20	E-W	-108.0
12	PAPUDO	CHILE	03/03/1985	7.80	140°	226.0
13a	LLAYLLAY	CHILE	03/03/1985	7.80	280°	-465.0
13b	LLAYLLAY	CHILE	03/03/1985	7.80	190°	-345.0
14a	SAN FELIPE	CHILE	03/03/1985	7.80	170°	-303.0
14b	SAN FELIPE	CHILE	03/03/1985	7.80	80°	425.0
15a	LLOLLEO	CHILE	08/04/1985	7.20	100°	-167.0
15b	LLOLLEO	CHILE	08/04/1985	7.20	10°	200.0
16a	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	100°	437.0
16b	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	10°	-698.0
17a	VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	290°	-233.0
17b	VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	200°	356.0
18a	VALPARAISO EL ALMENDRAL (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	50°	292.0
18b	VALPARAISO EL ALMENDRAL (UNIVERSITY OF CHILE)	CHILE	03/03/1985	7.80	140°	-163.0
19	COLBUN	CHILE	03/03/1985	7.80	LONG	-477.0
20a	ILOCA	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-221.0
20b	ILOCA	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	273.0
21a	MELIPILLA	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-673.0
21b	MELIPILLA	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	518.0
22a	PICHILEMU	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	254.0
22b	PICHILEMU	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	-175.0
23a	SAN FERNANDO	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	285.0
23b	SAN FERNANDO	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	333.0
24a	SAN ISIDRO	CHILE	03/03/1985	7.80	LONG	-707.0
24b	SAN ISIDRO	CHILE	03/03/1985	7.80	TRANS	696.0
25a	ZAPALLAR	CHILE	03/03/1985	7.80	E-W	-265.0
25b	ZAPALLAR	CHILE	03/03/1985	7.80	N-S	299.0
26a	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	LONG	-267.0
26b	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	-332.0
27a	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	LONG	184.0
27b	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	401.0
28	MUNICIPALIDAD DE MAIPU - MENDOZA	ARGENTINA	26/01/1985	6.00	TRANS	-192.0
29a	ETNA S/N 2673	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	LONG	439.5
29b	ETNA S/N 2673	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	TRANS	-222.0
30a	SSA2EVT S/N 1428	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	E-W	164.1
30b	SSA2EVT S/N 1428	ARGENTINA	23/08/2005	4.90	N-S	-129.0
31a	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	518.4
31b	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	-580.1
32a	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	554.9
32b	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	-477.8
33a	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	E-W	-207.8
33b	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	6.20	N-S	141.5
34a	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	3.07	E-W	132.4
34b	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	3.07	N-S	-124.8
35	ESTACIÓN DE PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)	COLOMBIA	19/02/1997	6.10	E-W	127.5

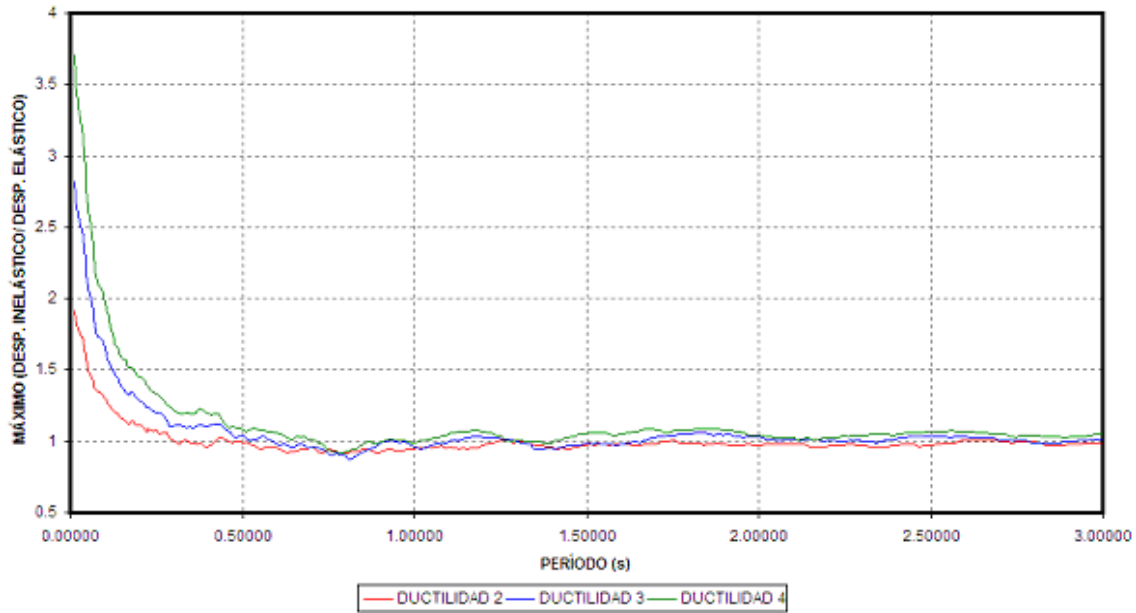
### 3. REGISTROS SÍSMICOS

En la figura 2, se presentan los epicentros de los 15 sismos considerados en el estudio y en la tabla 3 se dan los parámetros más importantes de cada uno de los 63 registros de los 15 sismos. Se aprecia que todos ellos tienen una aceleración máxima del suelo mayor a 0.10 g., de igual manera se observa que en algunas estaciones solo se tiene una componente sísmica, esto se debe a que la otra componente tuvo una aceleración máxima menor a 0.10 g.

### 4. VALORES MEDIOS

Para encontrar la respuesta lineal y no lineal se utilizó el programa DEGTRA y se consideró dos casos, el primero con un modelo elasto perfectamente plástico, en el cual el valor de  $\alpha = 0$ , y el segundo con un valor de  $\alpha = 0.05$ .

En la figura 3 se presenta, para  $\alpha = 0$ , los valores medios del parámetro  $\beta_3$  que relaciona el máximo desplazamiento inelástico con relación al máximo desplazamiento elástico y en la figura 4 para  $\alpha = 0.05$ . Se indican los valores medios para ductilidades de 2 a 4, se aprecia que para un período igual a cero el valor de  $\beta_3$  tiende al valor de la ductilidad.



**Figura 3:** Valores medios de  $\beta_3$  para  $\alpha = 0$ .

En la figura 3, se aprecia que  $\beta_3$  tiende a la unidad para períodos mayores a 0.5 s., y en la figura 4 se observa que los valores de  $\beta_3$  son ligeramente menores a la unidad para el mismo rango de períodos. De igual manera se aprecia en las dos figuras que el valor de  $\beta_3$  difiere muy poco con la ductilidad para períodos mayores a 0.5 s., para valores menores, la ductilidad si influye en el valor de  $\beta_3$ .

