

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE LAS  
FUERZAS SÍSMICAS POR DUCTILIDAD  $R\mu$ ,  
CONSIDERANDO EL TIPO DE SUELO”

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

TNTE. ARAGÓN TACO JOFFRE EDUARDO

SANGOLQUÍ, Febrero del 2007.

## RESUMEN

La preocupación incesante de los investigadores siempre ha sido la de obtener estructuras seguras, para así salvaguardar la vida humana y porque no, los bienes materiales; es por ello que en esta tesis se presenta un estudio del factor de reducción de las fuerzas Sísmicas  $R_{\mu}$  tomando en cuenta el tipo de suelo, ya que los valores que se anotan en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000, están sobrevalorados es decir se emplea un valor R muy alto, con lo cual se subdimensiona la peligrosidad sísmica.

En el presente trabajo se obtienen relaciones entre los desplazamientos máximos inelásticos con respecto a los desplazamientos máximos elásticos, tomando en cuenta el tipo de suelo; en base a 112 sismos artificiales y 80 sismos registrados en el Ecuador, mismos que son compatibles con los espectros de diseño elástico del Código Ecuatoriano de la Construcción.

También se realiza un ajuste de curvas y la propuesta del corregido valor de  $R_{\mu}$ .

## ABSTRACT

It has always been an incessant preoccupation for investigators to obtain safe structures, thus safeguarding human life and why not, material goods; it is for that reason that in this thesis a study of the factor of reduction for the Seismic forces  $R_{\mu}$  appears, taking into account the type from ground, since the values which are written in the Ecuadorian Code of Construction CEC 2000, are overvalued; that is to say, a very high value R is used, with which the seismic danger is subdetermined.

In the present work relations between the inelastic total displacements with respect to the elastic total displacements are obtained, taking in account whatever is the type of ground; on the basis of 112 artificial earthquakes and 80 earthquakes registered in Ecuador, same that are compatible with the elastic design spectrum of the Ecuadorian Code of Construction.

Also an adjustment of curves is made and the proposal of the corrected value of.

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el **Sr. TNTE. ARAGÓN TACO JOFFRE EDUARDO** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, febrero del 2007

-----  
Dr. Roberto Aguiar Falcón  
DIRECTOR

-----  
Ing. Marcelo Romo Proaño, Msc.  
CODIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A mi mamita Clemencia y a mi papito Luis, ya que ellos mediante su abnegación y esfuerzo han sabido guiarme en todo momento, han estado conmigo apoyándome y levantándome cuando lo he necesitado. Su amor y bendiciones me ha hecho vencer barreras para llegar hasta donde ahora estoy.

A mis hermanas Geovita y Verito, que han sido mis amigas y consejeras, su apoyo incondicional también ha sido pilar fundamental en mi vida diaria.

A mi ñaña Faby, quien con su apoyo también a colaborado conmigo en este largo camino.

Eduardo Aragón Taco.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial al Ing. Walter Mera, de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, por habernos facilitado los sismos reales que en esta tesis se utilizó, su aporte es muy satisfactorio de poderlo reconocer.

A mis directores, el Dr. Roberto Aguiar Falconí y al Ing. Marcelo Romo Proaño, profesores y amigos que me impartieron sus conocimientos y me apoyaron para la culminación de mi carrera.

A cada uno de los docentes que supieron con sus consejos y enseñanzas influir en mí durante toda la carrera.

Eduardo Aragón Taco.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPITULO I

#### FACTOR DE REDUCCIÓN R DE LAS FUERZAS SISMICAS

1.1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.2	DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	3
1.3	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE COLOMBIA DE 1998.....	7
1.4	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE PERÚ DEL 2003.....	10
1.5	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE VENEZUELA.....	12
1.6	NUEVA FILOSOFÍA DE CALCULO.....	13
1.6.1	FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD.....	15
1.6.2	FACTOR DE REDUCCIÓN POR RESISTENCIA.....	18
1.6.3	FACTOR DE REDUCCIÓN POR REDUNDANCIA.....	21

### CAPITULO II

#### GENERACIÓN DE SISMOS ARTIFICIALES Y RECOPIACIÓN DE ACELEROGRAMAS

2.1	NECESIDAD DE GENERAR SISMOS ARTIFICIALES.....	24
2.2	USO DEL PROGRAMA SYNPRO.....	24
2.3	DETALLE DE LOS SISMOS ARTIFICIALES GENERADOS.....	26
2.4	DETALLE DE SISMOS REALES REGISTRADOS Y NORMALIZACIÓN DE LOS MISMOS.....	28
2.5	LISTADO DE ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES Y RECOPIADOS.....	31

### CAPITULO III

#### ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO ELÁSTICOS

3.1	MARCO TEÓRICO.....	55
-----	--------------------	----

3.2	USO DEL PROGRAMA DEGTRA.....	56
3.3	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.15g.....	59
3.3.1	ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S1.....	59
3.3.2	ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S2.....	64
3.3.3	ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S3.....	64
3.3.4	ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S4.....	65
3.4	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.25g.....	65
3.5	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.30g.....	67
3.6	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.40g.....	69

## **CAPITULO IV**

### **ESPECTROS INELASTICOS DE DESPLAZAMIENTOS**

4.1	MARCO TEÓRICO.....	73
4.2	USO DEL PROGRAMA DEGTRA.....	74
4.3	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 2.....	75
4.4	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 3.....	83
4.5	ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 4.....	91

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD**

5.1	IMPORTANCIA DE CONSIDERAR TIPO DE SUELO.....	101
5.2	PRESENTACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS EN EL EXTERIOR.....	101
5.3	PRESENTACIÓN DE DATOS ENCONTRADOS EN EL ESTUDIO.....	102
5.4	AJUSTE DE CURVAS .....	127
5.5	RESULTADOS.....	131

5.6 VALORES MEDIOS Y DESVIACIÓN ESTANDAR..... 132

**CAPITULO VI**

**COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....135

**BIBLIOGRAFÍA.....171**



## **LISTADO DE TABLAS**

### **CAPITULO I**

#### **FACTOR DE REDUCCIÓN R DE LAS FUERZAS SISMICAS**

Tabla 1.1 Espesores de perfil tipo S3.

Tabla 1.2 Valores Factor Z

Tabla 1.3 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, impuestas por CEC 2000.

Tabla 1.4 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R (Colombia)

Tabla 1.5 Factores de Zona

Tabla 1.6 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R

Tabla 1.7 Valores de  $A_0$

Tabla 1.8 Factores de reducción R

Tabla 1.9 Sismos recomendados por el Comité VISION 2000

Tabla 1.10 Valores de  $R_R$  del ATC

### **CAPITULO II**

#### **GENERACIÓN DE SISMOS ARTIFICIALES Y RECOPIACIÓN DE ACELEROGRAMAS**

Tabla 2.1 Valores de intervalos y duraciones

Tabla 2.2 Datos de los acelerogramas utilizados en el estudio

### **CAPITULO III**

#### **ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO ELÁSTICOS**

Tabla 3.1 Parámetros del Espectro elástico

Tabla 3.2 Códigos para gráficos de espectros elásticos e inelásticos.

### **CAPITULO IV**

#### **ESPECTROS INELASTICOS DE DESPLAZAMIENTOS**

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD**

Tabla 5.1 Valore de ajuste sismos reales ductilidad 2 S1

Tabla 5.2 Resultado final de coeficientes.

## **CAPITULO VI**

### **COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **LISTADO DE FIGURAS**

### **CAPITULO I**

#### **FACTOR DE REDUCCIÓN R DE LAS FUERZAS SISMICAS**

- Figura 1.1 Zonificación Sísmica del Ecuador
- Figura 1.2 Zonificación Sísmica de Colombia
- Figura 1.3 Zonificación Sísmica del Perú
- Figura 1.4 Zonificación sísmica de Venezuela
- Figura 1.5 Relación Fuerza Desplazamiento. Regla de igual desplazamiento
- Figura 1.6 Diferencia de ductilidad
- Figura 1.7 Relación Fuerza Desplazamiento. Regla de igual energía
- Figura 1.8 Modelo elasto perfectamente plástico (Acero)
- Figura 1.9 Modelo de bloque del ACI (hormigón)
- Figura 1.10 Modelo real del acero
- Figura 1.11 Modelo real del hormigón

### **CAPITULO II**

#### **GENERACIÓN DE SISMOS ARTIFICIALES Y RECOPIACIÓN DE ACELEROGRAMAS**

- Figura 2.1 Muestra programa SYNPRO fila 1
- Figura 2.2 Muestra programa SYNPRO fila 2
- Figura 2.2 Muestra programa SYNPRO fila 3
- Figura 2.3 Muestra valor absoluto y máximo valor.
- Figura 2.4 Muestra Datos obtenidos
- Figura 2.5 Acelerograma 1s1.015
- Figura 2.6 Espectro 1s1.015
- Figura 2.7 Acelerograma 201E.015
- Figura 2.8 Espectro 201E.015

## **CAPITULO III**

### **ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO ELÁSTICOS**

Figura 3.1 Espectro Elástico del CEC 2000

Figura 3.2 Ventana programa DEGTRA A4.

Figura 3.3 Ventana tipo de archivo DEGTRA A4.

Figura 3.4 Acelerograma mostrado por DEGTRA A4

Figura 3.5 Ventana espectro elástico DEGTRA A4.