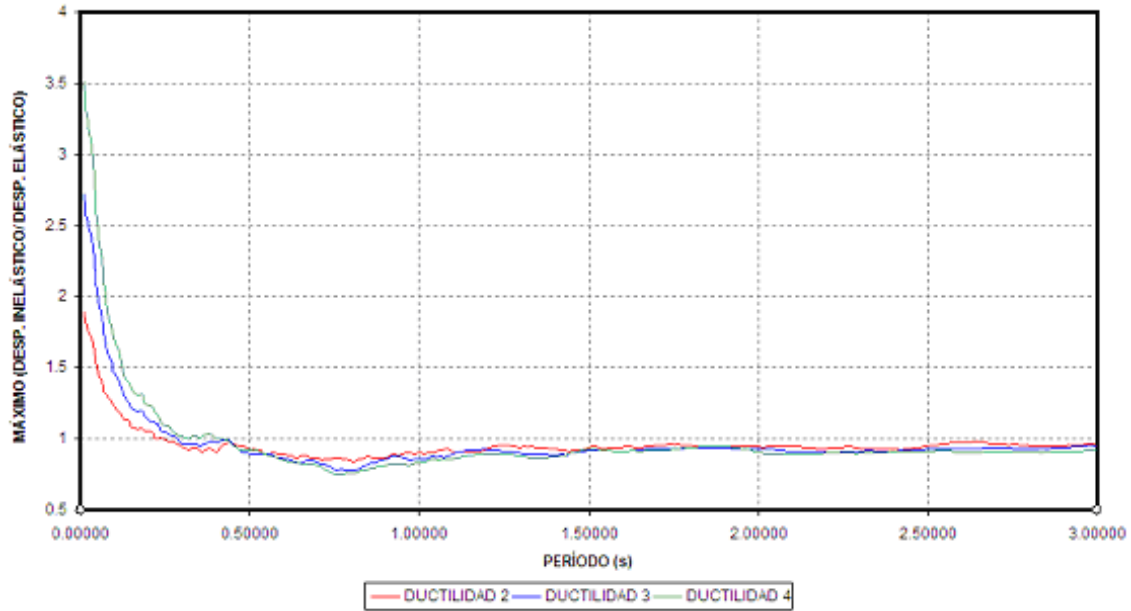
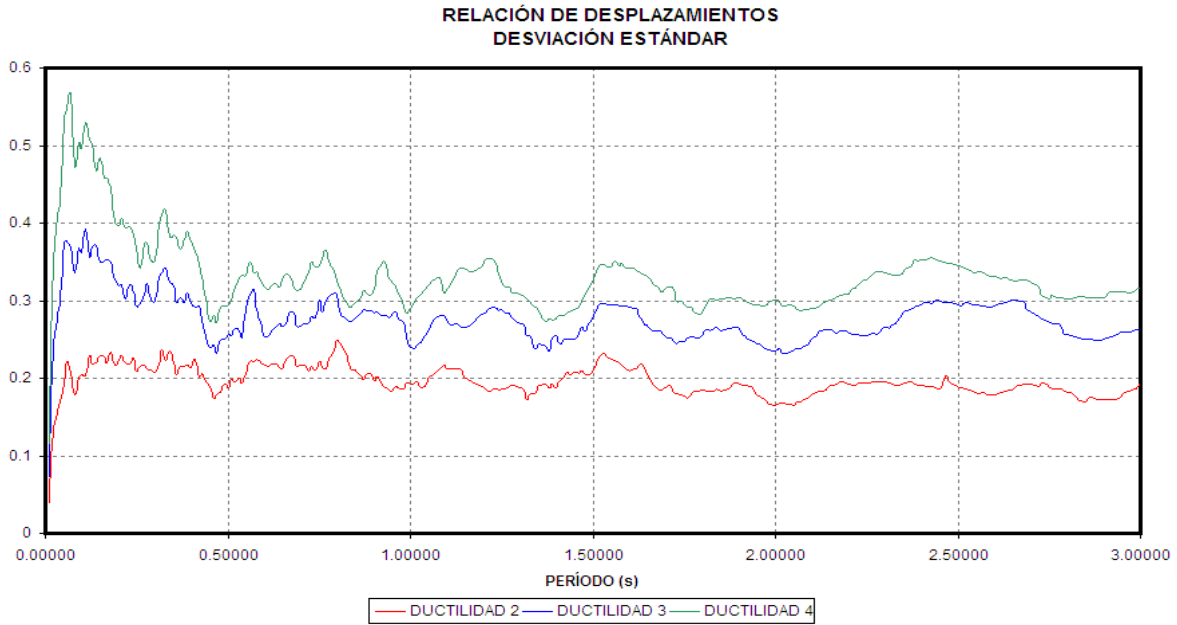


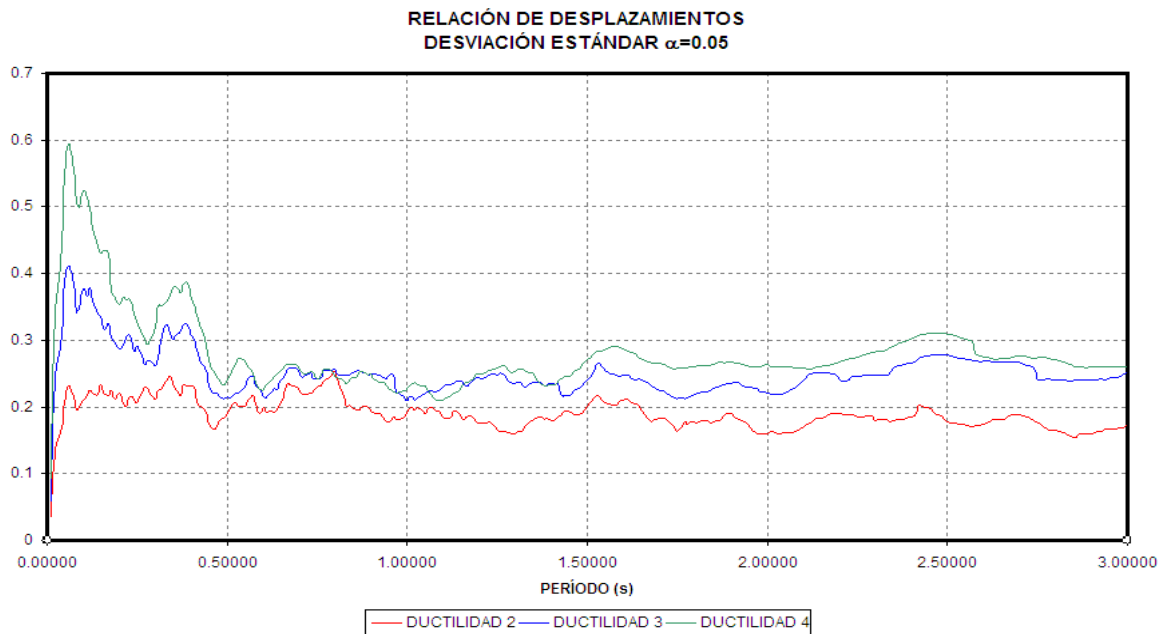
Figura 4 Valores medios de  $\beta_3$  para  $\alpha = 0.05$

## 5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

En la figura 5 se presenta la desviación estándar de  $\beta_3$  para ductilidades de 2 a 4, para  $\alpha = 0$ , y en la figura 6 lo propio pero para  $\alpha = 0.05$ . Para el primer caso se aprecia, en forma general, que la desviación estándar se encuentra entre 0.2 y 0.3; para el segundo caso se encuentra entre 0.2 y 0.25.



**Figura 5:** Valores de la desviación estándar para  $\alpha = 0$



**Figura 6:** Valores de la desviación estándar para  $\alpha = 0.05$

## 6. AJUSTE DE CURVAS

Las ecuación propuestas por Miranda (2000) se aproxima bastante bien a los datos de la figura 3, esto se debe en parte a que Miranda trabajó con un modelo elasto perfectamente plástico. En cambio la ecuación propuesta por



Nassar y Krawinkler (1991) se ajusta bastante bien a los datos de la figura 4, esto se debe a que consideraron un modelo que contempla incremento de rigidez post fluencia. De tal manera que las dos ecuaciones podrían utilizarse para evaluar el parámetro  $\beta_3$ , la primera para el caso en que  $\alpha = 0.0$  y la segunda para cuando  $\alpha = 0.05$ .

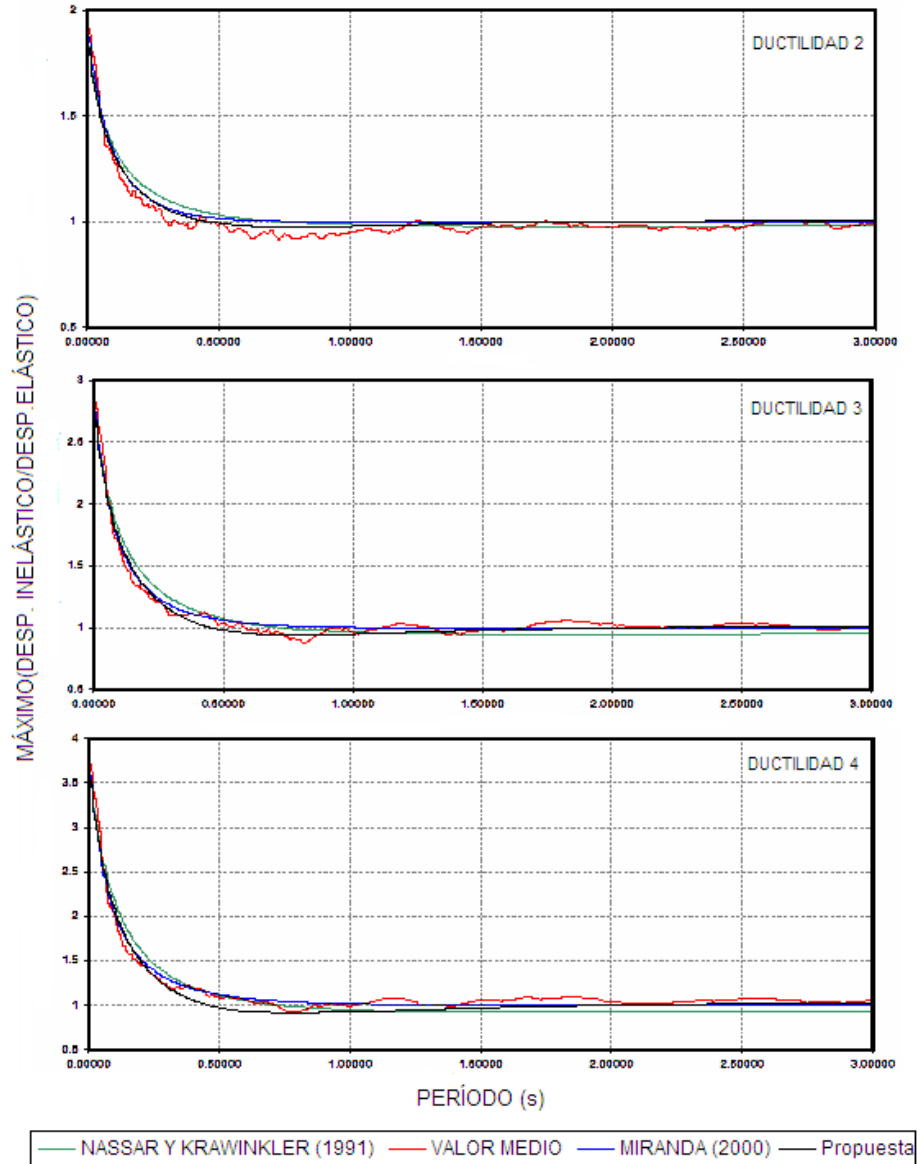
Pero para tener un mejor ajuste se decidió adoptar la forma de la ecuación de Nassar y Krawinkler y ajustar los puntos de las figuras 3 y 4. Para el efecto se utilizó el programa MATH GRAPHER que utiliza el Método de Levenberg Marquardt. Con este programa se determinó los valores de “a” y “b” que constan en la tabla 4.

**Tabla 4 :** Valores de “a” y “b” encontrados en el estudio.

$\alpha$	$a$	$b$
0.00	2.070	0.381
0.05	1.247	0.248

En la figura 7 se presentan los valores medios de  $\beta_3$  obtenidos en el estudio, la ecuación de Miranda, la ecuación de Nassar y Krawinkler y la encontrada en este estudio, denominada *...propuesta...* con los valores “a” y “b” indicados en la tabla 4; esta figura corresponde al caso de  $\alpha = 0.0$

La figura 8 es similar a la figura 7 pero con los valores de  $\alpha = 0.05$ ; en esta figura no se incluye la ecuación de Miranda debido a que el autor obtuvo la ecuación para  $\alpha = 0$ .



**Figura 7** Valores medios de  $\beta_3$  y ecuaciones de Miranda, Nassar y Krawinkler, y Propuesta.

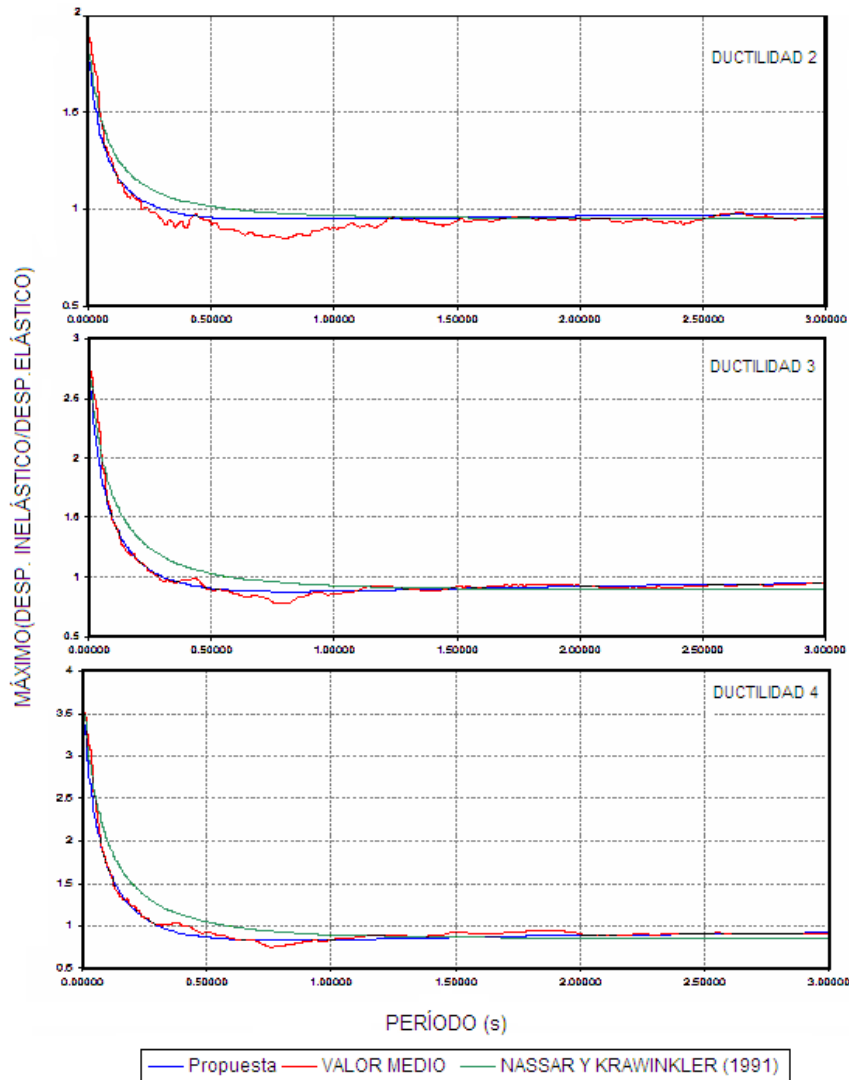
Le ecuación propuesta es la que mejor se aproxima a los valores medios de  $\beta_3$ , como se aprecia en la figura 7 y numéricamente se demuestra en la tabla 5 en que se ha presentado el error medio, que se obtiene con cada una de las ecuaciones, se define el error medio  $E_M$  de la siguiente manera:

$$E_M = \frac{\sum \sqrt{(\beta_{3EN} - \beta_{3AJ})^2}}{N} \quad (9)$$

donde  $\beta_{3EN}$  es el valor medio de  $\beta_3$  encontrado en el estudio,  $\beta_{3AJ}$  es el valor de  $\beta_3$  que se halla con la ecuación de ajuste y  $N$  es el número de puntos.

**Tabla 5** Error medio encontrado con las diferentes ecuaciones.  $\alpha = 0.0$

<b>DUCTILIDAD</b>	<b>MIRANDA (2000)</b>	<b>NASSAR (1991)</b>	<b>PROPUESTA</b>
2	0.034	0.030	0.027
3	0.032	0.063	0.031
4	0.048	0.105	0.067



**Figura 8** Valores medios de  $\beta_3$  y ecuaciones de Nassar y Krawinkler, y Propuesta.

En la tabla 6 se presentan los errores medios para el caso de  $\alpha = 0.05$ ; se aprecia que con la ecuación propuesta se tiene el menor error, en forma categórica. Para  $\alpha = 0.0$  la ecuación propuesta da muy buenos resultados para ductilidades de 2 y 3, para ductilidad de 4 la ecuación de Miranda es una mejor aproximación.

**Tabla 6** Error medio encontrado con las diferentes ecuaciones.  $\alpha = 0.05$

DUCTILIDAD	NASSAR (1991)	PROPUESTA
2	0.046	0.034
3	0.062	0.024
4	0.088	0.034

Al utilizar la ecuación propuesta por Miranda en los datos que se obtienen para  $\alpha = 0.05$ , el error medio que se obtiene, para todas las ductilidades es mayor a los indicados en la tabla 6.