Figura 3.6 Espectro de respuesta DEGTRA A4

Figura 3.7 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s1

Figura 3.8 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s2

Figura 3.9 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s3

Figura 3.10 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s4

Figura 3.11 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s1 - 0.25g

Figura 3.12 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s2 - 0.25g

Figura 3.13 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s3 - 0.25g

Figura 3.14 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s4 - 0.25g

Figura 3.15 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s1 - 0.30g

Figura 3.16 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s2 - 0.30g

Figura 3.17 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s3 - 0.30g

Figura 3.18 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s4 - 0.30g

Figura 3.19 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s1 - 0.40g

Figura 3.20 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s2 - 0.40g

Figura 3.21 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s3 - 0.40g

Figura 3.22 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos s4 - 0.40g

## **CAPITULO IV**

### **ESPECTROS INELASTICOS DE DESPLAZAMIENTOS**

Figura 4.1 Espectro inelástico del CEC

Figura 4.2 Ventana del espectro inelástico.

Figura 4.3 Espectro inelástico de desplazamiento.

Figura 4.4 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1.

- Figura 4.5 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2
- Figura 4.6 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3
- Figura 4.7 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4
- Figura 4.8 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1
- Figura 4.9 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2
- Figura 4.10 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3
- Figura 4.11 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4
- Figura 4.12 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1
- Figura 4.13 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2
- Figura 4.14 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3
- Figura 4.15 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4
- Figura 4.16 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1
- Figura 4.17 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2
- Figura 4.18 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3
- Figura 4.19 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4
- Figura 4.20 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1
- Figura 4.21 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2
- Figura 4.22 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3
- Figura 4.23 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4
- Figura 4.24 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1
- Figura 4.25 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2
- Figura 4.26 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3
- Figura 4.27 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4
- Figura 4.28 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1
- Figura 4.29 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2
- Figura 4.30 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3
- Figura 4.31 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4
- Figura 4.31 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1
- Figura 4.32 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2
- Figura 4.33 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3
- Figura 4.34 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4
- Figura 4.35 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1
- Figura 4.36 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2
- Figura 4.37 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3

- Figura 4.38 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4
- Figura 4.39 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1
- Figura 4.40 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2
- Figura 4.41 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3
- Figura 4.42 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4
- Figura 4.43 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1
- Figura 4.44 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2
- Figura 4.45 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3
- Figura 4.46 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4
- Figura 4.47 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1
- Figura 4.48 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2
- Figura 4.49 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3
- Figura 4.50 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4

## CAPITULO V

### PROPUESTA DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD

- Figura 5.1 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo s1
- Figura 5.2 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo s2
- Figura 5.3 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo s3
- Figura 5.4 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo s4
- Figura 5.5 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo s1
- Figura 5.6 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo s2
- Figura 5.7 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo s3
- Figura 5.8 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo s4

Figura 5.9 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo s1

Figura 5.10 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo s2

Figura 5.11 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo s3

Figura 5.12 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo s4

Figura 5.13 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo s1

Figura 5.14 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo s2

Figura 5.15 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo s3

Figura 5.16 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo s4

Figura 5.17 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo s1

Figura 5.18 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo s2

Figura 5.19 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo s3

Figura 5.20 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo s4

Figura 5.21 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo s1

Figura 5.22 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo s2

Figura 5.23 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo s3

Figura 5.24 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo s4

Figura 5.25 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo s1

Figura 5.26 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo s2

Figura 5.27 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo s3

Figura 5.28 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo s4

Figura 5.29 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo s1

Figura 5.30 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo s2

Figura 5.31 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo s3

Figura 5.32 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo s4

Figura 5.33 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo s1

Figura 5.34 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo s2

Figura 5.35 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo s3

Figura 5.36 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo s4

Figura 5.37 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo s1

Figura 5.38 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo s2

Figura 5.39 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo s3

Figura 5.40 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo s4



Figura 5.41 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo s1

Figura 5.42 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo s2

Figura 5.43 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo s3

Figura 5.44 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo s4

Figura 5.45 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo s1

Figura 5.46 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo s2

Figura 5.47 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo s3

Figura 5.48 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo s4

Figura 5.49 Valores medios para  $\alpha = 0$  s1, s2, s3

Figura 5.50 Valores medios para  $\alpha = 0$  s4

Figura 5.51 Valores de desviación estándar para  $\alpha = 0$

## CAPITULO VI

### COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Figura 6.1 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S1

Figura 6.2 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S2

Figura 6.3 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S3

Figura 6.4 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S4

Figura 6.5 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S1

Figura 6.6 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S2

Figura 6.7 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S3

Figura 6.8 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S4

Figura 6.9 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S1

Figura 6.10 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S2

Figura 6.11 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S3

Figura 6.12 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S4

## CAPITULO I

### FACTOR DE REDUCCIÓN $R$ DE LAS FUERZAS SISMICAS

#### RESUMEN

Se inicia justificando la importancia de un estudio más profundo del Factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, debido a la falta de seguridad en algunos casos y al sobredimensionamiento de los elementos estructurales en otros.

Se realiza una descripción del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000, en cuanto al factor de Reducción  $R_{\mu}$ , además se verifica los códigos de Colombia, Perú y Venezuela en cuanto a este tema.

Se incluye también una descripción de la nueva filosofía de cálculo, para finalmente realizar un estudio de los diferentes componentes del Factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas como son: el Factor de Reducción por Ductilidad, el Factor de Reducción por Resistencia y el Factor de Reducción por Redundancia.

## 1.7 INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los códigos prescribe un espectro de diseño elástico y a partir de este se halla el espectro de diseño inelástico dividiendo el espectro elástico para un factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R$ . si se emplea un factor  $R$  muy alto se trabajarán con fuerzas sísmicas muy bajas y se estará subdimensionado la peligrosidad sísmica, por lo tanto se obtendrá estructuras muy vulnerables.

Por otra parte si se trabaja con valores de  $R$  muy bajos las fuerzas sísmicas que se obtengan serán muy altas y conducirá a tener estructuras sumamente reforzadas demandando esto un costo alto.

Para evitar el subdimensionar la acción sísmica o sobredimensionar la acción sísmica es necesario definir con propiedad el valor de  $R$ . en las normativas sísmicas que datan de hace más de 10 años el valor de  $R$  responde más a criterios cualitativos. En efecto en base a comportamiento que han tenido las estructuras en el pasado se han propuesto valores de  $R$ .

En las normativas sísmicas recientes el valor de  $R$  responde a valores cuantitativos al menos esa es la tendencia mundial, por este motivo es que se han realizado y se están realizando varias investigaciones en el mundo sobre esta temática.

El código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000 editado en el año 2000, que es ley de la republica, tiene estipulado valores de  $R$  muy altos para diferentes tipologías estructurales de tal forma que la acción sísmica está subvalorada. Se está diseñando para fuerzas sísmicas muy bajas debido a que el factor  $R$  es muy alto.

Con el propósito de compara estos valores con otros códigos en los apartados posteriores se indican los recomendados por las normativas sísmicas de Perú,

Colombia y Venezuela y se aprecia que los valores  $R$  de nuestro código son los más altos.

El factor  $R$  como se verá posteriormente es el producto de tres factores que son  $R_{\mu}, R_R, R_S$ .

Esta fue la motivación principal que dio origen al desarrollo de esta tesis, tratar de tener una propuesta para el factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad  $R_{\mu}$ .

## 1.8 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN

El código Ecuatoriano de la Construcción es un documento que hace referencia a ciertos parámetros y normativas que deben cumplirse como requisitos mínimos básicos para el diseño; entre estos requisitos están los diseños sismo – resistentes que entre otras cosas procuran lo siguiente:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales ante terremotos pequeños y frecuentes, moderados y poco frecuentes, severos que puedan ocurrir durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes y también la protección de la propiedad.

El Código Ecuatoriano de la Construcción hace referencia también a un estudio sísmico del Ecuador así como ciertos criterios que tienen que ver con la uniformidad del peligro de algunas zonas del país ya que por nuestra ubicación el Ecuador está situado en una extensión donde la placa de Nazca está en una subducción dentro de la placa Sudamericana razón por la cual existe gran generación de energía sísmica.

Los requisitos y procedimientos que sigue este código toman en cuenta la zona sísmica del Ecuador donde será edificada la estructura, el tipo y características

de suelo, el uso destino e importancia que tenga la obra, y la configuración estructural a utilizarse.

El código también divide al Ecuador en cuatro zonas sísmicas, expresado en la Fig. 1.1, de las cuales se obtiene el valor del factor de zona Z expresado en la tabla 1.1, el cual representa la aceleración máxima esperada para el sismo de diseño, expresada como aceleración de la gravedad.

Los tipos de perfiles de suelo se clasifican de la siguiente manera:

- Perfil tipo S1: Roca o suelo firme. Corresponden las rocas y suelos endurecidos con periodos fundamentales de vibración menores a 0,20 s. Dentro de este tipo de perfil se incluyen los siguientes tipos de suelo:
  - Roca sana o parcialmente alterada, con resistencia a la compresión no confinada mayor o igual a  $5 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - Gravas arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas.
  - Suelos cohesivos duros con resistencia al corte en condiciones no drenadas mayores a  $1 \text{ Kg/cm}^2$
  - Arenas densas con número de golpes del SPT  $> 50$
  - Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados
- Perfil tipo S2: Suelos intermedios, es decir aquellos que no están dentro de los suelos de tipo S1 y tampoco los suelos tipo S3.
- Perfil tipo S3: suelos blandos o estratos profundos. Suelos cuyo período de vibración son mayores a 0,6 s.

Tabla 1.1 Espesores de perfil tipo S3.

Suelos cohesivos	Espesor del estrato (m)
Blandos	$> 20$
Semiblandos	$> 25$
Duros	$> 40$
Muy duros	$> 60$

- Perfil tipo S4: Son suelos especiales de evaluación del suelo; con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos; rellenos colocados sin control ingenieril.

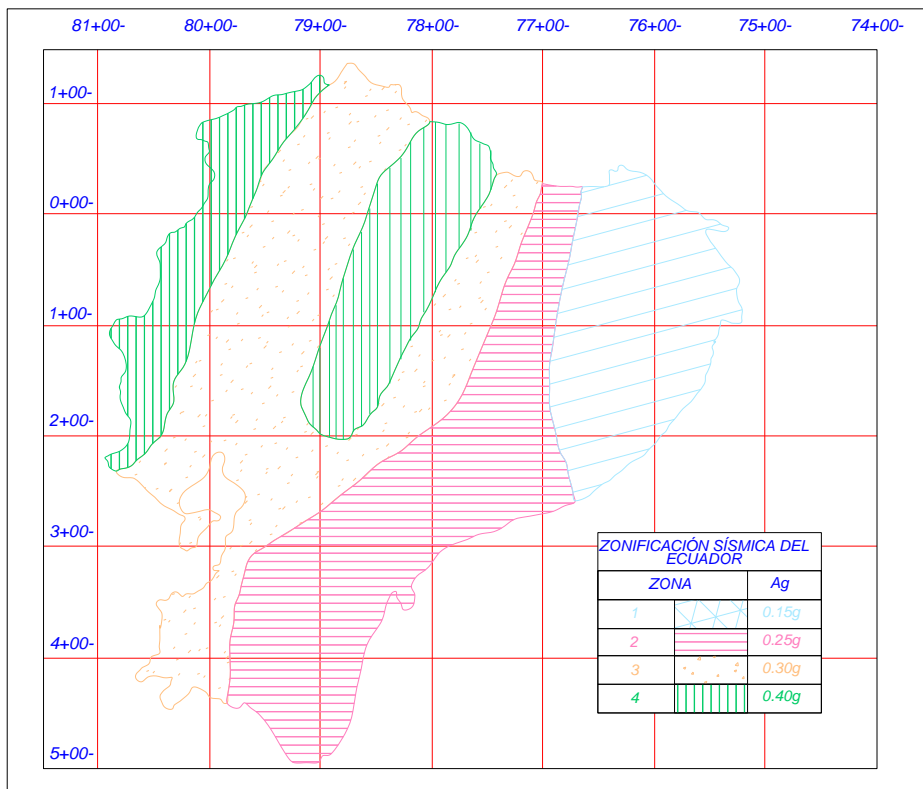


Figura 1.1 Zonificación Sísmica del Ecuador

Tabla 1.2 Valores Factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,40

Para conceptualizar el factor de reducción de resistencia  $R$ , el Código Ecuatoriano de la Construcción, toma varias recomendaciones de códigos como es el caso del UBC-94 (Uniform Building Code) y UBC-97, en los cuales se agrupan varios aspectos referentes a materiales y realidades constructivas de Ecuador y Estados Unidos.

Los factores de reducción de resistencia  $R$  dependen de muchos parámetros, entre otros, la redundancia y amortiguamiento de la estructura, el período de vibración, y los factores de ductilidad, con lo cual se puede concluir que este factor es de gran importancia en el cálculo sismorresistente ya que este disminuye sustancialmente la ordenada elástica espectral, permitiendo así que el diseño tenga un adecuado comportamiento inelástico durante el sismo de diseño, logrando así una adecuada ductilidad y disipación de energía que ante un impacto sísmico impida el colapso de la estructura.

Este factor  $R$  se encuentra indicado en la tabla 1.2 y tiene mucha importancia en el corte Basal de diseño, ya que este será aplicado en la estructura en una dirección dada, calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \varphi_p * \varphi_E} \quad (1.1)$$

$$C = \frac{1,25 * S^S}{T} \quad (1.2)$$

C	forma del espectro
S	tipo de suelo
R	FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL
$\varphi_p, \varphi_E$	Factores de configuración estructural en planta y elevación
Z	zona sísmica
I	importancia de la estructura



Tabla 1.3 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R, impuestas por CEC 2000.

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

## 1.9 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE COLOMBIA DE 1998

Colombia al igual que el resto de países de América del sur, durante muchos años se ha visto amenazada por la presencia incontrolable de sismos de varias magnitudes, uno de los últimos sismos presentados fue el del 8 de febrero de 1995 el cual produjo varias víctimas y daños en la ciudad de Pereira, donde hubo daños y colapso de algunas edificaciones, es por eso que las autoridades en los últimos años han vigilado el ejercicio idóneo de los profesionales de la construcción controlando que se cumplan las reglamentaciones técnicas que para este efecto se presentan.

La asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica se ha preocupado por las normas de diseño sismorresistente mediante actualizaciones en cada ámbito del diseño sismorresistente basándose en normas internacional y en estudios propios y extranjeros para ofrecer un documento que entre otras cosas se preocupe especialmente de erradicar los nefastos finales de las construcciones, luego de un sismo, para salvaguardar la vida humana.

El mapa de zonificación sísmica de Colombia muestra que más del 80% de colombianos se encuentra bajo un nivel de riesgo sísmico apreciable y que su probabilidad de excedencia es del 10% en un lapso de 50 años.

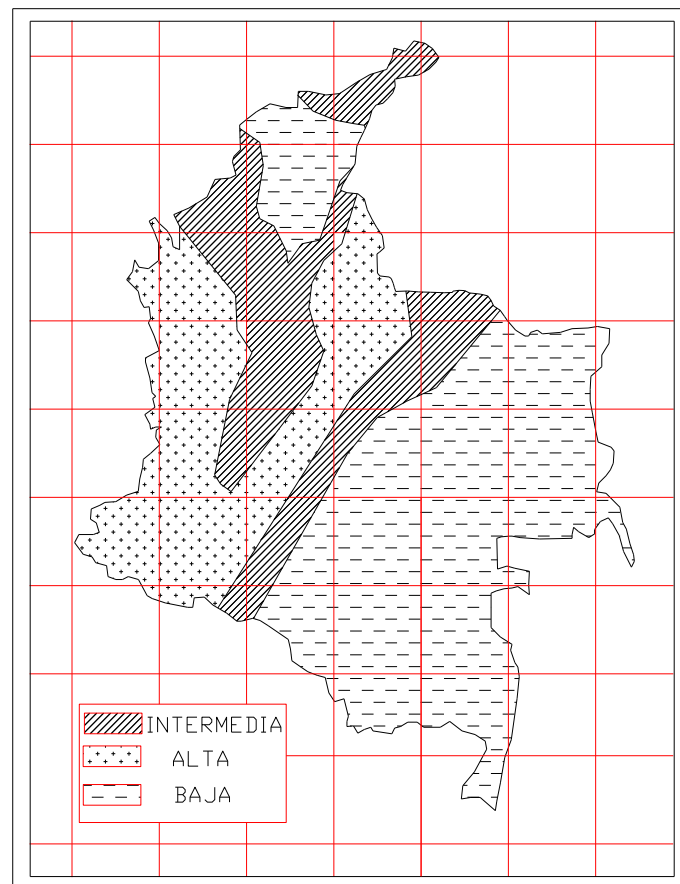


Figura 1.2 Zonificación Sísmica de Colombia

Los estudios y las investigaciones para el estudio sismorresistente del NSR- 98 (Norma Técnica de Colombia) han sido intensos y fructíferos, y en el tema correspondiente al procedimiento de diseño indica que las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis, se reducen dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F/R$ ). El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico,  $R_o$ , multiplicado por los coeficientes

de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y planta (  $R = \phi_p * \phi_e * R_o$  ).

Las fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga.

Tabla 1.4 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R (Colombia)

<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>DESEMPEÑO</b>	<b>FACTOR R</b>
Estructuras con pórticos espaciales sismorresistentes de hormigón armado	Disipación de energía especial	7
Estructuras con pórticos espaciales sismorresistentes de hormigón armado	Disipación de energía moderada	5
Estructuras de pórticos espaciales sismorresistentes de H. A.	Disipación de energía mínima	2,5
Estructuras con losas planas de hormigón armada	Disipación de energía moderada	2,5

El código de Colombia presenta valores de R de acuerdo a la cantidad de energía que se espera disipe la estructura. Los valores del CEC 2000, que son bastante altos, deben entenderse que están asociados a una gran disipación de energía de tal manera que quien las utilice deberá garantizar mediante un gran detallado que la estructura va a comportarse en forma eficiente en el rango inelástico y para el efecto deberá realizar un diseño muy riguroso en hormigón armado.

El código Colombiano presenta como alternativa diseños menos rigurosos que pueden ser aplicados en zonas de baja peligrosidad sísmica o en estructuras que no son tan importantes. Para el efecto se colocó en la tabla 1.4 con el nombre de disipación de energía moderada y aquí si se admiten valores de R muy bajos.