## 7. CONCLUSIONES

En base a la respuesta lineal y no lineal, de sistemas de un grado de libertad, sometidas a la acción de 63 acelerogramas registrados en América del Sur, con aceleraciones mayores a 0.10 g., se ha determinado el parámetro  $\beta_3$  que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con relación al desplazamiento máximo elástico, encontrando la siguiente expresión:

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu-1)+1]^{1/c}}$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{2.07}}{1+T^{2.07}} + \frac{0.381}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.0$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^{1.247}}{1+T^{1.247}} + \frac{0.248}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.05$$

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a Mario Ordaz del Instituto de Ingeniería de la UNAM, a Rodolfo Saragoni de la Universidad de Chile, a INGEOMINAS de

Colombia, CEREDETEC de Argentina y CISMID de Perú, por sus comentarios y por habernos facilitado los registros sísmicos.

## REFERENCIAS

1. Aguiar R., y Barbat A., (1998), "Global damage index methodology for reinforced concrete building structures subjected to seismic actions", *Fourth World Congress on Computational Mechanics*, 20 p, Buenos Aires, Argentina.
2. Bertero V., Anderson J., Krawinkler H., and Miranda E., (1991), "Design guidelines for ductility and drift limits: Review of the state of the practice and state of the art in ductility and drift-based earthquake-resistant design of buildings", *Earthquake Engineering Research Center, Report No UCB/EERC-91/15*, University of California, Berkeley, California.
3. FEMA (1997), *NEHRP provisions for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency. Rep. FEMA 273 (Guidelines) and 274 (Comentary), Washington, D.C.
4. Ghobarah A., Aly N. and El-Attar M. "Performance level criteria and evaluation. A critical review of proposed guidelines. Seismic Design Methodology
5. Ghobarah A. (2004), "On drift limits associated with different damage levels", *International workshop on performance based seismic design*.

Department of Civil Engineering, Mc. Master University, June 28- July 1, 2004.

6. Gupta A., and Krawinkler H., (2000), "Estimation of seismic drift demands for frame structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**, 1287-1305.
7. Moehle J., (1992), "Displacement-based design of reinforced concrete structures" *Earthquake Spectra*, **Vol 8**, 403-428.
8. Moehle J., (1996), "Displacement-based seismic design criteria", *Proceeding of the eleventh world conference on earthquake engineering*, Acapulco, México.
9. Nassar A., and Krawinkler H., (1991), "Seismic demands for SDOF and MDOF systems", *John Blume Earthquake Engineering. Ctr. Dept. of Civil Engineering*, **Rep. 95**, Stanford University, Stanford, California.
10. Miranda E., (1997), "Estimation of maximum interstory drift demands in displacement-based design" *Seismic design methodologies for the next generation of codes*, Krawinkler H., and Fajfar P., editor, Balkema.
11. SEAOC (1995), *Vision 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings*, Structural Engineers Association of California, **Volume I**, Sacramento.

## CAPÍTULO VIII

### COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## **RESUMEN**

Se presenta información complementaria del estudio a manera de comentarios, conclusiones y recomendaciones. Se analizan los sismos impulsivos que se caracterizan fundamentalmente por tener una corta duración de su fase intensa y por no producir daño considerable a las edificaciones.

Adicionalmente se presenta la influencia de la desviación estándar en los resultados obtenidos en el proyecto y se concluye presentando las ecuaciones propuestas más las recomendaciones respectivas para su aplicación.

### **8.1 COMENTARIOS**



Durante el estudio realizado se presentaron dos interrogantes, la primera correspondiente a la variación en los espectros de desplazamiento obtenidos de los registros acelerográficos y su asociación con los sismos impulsivos; y la segunda sobre la dispersión encontrada mediante la desviación estándar para el coeficiente  $\beta_3$  y su influencia en los resultados alcanzados con el presente estudio.

### **8.1.1 SISMOS IMPULSIVOS**

Si bien los registros acelerográficos utilizados en el estudio tienen aceleraciones superiores a 0.1 g. los desplazamientos espectrales máximos calculados no presentan una relación directa con la aceleración máxima del registro como se ve en la tabla 8.1, donde se muestra el código del registro, la estación, la magnitud, la aceleración máxima del registro y el máximo desplazamiento elástico espectral calculado.

**Tabla 8.1:** Máximas aceleraciones registradas y máximos desplazamientos espectrales elásticos.

CÓDIGO	ESTACIÓN	MAGNITUD	ACELERACIÓN MÁXIMA [gals]	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO [cm]
01a	ESTACION CHARACATO	7.20	-138.5	0.91
01b	ESTACION CHARACATO	7.20	125.4	0.74
02a	ALBERTO GIESECKE MATTO	7.20	119.1	5.46
02b	ALBERTO GIESECKE MATTO	7.20	111.2	7.23
03a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	6.40	-180.6	5.14
03b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	6.40	-269.3	12.66
04	ESTACIÓN LA MOLINA	6.00	-116.8	4.51
05a	CESAR VIZCARRA VARGAS	6.90	-295.2	17.53
05b	CESAR VIZCARRA VARGAS	6.90	-234.0	18.77
06	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	6.40	-104.8	2.98
07a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	6.20	-192.5	6.83
07b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	6.20	179.0	3.47
08a	ESTACIÓN SURCO	6.20	192.3	7.00
08b	ESTACIÓN SURCO	6.20	-207.1	6.79
09a	ESTACIÓN ZARATE	6.60	-139.6	1.55
09b	ESTACIÓN ZARATE	6.60	-156.2	1.36
10a	ILOCA	7.20	-159.0	2.31
10b	ILOCA	7.20	-110.0	2.94
11	RAPEL	7.20	-108.0	5.50
12	PAPUDO	7.80	226.0	5.36
13a	LLAYLLAY	7.80	-465.0	27.19
13b	LLAYLLAY	7.80	-345.0	32.01
14a	SAN FELIPE	7.80	-303.0	13.65
14b	SAN FELIPE	7.80	425.0	11.85
15a	LLOLLEO	7.20	-167.0	2.57
15b	LLOLLEO	7.20	200.0	6.06
16a	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	437.0	13.61
16b	LLOLLEO (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	-698.0	25.19
17a	VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	-233.0	12.77
17b	VIÑA DEL MAR (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	356.0	16.51
18a	VALPARAISO EL ALMENDRAL, (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	292.0	20.55
18b	VALPARAISO EL ALMENDRAL, (UNIVERSITY OF CHILE)	7.80	-163.0	11.23
19	COLBUN	7.80	-477.0	6.02
20a	ILOCA	7.80	-221.0	3.62
20b	ILOCA	7.80	273.0	5.44
21a	MELIPILLA	7.80	-673.0	22.21
21b	MELIPILLA	7.80	518.0	18.45
22a	PICHILEMU	7.80	254.0	8.49
22b	PICHILEMU	7.80	-175.0	14.53
23a	SAN FERNANDO	7.80	285.0	23.22
23b	SAN FERNANDO	7.80	333.0	21.97
24a	SAN ISIDRO	7.80	-707.0	17.66
24b	SAN ISIDRO	7.80	696.0	14.17
25a	ZAPALLAR	7.80	-265.0	3.81
25b	ZAPALLAR	7.80	299.0	5.30
26a	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	6.00	-267.0	3.30
26b	ESCUELA EDMUNDO DE AMICIS-MENDOZA	6.00	-332.0	5.64
27a	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	6.00	184.0	3.22
27b	MUNICIPALIDAD LAS HERAS - MENDOZA	6.00	401.0	5.75
28	MUNICIPALIDAD DE MAIPU - MENDOZA	6.00	-192.0	4.66
29a	ETNA S/N 2673	4.90	439.5	1.05
29b	ETNA S/N 2673	4.90	-222.0	0.50
30a	SSA2EVT S/N 1428	4.90	164.1	0.78
30b	SSA2EVT S/N 1428	4.90	-129.0	0.57
31a	ARMENIA (CARME)	6.20	518.4	8.11
31b	ARMENIA (CARME)	6.20	-580.1	11.97
32a	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	6.20	554.9	18.34
32b	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	6.20	-477.8	23.10
33a	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	6.20	-207.8	13.21
33b	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	6.20	141.5	7.58
34a	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	3.07	132.4	0.65
34b	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	3.07	-124.8	0.34
35	ESTACION DE PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)	6.10	127.5	7.13