Nuestro estudio está orientado a un nivel de diseño muy exigente en que esperamos una gran cantidad de disipación de energía pero con valores de R más bajos a los estipulados por el Código CEC 2000.

## 1.10 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE PERÚ DEL 2003

La Norma Técnica de Perú del 2003 al igual que el Código Ecuatoriano de la Construcción, tienen por objetivo establecer condiciones mínimas de diseño para que las edificaciones consideren una filosofía de diseño sismorresistente con lo cual se evitarán pérdidas de vida frente a afectaciones de sismos, pues las estructuras no deberían colapsar, pero sí podrían experimentar posibles daños dentro de límites aceptables.

La Norma Técnica del Perú también divide a su territorio nacional en tres zonas, basándose en una distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información geotectónica.

Cada zona tendrá su factor  $Z$ , expuesto en la Tabla 1.5, el cual será interpretado como la aceleración máxima con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años.

Tabla 1.5 Factores de Zona

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

A continuación se presenta un mapa de Perú expuesto en la figura. 1.3 dividido en sus diferentes zonas sísmicas, que son tres, y están de acuerdo a la aceleración sísmica base expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad.

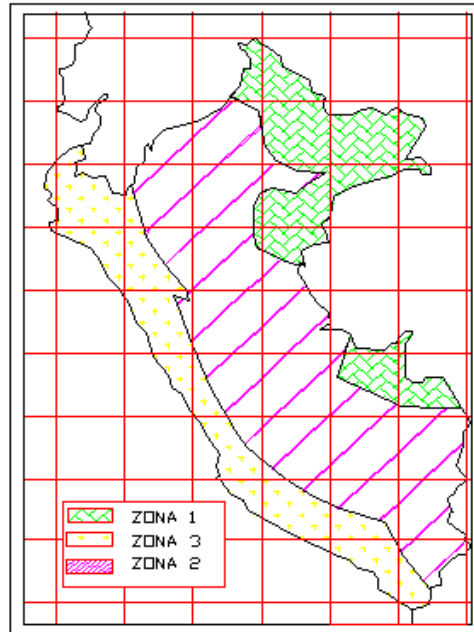


Figura 1.3 Zonificación Sísmica del Perú

En la Norma Técnica del Perú también se habla de cuatro tipos de perfiles de suelo el s1, s2, s3 y s4 con las mismas características de nuestros suelos.

El factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R$ , también es un valor que la norma le da mucha importancia para el cálculo del cortante basal de diseño presentando una tabla pero mucho más conservadora que la presentada por el Código Ecuatoriano de la Construcción.

Tabla 1.6 Coeficientes de reducción de respuesta estructural  $R$

SISTEMA ESTRUCTURAL (HORMIGÓN ARMADO)	FACTOR $R$
Estructuras con pórticos espaciales sismorresistentes	8
Estructuras con sistemas dual	7
Estructuras de muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

### 1.11 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA TÉCNICA DE VENEZUELA

La Norma Venezolana establece criterios de análisis y diseño para edificaciones situadas en zonas donde pueden ocurrir movimientos sísmicos y al igual que los anteriores códigos y normas posee su mapa de zonificación que consta de ocho zonas expuesta en la Fig. 1.6.

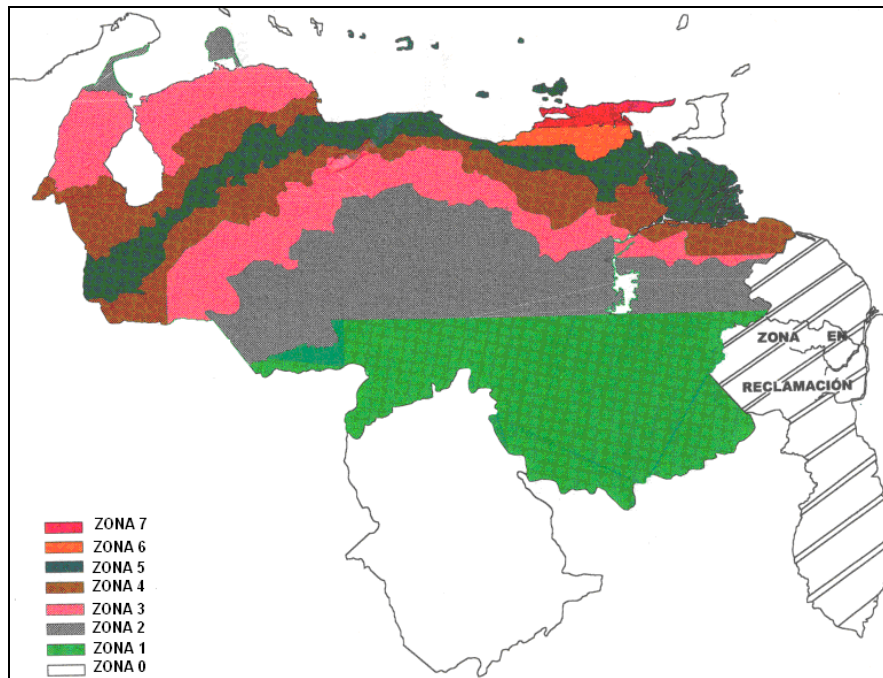


Figura 1.4 Zonificación sísmica de Venezuela

Los coeficientes de aceleración horizontal para cada zona están descritos en la tabla 1.6 y los coeficientes verticales están dados como 0.7 veces los valores de  $A_0$ .

Tabla 1.7 Valores de  $A_0$

ZONAS SISMICAS	PELIGRO SISMICO	$A_0$
7	ELEVADO	0,40
6		0,35
5		0,30
4	INTERMEDIO	0,25
3		0,20
2	BAJO	0,15
1		0,10
0		----

A continuación se mostrará una tabla con los valores de reducción sísmica  $R$ , (tabla 1.7), la cual está reconocida a nivel internacional, aunque efectuada ajustes sobre la práctica constructiva venezolana, la cual como se puede observar en la tabla 1.7 el valor máximo es de 6 para pórticos a flexión ND3, pero este valor ha sido cuestionado por excesivo, ya que según estudios se sabe que la ductilidad global de la estructura está en el orden de 4, aunque el valor de 6 está justificado por la sobrerresistencia de la estructura que está alrededor de 1.5; por otra parte la norma venezolana ha introducido un factor de redundancia  $\rho(1 \leq \rho \leq 1.5)$ , que multiplica a las fuerzas calculadas con  $R$ .

Tabla 1.8 Factores de reducción  $R$ 

NIVEL DE DISEÑO	ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO				
	TIPO DE ESTRUCTURA				
	I	II	III	IIIa	IV
ND3	6,0	5,0	4,5	5,0	2,0
ND2	4,0	3,5	3,0	3,5	1,5
ND1	2,0	1,75	1,5	2,0	1,25

## 1.12 NUEVA FILOSOFÍA DE CALCULO

Luego de que muchos países en el mundo entero y entre estos el Ecuador, sufrieran sismos de diferentes intensidades y por ende muchos daños materiales y de vidas humanas, varios investigadores se han dedicado al estudio de factores que ayuden a que el diseño de las estructuras sufran daño pero que no colapsen.

El Comité Visión 2000 de Estados Unidos de Norte América creado en 1992 y posteriormente el SEAOC (Structural Engineers Association of California) establecieron que las estructuras deberán verificar su desempeño sísmico para los cuatro eventos denominados: Frecuente, Ocasional, Raro y Muy Raro expuestos en la tabla 1.6.

Tabla 1.9 Sismos recomendados por el Comité VISION 2000

Sismo	Vida Útil T	Probabilidad de Excedencia $P^*$	Período medio de retorno, $t_r$	Tasa Anual de excedencia, $p_1$
<b>Frecuente</b>	30 años	50%	43 años	0.02310
<b>Ocasional</b>	50 años	50%	72 años	0.01386
<b>Raro</b>	50 años	10%	475 años	0.00211
<b>Muy raro</b>	100 años	10%	970 años	0.00105

Para verificar el desempeño que tendrán las estructuras frente a los diferentes sismos encontrados por el comité Visión 2000, varios países han realizado estudios y han recopilado sismos para así obtener diferentes espectros de respuesta y luego mediante promedios o envolventes obtener los espectros de diseño elásticos y estos a su vez dividir para factores de reducción, factores de irregularidad de planta y factores que consideran la irregularidad en elevación:  $R$ ,  $\phi_p$ ,  $\phi_e$ , respectivamente, obteniendo así los espectros inelásticos con los cuales finalmente se diseñará las diferentes estructuras .

La mayor parte de códigos de algunos países presentan valores de  $R$  para algunas tipologías estructurales, estos valores por lo general están basados en la experiencia más que en investigaciones.

Como se mencionó anteriormente el valor de  $R$  sirve para pasar del espectro elástico al espectro inelástico (con el que se diseña); por cuanto si se diseñara la estructura solo con el espectro elástico es decir  $R$  o  $R=1$  estas fuerzas serían muy altas e implicaría que las secciones que se utilizarían serían muy grandes por ende serían estructuras económicamente caras pero muy seguras; por el contrario si se utilizaría los valores de  $R$ , que son altos, indicados en algunos códigos las fuerzas resultantes serían muy bajas obteniendo secciones pequeñas por ende estructuras baratas pero muy débiles riesgosas para los habitantes de aquellas estructuras.