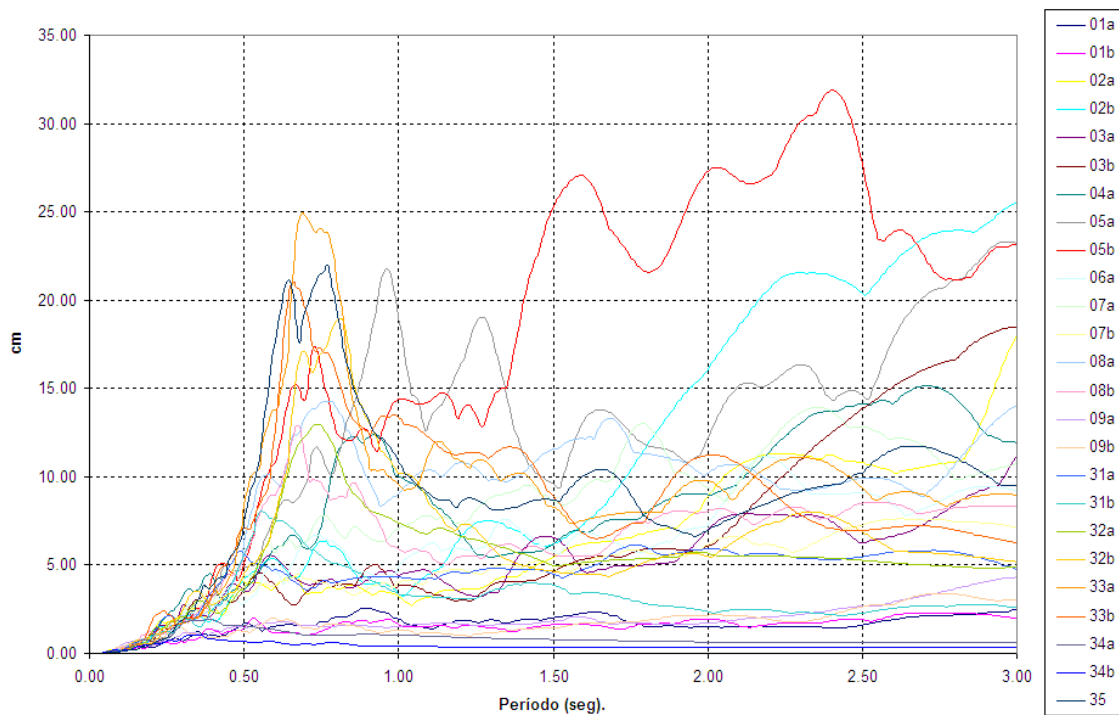
La aceleración entonces no influye directamente en el desplazamiento que genera un movimiento sísmico. Para visualizar mejor este razonamiento se tomaron 25 registros sísmicos pertenecientes a Colombia y Perú, se normalizó los registros a 0.4 g. y se obtuvo la respuesta elástica de desplazamiento como se ve en la tabla 8.2 en la que se muestra el código del registro, el nombre de la estación, el país de origen, la fecha del evento, la componente y el máximo desplazamiento espectral elástico.

**Tabla 8.2:** Registros acelerográficos normalizados a 0.4 g

CÓDIGO	ESTACIÓN	PAÍS	FECHA	COMPONENTE	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO [cm]
01a	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	E-W	2.57
01b	ESTACION CHARACATO	PERU	13/06/2005	N-S	2.31
02a	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	E-W	17.99
02b	ALBERTO GIESECKE MATTO	PERU	13/06/2005	N-S	25.53
03a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	E-W	11.17
03b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	17/10/1966	N-S	18.44
04	ESTACIÓN LA MOLINA	PERU	09/11/1974	E-W	15.15
05a	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	E-W	23.30
05b	CESAR VIZCARRA VARGAS	PERU	23/06/2001	N-S	31.87
06	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	31/05/1970	E-W	11.15
07a	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	E-W	13.92
07b	ESTACIÓN PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	N-S	7.61
08a	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	E-W	14.28
08b	ESTACIÓN SURCO	PERU	03/10/1974	N-S	12.86
09a	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	E-W	4.36
09b	ESTACIÓN ZARATE	PERU	05/01/1974	N-S	3.41
31a	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	E-W	6.14
31b	ARMENIA (CARME)	COLOMBIA	25/01/1999	N-S	8.09
32a	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	E-W	12.97
32b	ESTACIÓN DE FILANDIA (CFLAN)	COLOMBIA	25/01/1999	N-S	18.97
33a	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	E-W	24.95
33b	ESTACIÓN DE PEREIRA (CPER)	COLOMBIA	25/01/1999	N-S	21.03
34a	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	E-W	1.91
34b	ESTACIÓN DE RICAURTE (CRICA)	COLOMBIA	17/07/1998	N-S	1.06
35	ESTACIÓN DE PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)	COLOMBIA	19/02/1997	E-W	21.95

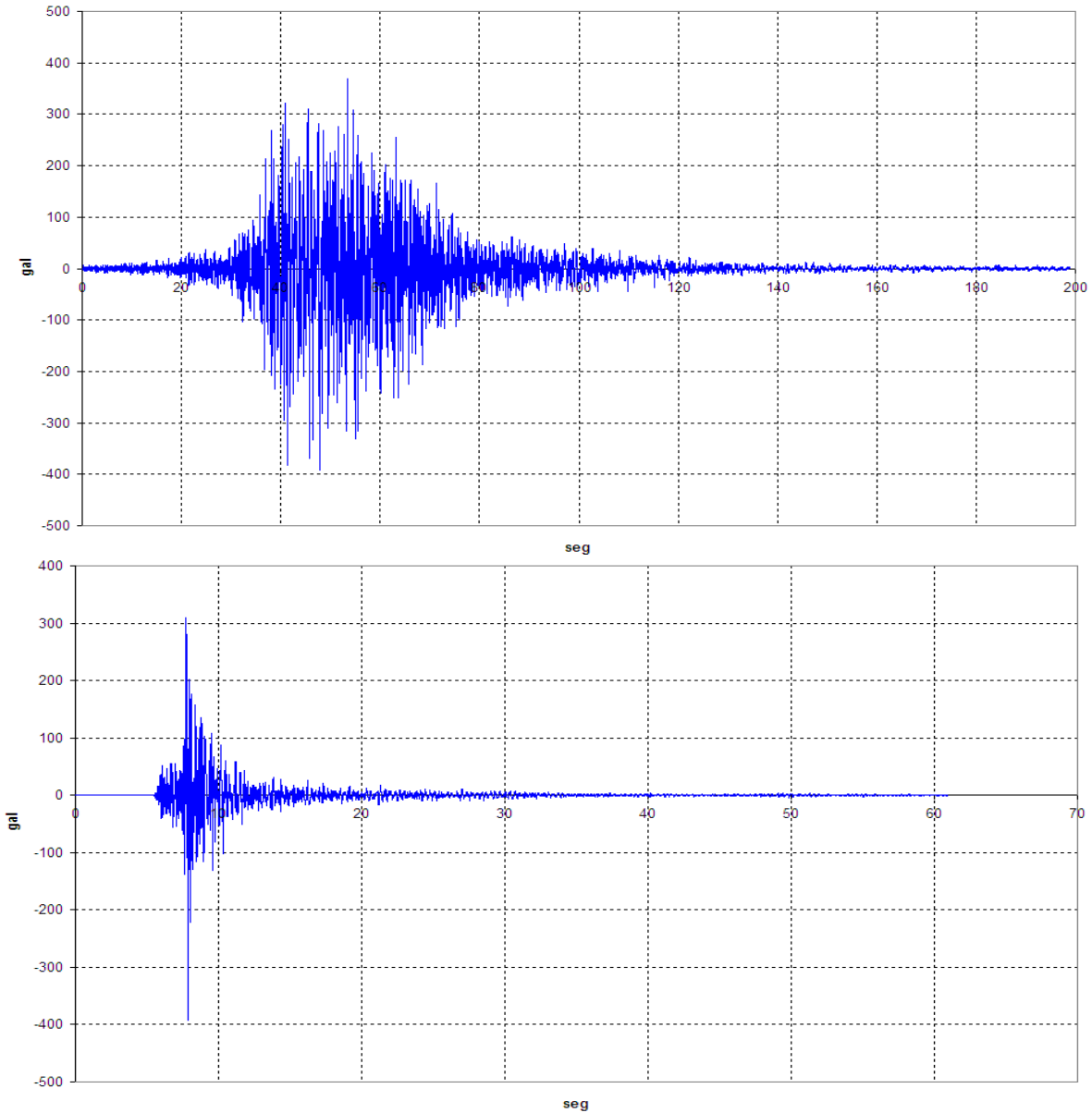
La respuesta elástica de desplazamiento calculada con los registros normalizados fue diferente para cada caso como se muestra en la figura 8.1, el acelerograma de código 05b registrado en Perú el 23 de junio del 2001 provocó el máximo desplazamiento de 31.87 cm, mientras que el acelerograma de código

34b registrado en Colombia el 17 de Julio de 1998 produjo el menor desplazamiento de 1.06 cm.