Es por ello que actualmente la corriente del mundo es el cálculo de R; es así que en la Universidad de Berkeley en California han investigado este factor encontrando que se calcula de la siguiente manera:

$$R = R_{\mu} * R_R * R_S \quad (1.3)$$

R = Factor de reducción de las fuerzas sísmicas.

$R_{\mu}$  = Factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad

$R_R$  = Factor de redundancia

$R_S$  = Factor de resistencia

### 1.12.1 FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD

Para poder encontrar una definición apropiada y fácil de entender iniciaremos indicando que existen dos formas de comportamiento de una estructura la lineal o elástica y la no lineal o inelástica, dentro de un sistema de un grado de libertad.

A continuación nos apoyaremos en un gráfico presentado en la Fig. 1.4, para indicar la diferencia y la relación de estos dos comportamientos el inelástico y el elástico:

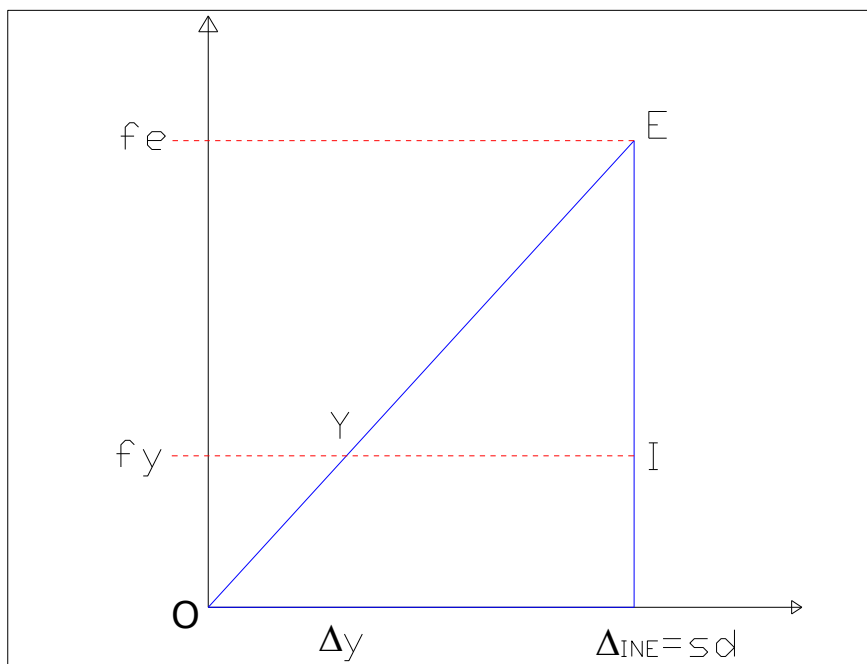


Figura 1.5 Relación Fuerza Desplazamiento. Regla de igual desplazamiento

Como podemos observar la rigidez se representa como una relación de fuerzas Vs. desplazamiento. Cuando una estructura tiene un comportamiento lineal OE podemos observar que la rigidez no cambia permanece constante, mientras que cuando la estructura tiene un comportamiento no lineal (inelástico) OY la rigidez cambia es variable, obteniendo para este caso iguales desplazamientos en comportamientos inelásticos y elásticos  $\Delta_{INE} = s.d.$  (Regla de igual desplazamiento), para períodos mayores a 1 segundo.

Se define como  $R_\mu$  (factor de reducción por ductilidad) a la relación  $F_e/F_y$  siendo  $F_e$  la máxima fuerza lateral que se halla en el sistema considerando el comportamiento elástico y  $F_y$  la máxima fuerza lateral al considerar el comportamiento inelástico.

$$R_\mu = \frac{F_e}{F_y} \quad (1.4)$$

Por otra parte tenemos también que la relación entre el desplazamiento inelástico con el desplazamiento en la fluencia se lo puede conceptualizar como la ductilidad.

$$\mu = \frac{\Delta_{INE}}{\Delta_y} \quad (1.5)$$

Ahora si hacemos una relación de triángulos en la figura 1.5 podemos observar que el triángulo O-Y- $\Delta_y$  es semejante al triángulo O-E- $\Delta_i$  con lo cual tenemos que:

$$\frac{\Delta_{INE}}{\Delta_y} = \frac{F_e}{F_y} \quad (1.6)$$

Reemplazando tenemos:

$$R_\mu = \mu \quad (1.7)$$

La ductilidad es la capacidad que tiene una estructura de incursionar en el rango no lineal y mientras más ductilidad tiene la estructura es mucho mejor.

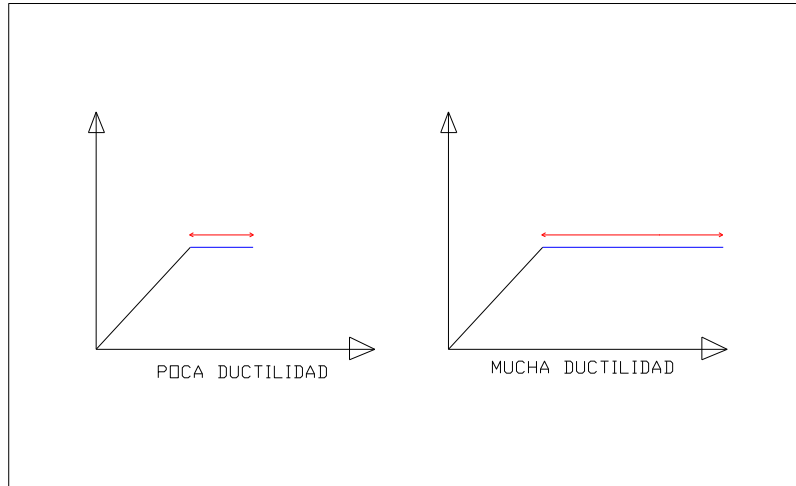


Figura 1.6 Diferencia de ductilidad

Existe también otra regla importante dentro del factor R por ductilidad, la regla de igual energía; regla para la cual también nos basaremos de un gráfico para su mejor entendimiento.

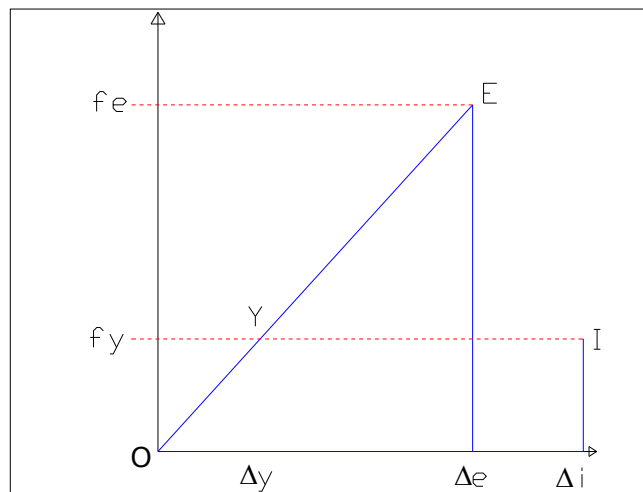


Figura 1.7 Relación Fuerza Desplazamiento. Regla de igual energía

En la figura 1.6 podemos observar que si sumamos el área de triángulo  $O-Y-\Delta_y$  más el área del rectángulo  $\Delta_y-Y-I-\Delta_i$  es igual al área del triángulo  $O-E-\Delta_e$  con lo cual concluimos que la energía del comportamiento inelástico es igual a la energía del comportamiento elástico.

Newmark y Hall en 1982, encontraron una fórmula que cumple la regla de igual energía deducida a través de la Fig. 1.6

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (1.8)$$

### 1.12.2 FACTOR DE REDUCCIÓN POR RESISTENCIA

Conocido es que para el cálculo del cortante basal  $V_o$ , se suman todas las fuerzas laterales estáticas de la estructura, obteniendo así dicho valor, pero la estructura tiene también un  $V_u$  que es la capacidad máxima de absorber ese cortante basal.

Cuando se diseña una viga o columna éste se lo hace considerando el modelo elasto perfectamente plástico, y al hormigón lo diseñamos con un modelo de bloque del ACI (rectangular).

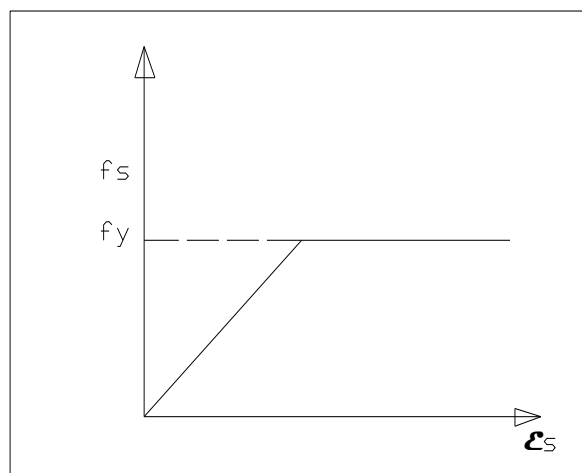


Figura 1.8 Modelo elasto perfectamente plástico (Acero)

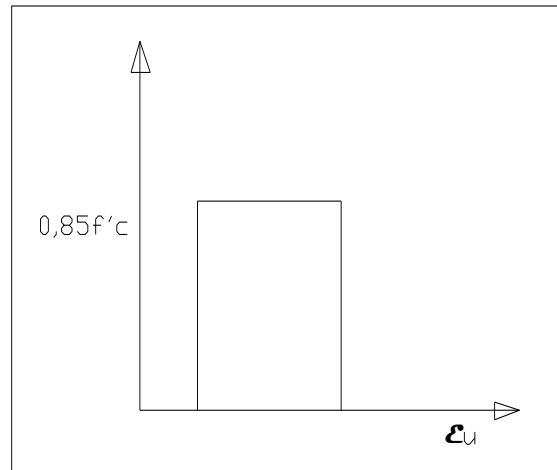


Figura 1.9 Modelo de bloque del ACI (hormigón)

Basándose en estos dos modelos es que los investigadores obtuvieron la fórmula con la cual se diseña la cuantía  $\rho$ , y el área de acero  $A_s$

$$\rho = 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0,85 * \phi * f'_c * b * d^2}} \right] \quad (1.9)$$

$$A_s = \rho * b * d \quad (1.10)$$

Pero en realidad esa no es la curva del acero, y peor aún el gráfico del hormigón, pero se las toma así por facilidad y para tener un factor de seguridad al momento de diseño.

Las curvas reales son las siguientes:

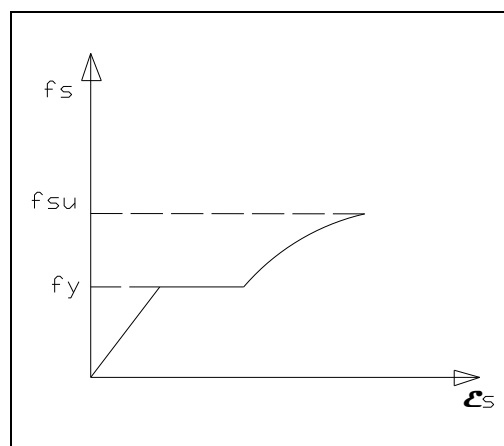


Figura 1.10 Modelo real del acero

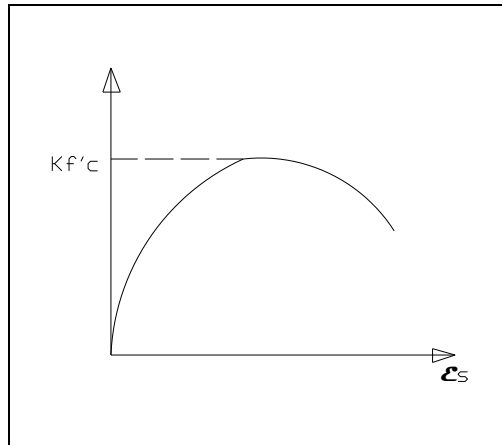


Figura 1.11 Modelo real del hormigón

Hay que tener en cuenta que el máximo esfuerzo no es 0,85, que es el que utilizamos, sino  $K$  que es mayor que 1 y depende de la cantidad de estribos y del espaciamiento de los mismos.

De todo esto se puede concluir entonces que cuando nosotros realizamos controles en vigas y columnas por ejemplo, tenemos un momento último de diseño  $M_u$  que viene de un modelo elasto-plástico y un modelo de bloque del ACI; pero realmente la viga o columna soportan mayores momentos  $M_u^*$  por lo que se tiene que:

$$R_s = \frac{M_u^*}{M_u} \quad (1.11)$$

De donde podemos deducir también que:

$$R_s = \frac{V_u}{V_o} \quad (1.12)$$

Mediante la práctica se ha visto que en estructuras bien diseñadas el valor de  $R_s$  es mayor que la unidad pero muy difícilmente será mayor que tres, por lo general se toma un valor de dos aunque hay que considerar que el factor de reducción por sobrerresistencia es motivo de mucho más estudios.

### 1.12.3 FACTOR DE REDUCCIÓN POR REDUNDANCIA

Un tercer factor para obtener nuestro factor de reducción de las fuerzas sísmicas es el parámetro que tiene que ver con la redundancia.

Cuando una estructura pasa del rango lineal al no lineal todos sus elementos tienen una redistribución de esfuerzos y se espera que todos estos elementos absorban cargas y deformaciones, es decir que todos los miembros trabajen para disminuir la energía sísmica que se presentara, por cuanto si una estructura tiene más elementos habría la posibilidad de que los mismos al pasar del rango elástico formen rótulas plásticas empezando por todas las vigas en los dos extremos para continuar en las cabezas de columnas y finalizar con los pies de columnas.

El factor de redundancia al igual que el resto de factores está en estudio pero existe una ponencia que pertenece al ATC (código de California 1995) que tiene que ver con el número de ejes de columnas y que es con la cual se está trabajando en la actualidad.

Tabla 1.10 Valores de  $R_R$  del ATC

Número ejes de columnas	Factor $R_R$
2	0.71
3	0.86
4	1.00

Para cuando existen más de 4 ejes de columnas al ATC no se atreve a dar valores pero lógicamente será más de 1.

Por otra parte también existen trabajos que cuantifican el  $R_R$  uno de ellos es el de Tsopeles y Husain (2004), el cual analiza al  $R_R$  bajo dos puntos de vista la resistencia y la formación de rótulas plásticas.

$$R_R = r_s \left( \frac{1 - k v_e r_v}{1 - k v_e} \right) \quad (1.13)$$

$$r_v = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \right) \frac{1}{m-1}} \quad (1.14)$$

$r_s$  = índice de redundancia por resistencia

$k$  = parámetro estadístico varía entre 1.5 y 2.5

$v_e$  = coeficiente de variación de la resistencia varía entre 0.08 y 0.14

$r_v$  = índice de redundancia por formación de rotulas plásticas

$n$  = número de rotulas plásticas

$m$  = número de pórticos en la dirección analizada.

Una rotula plástica es cuando la sección ya no puede soportar más momento y esta por este efecto empieza únicamente a rotar.



## **CAPITULO II**

### **GENERACIÓN DE SISMOS ARTIFICIALES Y RECOPIACIÓN DE ACELEROGRAMAS**

#### **RESUMEN**

Se inicia realizando un análisis acerca de la necesidad de crear sismos sintéticos o artificiales, se indica cual es el procedimiento para dicha generación; además se detalla los sismos reales recopilados, cedidos por la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, y el proceso de normalización de los mismos.

Por último se detalla un listado de los acelerogramas artificiales y recopilados, registrando su código y algunos detalles de los sismos como son el dt, la fase intensa en segundos, la frecuencia inicial, la frecuencia final, la aceleración máxima y el tiempo del sismo.

## 2.6 NECESIDAD DE GENERAR SISMOS ARTIFICIALES

La historia de nuestro país se remonta a cientos de años, durante los cuales el país rico en recursos naturales y humanos, se ha visto en la más grande despreocupación por parte de las autoridades de turno en ayudar a la tecnología e incentivar la investigación. Muchas personas capaces, han tenido que emigrar a otras naciones pues en ésta no se los ha reconocido y menos aún apoyado; la investigación sismorresistente no se aleja de esa realidad, es así que nuestros investigadores han tenido que ideárselas para no dejar a un lado este tema trascendental que se presenta en el mundo entero como punto importante, pues de un correcto y seguro diseño se habrá salvado vidas humanas y conservado la especie.

Cuando se cita que no se ha apoyado la investigación nos referimos a la falta de preocupación por las autoridades en adquirir o en otros casos de dar mantenimiento a instrumentos que sirven para estudiar los sismos; ese es el caso de los sismógrafos, instrumentos que sirven para registrar el movimiento del suelo causado por una onda sísmica.

Gracias a programas computacionales y motivados por el conocimiento, los investigadores han generado sismos artificiales, que han dado buenos resultados y han servido para obtener datos importantes en el camino de la sismorresistencia.

Cabe indicar que con los pocos sismógrafos que posee el Ecuador se han obtenido datos, pero estos son muy escasos y poco confiables por las razones expuestas anteriormente, es por ello que se ha recurrido a la simulación de los sismos, para de esta manera compensar la falta de información, llenar vacíos y generar nuevos sismos con nuevas características.

## 2.7 USO DEL PROGRAMA SYNPRO

Como se ha expuesto anteriormente los programas computacionales son de gran ayuda para compensar el déficit de datos en el campo sísmico, y entre ellos está el programa Synpro, que genera movimientos artificiales pudiendo obtener sismogramas sintéticos a través de un pseudo espectro previamente especificado, así como de la definición de una función de intensidad que para este programa es únicamente trapezoidal.

A continuación se describe como el programa computacional Synpro realiza el proceso de simulación de movimiento artificial para el cual, como se manifestó anteriormente se necesita de un espectro de respuesta prefijado basándose en el hecho de que cualquier función periódica puede extenderse en una serie de ondas sinusoidales que obedece a la siguiente expresión:

$$Z(t) = I(t) \sum A_n \sin(\omega_n t + \phi_n) \quad (2.1)$$

Donde  $A_n$  es la amplitud,  $\phi_n$  el ángulo de la fase de la  $n^{\text{ésima}}$  contribución sinusoidal,  $I(t)$  es una función de intensidad, que como ya se menciono Synpro utiliza una forma trapezoidal,  $\omega$  es la frecuencia; este programa de simulación comienza por fijar un número  $n$  de frecuencias  $\omega$  equi-espaciadas en el rango de interés de manera que el registro contenga todo el rango de frecuencias deseadas, luego el programa usa un generador de números aleatorios para producir losos de los ángulos de fase con probabilidad uniforme en el rango entre  $0$  y  $2\pi$ , lo que le da un carácter probabilístico.