**Figura 8.1:** Espectros elásticos de desplazamiento.

Para encontrar que produce las diferencias en los espectros de desplazamiento se tomó los registros acelerográficos normalizados de código 05b y 34b, que produjeron el máximo y el mínimo desplazamiento elástico respectivamente, para compararlos y establecer diferencias; los acelerogramas de ambos registros se muestran en la figura 8.2, en la parte superior el correspondiente al registro 05b y en la parte inferior al registro 34b, las unidades en las abscisas son segundos y cm/seg/seg en las ordenadas.



**Figura 8.2:** Acelerogramas de los registros normalizados 05b y 34b respectivamente.

Las diferencias entre los acelerogramas son muy notorias, en primer lugar la duración del registro es muy distinta, el registro 05b tiene una duración de 198.92 segundos, mientras que el 34b, 61 segundos. La segunda diferencia y la más importante está en la intensidad del sismo, gráficamente se aprecia que el registro 05b es mucho más intenso que el 34b, Para confirmar esto se utilizó el programa DEGTRA que

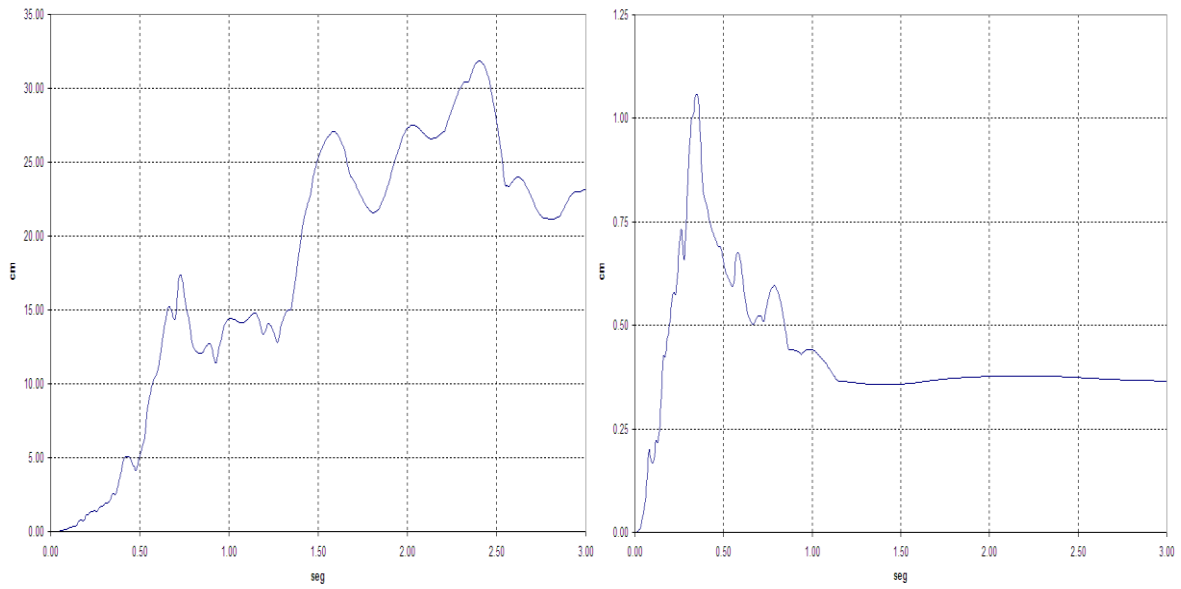
permite medir la intensidad de un sismo mediante el cálculo de la intensidad de Arias, esta opción es útil para determinar la fase fuerte y la potencia de un sismo. Los resultados obtenidos fueron:

- El valor de la intensidad, para el registro 05b fue  $4.41 \times 10^5$  (Pi/2g) y para el registro 34b fue  $2.12 \times 10^4$  (Pi/2g).
- La duración de la fase intensa fue 36 segundos para el registro 05b, mientras que para el registro 34b fue de 4.11 segundos.

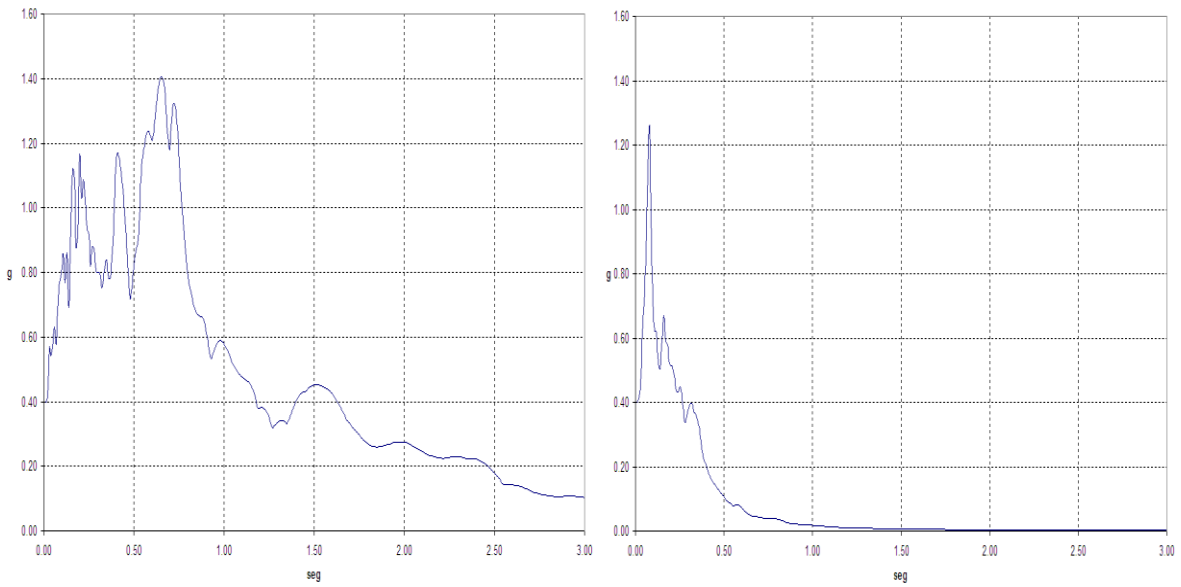
La fase intensa es la porción de la señal en que se desarrolla entre el 5% y el 95% de la intensidad de Arias total.

Por las características de los dos acelerogramas analizados se determina que el registro 34b corresponde a un sismo impulsivo, fundamentalmente por la pequeña duración de la fase intensa.

Para conocer los efectos de un sismo impulsivo se calcularon los espectros elásticos de desplazamiento y aceleración que se muestran en las figuras 8.3 y 8.4 respectivamente. En ambas figuras se aprecia a la izquierda la respuesta elástica del registro 05b y la derecha la correspondiente al registro 34b.