El programa en si lo que realiza es el cálculo de  $n$  amplitudes  $A_i$  de tal forma que el espectro de velocidades correspondientes al acelerograma sintético sea igual al pseudo espectro de velocidades original y que sirvió para generar dicho acelerograma.

Por otro lado tenemos que la función de intensidad sirve para darle el carácter transitorio al sismo, como se indicó anteriormente el programa computacional Synpro utiliza una función de intensidad trapezoidal misma que se la debe definir de acuerdo a los intervalos de tiempo del sismograma sintético generado para la fase ascendente y descendente.

Cabe resaltar que el programa asume automáticamente un  $\Delta t = 0.01s$ , además el programa pedirá el número de intervalos de tiempo para la fase ascendente y descendente el cual es multiplicado por el  $\Delta t$ .

## 2.8 DETALLE DE LOS SISMOS ARTIFICIALES GENERADOS

Para la presente tesis se crearon 112 sismos artificiales o sintéticos detallados de la siguiente manera:

Se crearon sismos considerando los cuatro tipos de suelo, y para cada tipo de suelo se crearon siete sismos con aceleraciones de gravedad de 0.40 g, siete sismos con aceleración de gravedad de 0.30 g, siete sismos con aceleración de gravedad de 0.25 g, y siete sismos con aceleración de gravedad de 0.15 g. Los siete sismos están divididos para cada caso en intervalos diferentes duraciones como se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Valores de intervalos y duraciones

Duración	Intervalos	
	crezca	decrezca
30 seg	10 seg	10 seg
40 seg	15 seg	15 seg
50 seg	20 seg	20 seg
60 seg	25 seg	25 seg
70 seg	30 seg	30 seg
35 seg	12,5 seg	12,5 seg
45 seg	17,5 seg	17,5 seg

Todos los datos anteriormente expuestos fueron llevados al programa computacional Synpro para la generación de los sismos sintéticos quedando el formato de entrada de la siguiente manera:

Línea 1-

IIX : valor entero para numeración randómica 6

NPE : número de puntos del pseudos espectro elástico de velocidad 100

NPA : número de puntos del acelerograma (de acuerdo a la duración), hay que tomar en cuenta que el programa tiene un  $\Delta t$  de 0.01 que se multiplica con la duración.

NIFA : número de intervalos que el sismo crezca (de acuerdo a intervalos), aquí también el programa lo multiplica por una constante de 0.01

- NIFD : número de intervalos que el sismo decrezca
- NCYC: número de iteraciones deseadas 8.
- CIMP : control de impresión. 1 para que se imprima con todos los datos de los espectros generados en los ciclos de iteración.

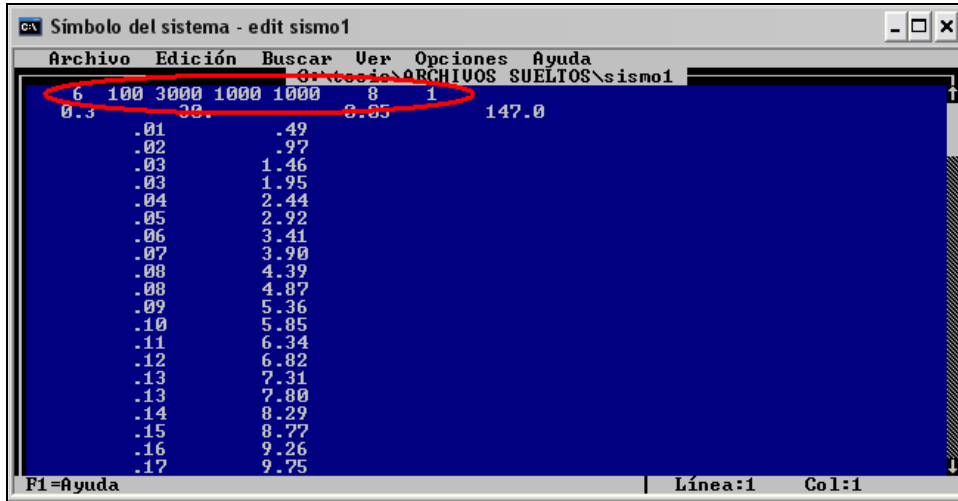


Figura 2.1 Muestra programa SYNPRO fila 1

Línea 2-

- FINI : frecuencia inicial 0.3Hz
- FFIN : frecuencia final 30Hz
- AMOR: corresponde a la fracción de amortiguamiento 0.05
- ACMAX: máxima aceleración 0.15g, 0.25g, 0.30g, ó 0.40g.

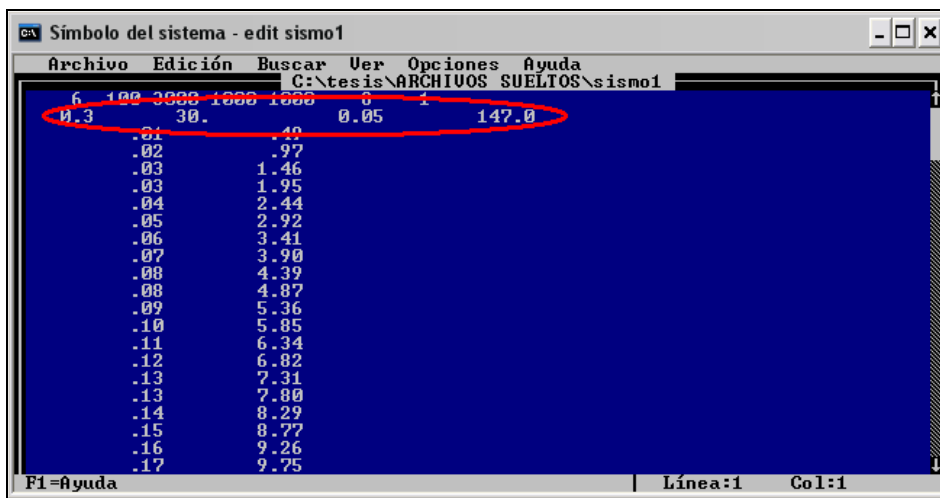


Figura 2.2 Muestra programa SYNPRO fila 2

Línea 3-

Se colocará los valores correspondientes al espectro de velocidad. En la primera columna el período en segundos, y en la segunda columna datos de la pseudo velocidad en cm/s.

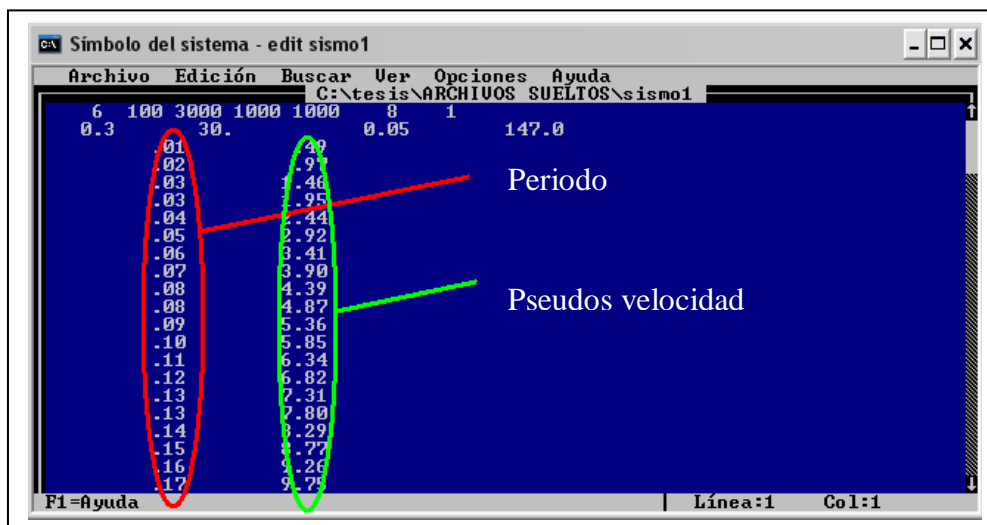


Figura 2.2 Muestra programa SYNPRO fila 3

## 2.9 DETALLE DE SISMOS REALES REGISTRADOS Y NORMALIZACIÓN DE LOS MISMOS

Para la realización de esta tesis se ha utilizado sismos proporcionados por la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, estos sismos fueron registrados por tres estaciones en las cuales existen dos tipologías de suelos diferentes, y estas son:

- E. Universidad Católica.- cuyo tipo de suelo corresponde a un suelo s1.
- E. Barrio del centenario.- cuyo tipo de suelo corresponde a un suelo s3.
- E. Colegio de Ingenieros Civiles.- cuyo tipo de suelo corresponde a un s1.

Las tres estaciones sismográficas recogieron datos para varios sismos cada una; en la tabla 2.2 se muestra todos los datos que los sismógrafos pudieron obtener y que son de los pocos datos que se tiene y que a su vez sirven notablemente para el estudio sísmico del Ecuador.