**Figura 8.3:** Espectros elásticos de desplazamiento de los registros 05b y 34b respectivamente.



**Figura 8.4:** Espectros elásticos de aceleración de los registros 05b y 34b respectivamente.

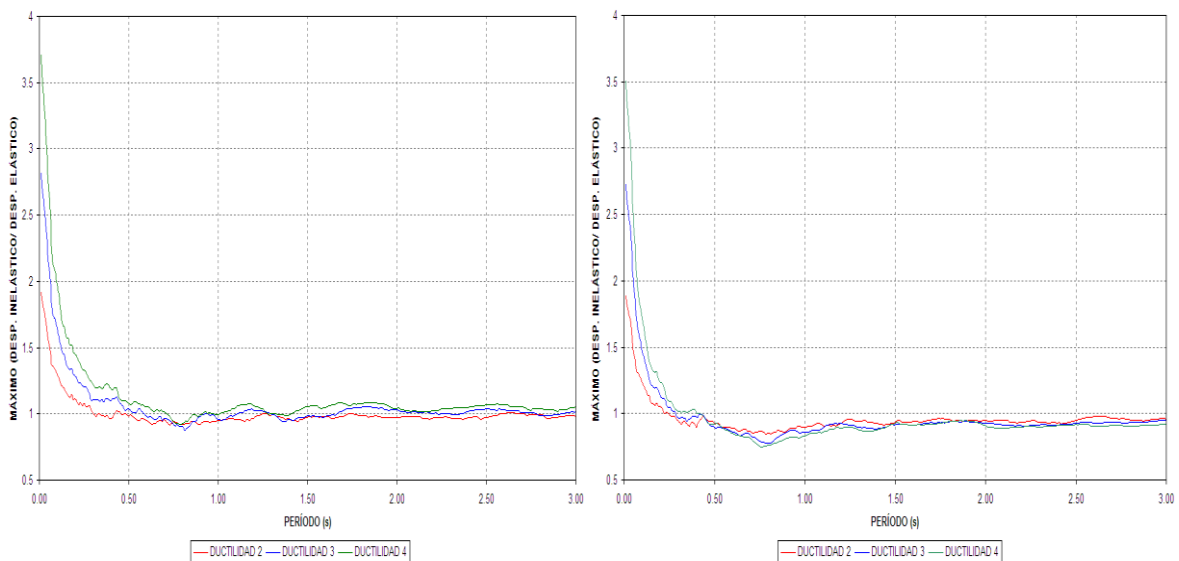
El análisis de ambos registros y sus respuestas elásticas de desplazamiento y aceleración permite comprender que un sismo impulsivo pese a

provocar una gran aceleración no produce un gran desplazamiento debido a que la duración de la fase intensa del evento es sumamente pequeña, al no producir un gran desplazamiento se puede deducir que este tipo de sismos no producen daño considerable en las edificaciones.

### 8.2.1 DESVIACIÓN ESTANDAR

El análisis de la dispersión de datos resulta muy importante en este estudio, ya que permite conocer como el coeficiente  $\beta_3$  calculado utilizando los valores medios pueden variar ante determinada acción sísmica.

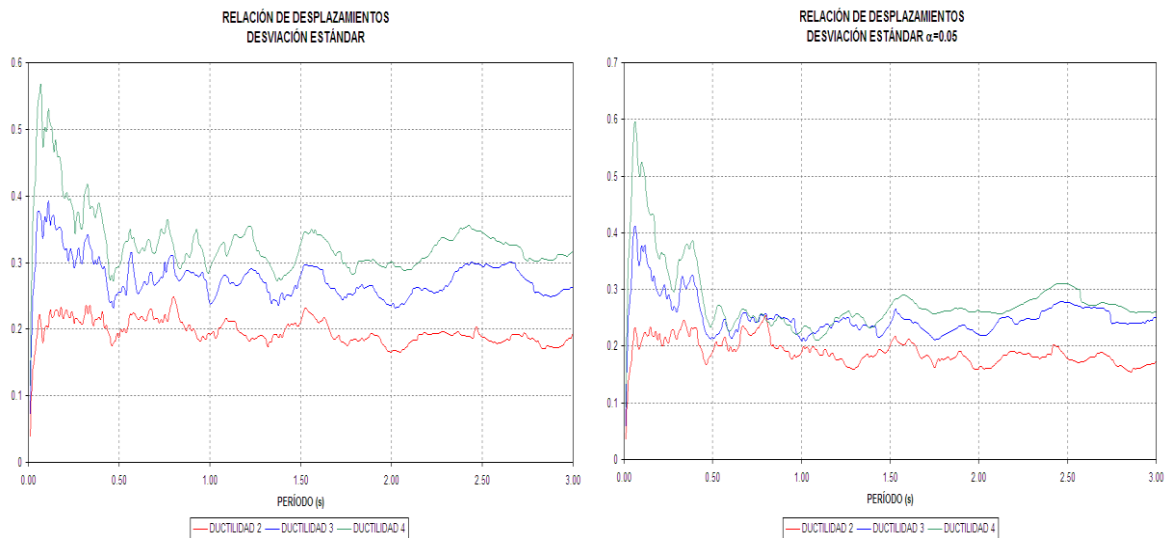
Los valores medios del coeficiente  $\beta_3$  se observan en la figura 8.5 tanto para  $\alpha=0$  y para  $\alpha=5\%$ , se nota en ambas gráficas que a partir del período 0.5 segundos la relación entre espectros es aproximadamente 1 aunque como se ve en la figura existen mínimas variaciones a rededor de este valor.





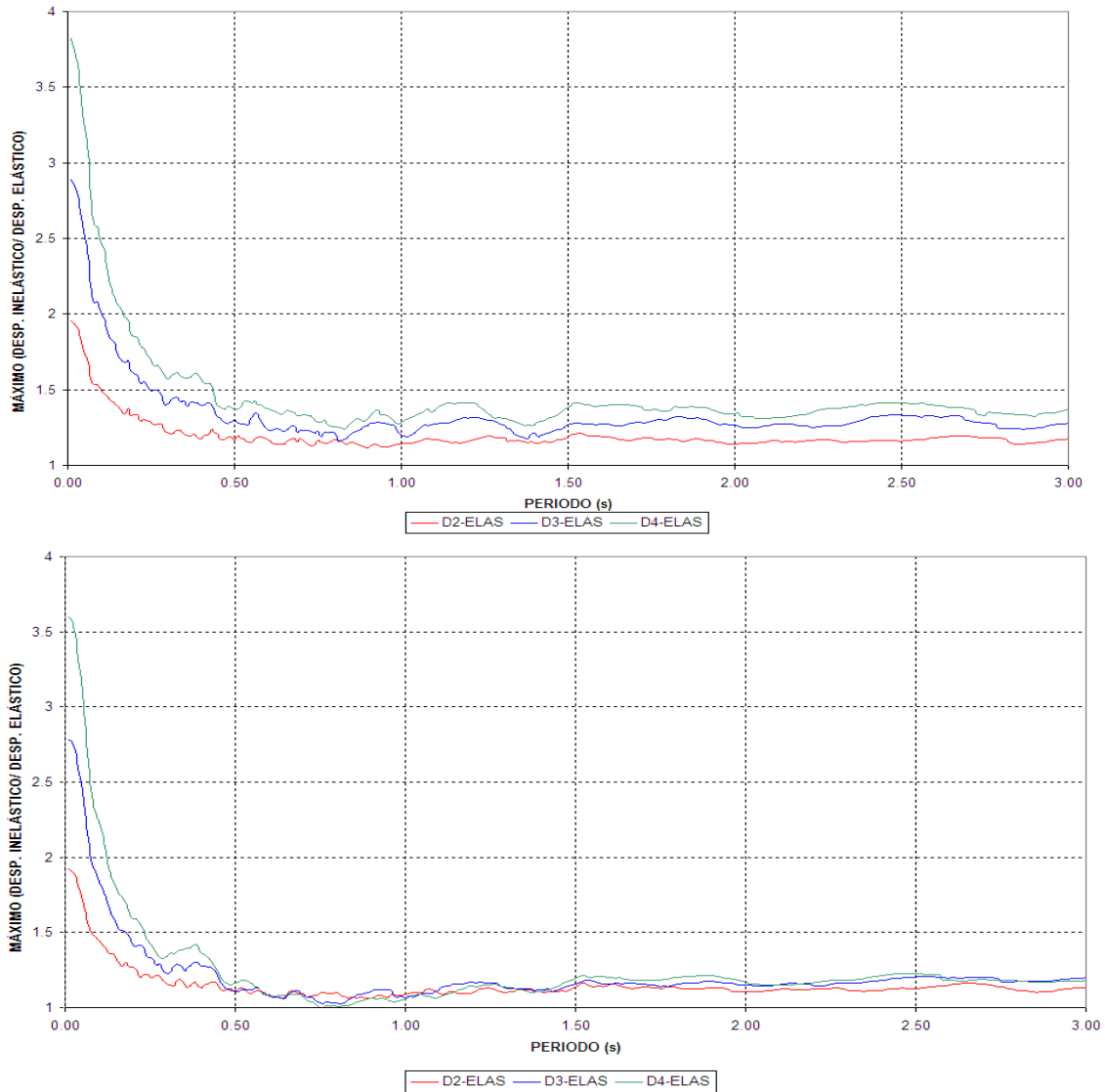
**Figura 8.5:** Valores medios del coeficiente  $\beta_3$  para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

La desviación estándar que se muestra en la figura 8.6 indica la dispersión del coeficiente  $\beta_3$  en el presente estudio. Se nota que a medida que la ductilidad crece la dispersión también; para períodos posteriores a 0.5 segundos para  $\alpha=0$  e igualmente para  $\alpha=5\%$ , la desviación está al rededor de 0.15 para una ductilidad igual a 2 y 0.3 para una ductilidad de 4.



**Figura 8.6:** Desviación estándar del coeficiente  $\beta_3$  para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

La influencia de la desviación estándar en el coeficiente  $\beta_3$  se puede ver en la figura 8.7 en la que se presenta gráficamente los valores medios más una desviación estándar. En la parte superior para  $\alpha=0$  y en la inferior para  $\alpha=5\%$ .



**Figura 8.7:** Valores medios más una desviación estándar del coeficiente  $\beta_3$  para  $\alpha=0$  y  $\alpha=5\%$  respectivamente.

Al sumar una desviación estándar a los valores medios se aprecia como para periodos posteriores a 0.5 segundos el coeficiente  $\beta_3$  alcanza un valor aproximado de 1.1 para ductilidad 2 y 1.3 para ductilidad 4.

## 8.2 CONCLUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue determinar el factor  $\beta_3$ , que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con el desplazamiento máximo elástico, a partir de registros acelerográficos obtenidos en América del sur para ser utilizado en la metodología para la evaluación rápida del Drift.

Se utilizaron 63 acelerogramas con aceleraciones mayores a 0.10 g. y se determinó la respuesta lineal y no lineal, de sistemas de un grado de libertad. La relación encontrada para el factor  $\beta_3$  es:

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}}$$
$$c(T, \alpha) = \frac{T^{2.07}}{1 + T^{2.07}} + \frac{0.381}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.0$$
$$c(T, \alpha) = \frac{T^{1.247}}{1 + T^{1.247}} + \frac{0.248}{T} \quad \text{para } \alpha = 0.05$$

FEMA (1997) y Whittaker et al (1998) recomiendan que al sumar una desviación estándar a los valores medios ya se tiene valores suficientemente conservadores para ductilidades de 6 o menores, por lo que si se desea ser conservador en el cálculo de  $\beta_3$  se puede sumar a los valores obtenidos con la ecuación propuesta el valor de 0.3.

### 8.3 RECOMENDACIONES

Los registros acelerográficos utilizados en el presente estudio se obtuvieron gracias a la Ingeniera María Luisa Bermudez del INGEOMINAS de Colombia, Miguel Tornello del CEREDETEC de Argentina y el CISMID de Perú, más una búsqueda en Internet para obtener los registros Chilenos. La colaboración de estas personas e instituciones hicieron posible que este estudio se pueda realizar, lastimosamente no puedo decir lo mismo de la Politécnica Nacional y de algunos ingenieros ecuatorianos que guardan celosamente los registros acelerográficos.

Uno de los objetivos iniciales del proyecto fue recolectar la mayor cantidad de registros acelerográficos para que puedan ser utilizados para nuevas investigaciones, los 63 registros acelerograficos están en el CD anexo al proyecto escrito. Mi recomendación es que quien llegue a tener los registros en un futuro los comparta con quien los necesite y no los guarde para el solo.

La idiosincrasia de ciertos ecuatorianos es uno de los factores que limitan el avance de la investigación en el Ecuador, aprendamos de otras instituciones e investigadores consientes de que el beneficio de la investigación no es individual sino colectivo y no cerremos la puerta de la información a otros investigadores ya que en sus manos esta el avance tecnológico del mundo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar R., y Barbat A., (1998), "Global damage index methodology for reinforced concrete building structures subjected to seismic actions", *Fourth World Congress on Computational Mechanics*, 20 p, Buenos Aires, Argentina.
2. Aguiar R., (2001), Programa CEINCI 2 para la evaluación sísmica en países bolivarianos, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 302 p, Quito
3. Aguiar R., (2003), Análisis Sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 342 p, Quito.
4. Aguiar R., (2005), Análisis del Método del Coeficiente de Desplazamiento, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 24 p, Quito.
5. Aguiar R. (b), (2005), Evaluación Rápida del Drift en un Edificio de H.A., Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 14 p, Quito.
6. Alberto Sarria (1990), Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes, 610p, Bogotá Colombia.
7. Algan B., (1982), Drift and damage considerations in earthquake resistant design of reinforced concrete buildings, Ph.D thesis, University of Illinois, Urbana. Illinois.
8. Bazán / Meli (2003), Diseño sísmico de edificios, Editorial Limusa, 317p, México D.F.

9. Bertero V., Anderson J., Krawinkler H., and Miranda E., (1991), "Design guidelines for ductility and drift limits: Review of the state of the practice and state of the art in ductility and drift-based earthquake-resistant design of buildings", *Earthquake Engineering Research Center, Report No UCB/EERC-91/15*, University of California, Berkeley, California.
10. FEMA (1997), NEHRP provisions for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency. Rep. FEMA 273 (Guidelines) and 274 (Comentary), Washington, D.C.
11. Ghobarah A., Aly N. and El-Attar M. (1997) "Performance level criteria and evaluation. A critical review of proposed guidelines. Seismic Design Methodology.
12. Ghobarah A. (2004), "On drift limits associated with different damage levels", *International workshop on performance based seismic design*. Department of Civil Engineering, Mc. Master University, June 28- July 1, 2004.
13. Gupta A., and Krawinkler H., (2000), "Estimation of seismic drift demands for frame structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**, 1287-1305.
14. Haro A., (2002), "Manual práctico del programa DEGTRA A4", Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 17 p.
15. Miranda E., (1997), "Estimation of maximum interstory drift demands in displacement-based design" *Seismic design methodologies for the next generation of codes*, Krawinkler H., and Fajfar P., editor, Balkema.

16. Miranda E., (1999) "Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings", *Journal of Structural Engineering*, 125(4), 417-425.
17. Miranda E. (2000), "Inelastic displacement ratios for structures on firm sites", *Journal of Structural Engineering*, 126 (10), 1150-1159.
18. Miranda E., Reyes C., (2002), "Aproximate lateral drift demands in multistory buildings with nonuniform stiffness", *Journal of Structural Engineering*, 128 (7), 840-849.
19. Moehle J., (1992), "Displacement-based design of reinforced concrete structures" *Earthquake Spectra*, **Vol 8**, 403-428.
20. Moehle J., (1996), "Displacement-based seismic design criteria", *Proceeding of the eleventh world conference on earthquake engineering*, Acapulco, México.
21. Nassar A., and Krawinkler H., (1991), "Seismic demands for SDOF and MDOF systems", *John Blume Earthquake Engineering. Ctr. Dept. of Civil Engineering*, **Rep. 95**, Stanford University, Stanford, California.
22. Ordaz M., (2002), "Manual del Programa DEGTRA A4". *Revista Ciencia*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. 127-146, 5 (2) .
23. Raymold Foltz, (2004), *Estimating seismic damage and repair costs*, The Citadel, Texas A&M, Agosto 2004.
24. SEAOC (1995), *Vision 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings*, Structural Engineers Association of California, **Volume I**, Sacramento.

25. Vallejo X, (2002), "Generación de sismogramas sintéticos", Tesis de Ingeniería Civil, Escuela politécnica del Ejército.
26. Whittaker A., Costantinou M., and Tsopelas P., (1998), "Displacement estimates for performance – Based Seismic Desing" , Journal of Structural Engineering, 124 (8), 9905-912.