Tabla 2.2 Datos de los acelerogramas utilizados en el estudio

ESTACIÓN	PERFIL DE SUELO	FECHA	COMP.	MAGNITUD	LATIT.	LONG.	PROFUNDIDAD (Km.)	ACELERACIÓN PICO (cm./s <sup>2</sup> )	DISTANCIA FOCAL (a.m.)
U. CATOLICA	S1	11/06/91	N - S E - W	5,4 mb	-3,1636	-79,3767	113,80	4,274	166,96
U. CATOLICA	S1	30/05/90	N - S E - W	4,5 mb	-2,2288	-79,9963	4,87	3,401	13,47
U. CATOLICA	S1	21/11/91	N - S E - W	4,2 mb	-2,3130	-80,1520	62,00	3,693	69,83
U. CATOLICA	S1	21/11/91	N - S E - W	4,1 mb	-1,9000	-79,7900	10,00	1,816	35,49
U. CATOLICA	S1	25/04/96	N - S E - W	5,2 mb	-9,7060	-80,1890	36,00	8,218	835,71
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	26/04/93	N - S E - W	Registrado	?	?	?	10,994	
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	06/01/95	N - S E - W	5,4 mb	-1,9005	-78,0854	180,58	4,520	271,60
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	25/01/94	N - S E - W	4,8 mb	-1,7022	-78,2391	198,64	2,723	275,63
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	08/08/93	N - S E - W	?	?	?	?	2,939	
COL. ING. CIVILES	S1	11/06/91	N - S E - W	5,4 mb	-3,1636	-79,3767	113,80	27,699	166,96

Para el estudio se utilizaron un total de 80 sismos reales divididos de la siguiente manera: 20 sismos para una aceleración de la gravedad de 0.15g, 20 sismos para una aceleración de gravedad de 0.25g, 20 sismos para una aceleración de gravedad de 0.30g, y 20 sismos para una aceleración de gravedad de 0.40g. Cada uno de estos 20 sismos a su vez estaban subdivididos en 12 sismos para una tipología de suelo s1 y 8 sismos para una tipología de suelo s3 con lo cual el estudio contempla los 80 sismos antes mencionados.

Una vez recopilados todos los datos de los sismos reales, hubo la necesidad de normalizarlos para estandarizarlos de acuerdo a las características inicialmente solicitadas y en estudio, para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- En cada uno de los registros existen dos componentes la E-W y la N-S con los cuales se obtendrán los datos solicitados.
- Se trabaja con un programa computacional realizado en una hoja excel para cada caso y para las tipologías de suelo existentes.
- En cada componente existe una serie de valores que corresponden a aceleraciones que están en función de porcentaje de gals por lo cual hay que multiplicarles por 980 para obtener en gals ( $\text{cm}/\text{seg}^2$ ), que son las unidades que se requiere.
- Ahora hay que obtener la máxima aceleración en valor absoluto de cada componente.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data structure:

1	RED SISMICA DEL LITORAL - IIFUC											
2	Estacion Universidad Catolica de Guayaquil											
3	UC540001											
4	Tiempo	Vertical	E-W	valor absoluto		máximo valor					0.15	
5				N-S		E-W*980	N-S*980				E-W	N-S
5	0	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
6	0.01	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
7	0.02	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
8	0.03	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
9	0.04	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
10	0.05	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
11	0.06	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
12	0.07	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
13	0.08	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
14	0.09	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
15	0.1	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
16	0.11	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
17	0.12	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
18	0.13	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
19	0.14	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
20	0.15	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
21	0.16	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24
22	0.17	-0.00068	0.00017	0.00017	0.00036	0.00036	0.1666	0.3528			0.80	1.24

Annotations in the image include a red circle around the 'N-S' column values, a blue circle around the 'E-W\*980' and 'N-S\*980' columns, and a red arrow pointing to the 'valor absoluto' header.

Figura 2.3 Muestra valor absoluto y máximo valor.

- La normalización se la hará para 0.15g, 0.25g, 0.30g, y 0.40g por ello al multiplicar  $0.15 \times 980 = 147$  a así para cada aceleración de la gravedad, este valor se lo dividirá para el máximo valor de cada componente obteniendo un primer factor.
- Ahora se obtiene los datos multiplicando el primer factor por cada aceleración.



- Para finalizar se coloca en el mismo formato que los sismos sintéticos, es decir colocando algunos datos del sismo en estudio.

		Primer factor							
		0.15		0.25		0.3			
E-W*980	N-S*980	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
0.03129	0.04274	30.6642	41.8852	4.79	3.51	7.99	5.85	9.59	7.02
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		
0.1666	0.3528	0.80	1.24	1.33	2.06	1.60	2.48		

Figura 2.4 Muestra Datos obtenidos

### 2.10 LISTADO DE ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES Y RECOPIRADOS

A continuación se mostrará el listado de los acelerogramas sintéticos y reales recopilados, cabe indicar que a cada sismo tanto real como sintético se le asignó un código con el cual se trabajó durante toda la tesis:

#### SISMOS SINTETICOS:

##### S1

0.15g.

- Código: 1s1.015
- dt = 0.01
- fase intensa en segundos = 10.00
- frecuencia inicial = 0.3
- frecuencia final = 30.0
- tiempo del sismo = 30.00

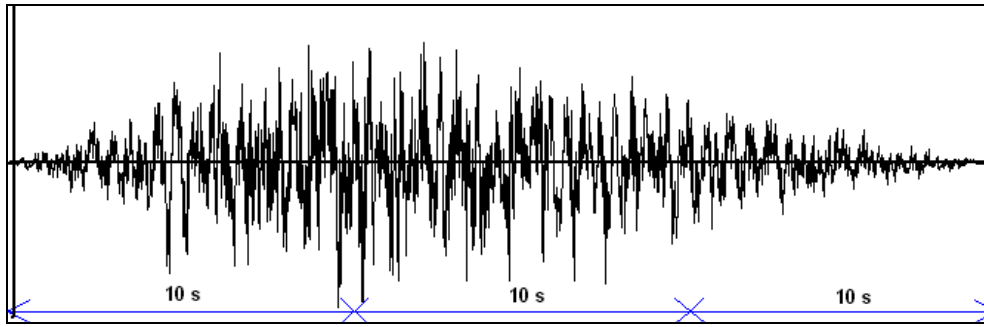


Figura 2.5 Acelerograma 1s1.015

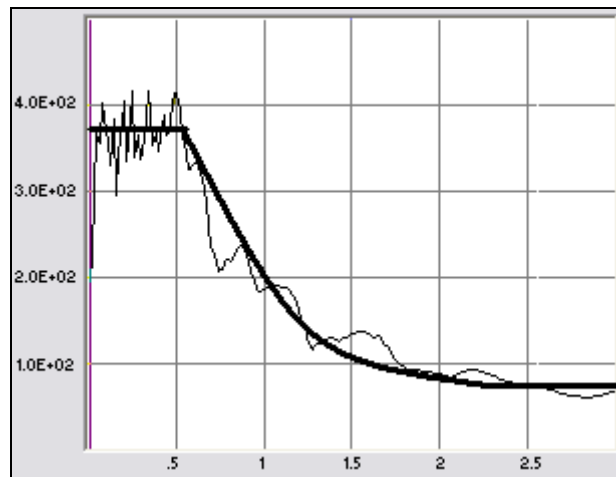


Figura 2.6 Espectro 1s1.015

- Código: 2s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 40.00
- Código: 5s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 70.00
- Código: 3s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 50.00
- Código: 6s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 35.00
- Código: 4s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3
- Código: 7s1.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0

tiempo del sismo = 45.00  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 60.00

0.25g

- Código: 1s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 50.00
- Código: 4s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 60.00
- Código: 5s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 70.00
- Código: 6s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 35.00
- Código: 7s1.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 45.00

0.30g

- Código: 1s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 6s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 35.00
- Código: 4s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 60.00
- Código: 7s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 45.00
- Código: 5s1.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 70.00

0.40g

- Código: 1s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 40.00

- Código: 3s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 4s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 60.00
- Código: 7s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 45.00
- Código: 5s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 70.00
- Código: 6s1.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 35.00

**S2:**

0.15g

- Código: 1s2.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s2.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s2.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 5s2.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 70.00
- Código: 6s2.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 70.00

frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.15 g.  
 tiempo del sismo = 35.00

fase intensa en segundos = 10.00

- Código: 7s2.015  
 dt = 0.01  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.15 g.  
 tiempo del sismo = 45.00
- Código: 4s2.015  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.15 g.  
 tiempo del sismo = 60.00

0.25g

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 1s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 30.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 5s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 70.00</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 2s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 40.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 6s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 35.00</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 3s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 50.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 7s2.025<br/>           dt = 0.01<br/>           fase intensa en segundos = 10.00<br/>           frecuencia inicial = 0.3<br/>           frecuencia final = 30.0<br/>           aceleración máxima = 0.25 g.<br/>           tiempo del sismo = 45.00</li> </ul> |

- Código: 4s2.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 60.00

0.30g

- Código: 1s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 30.00

- Código: 2s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 40.00

- Código: 3s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 50.00

- Código: 6s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 35.00

- Código: 4s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 60.00

- Código: 7s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 45.00

- Código: 5s2.030  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.30 g.  
tiempo del sismo = 70.00

0.40g

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 1s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 30.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 4s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 60.00</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 2s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 40.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 5s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 70.00</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 3s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 50.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 6s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 35.00</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 7s2.040<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.40 g.<br/>tiempo del sismo = 45.00</li> </ul> |   |

**S3**

0.15g

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 1s3.015<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.15 g.<br/>tiempo del sismo = 30.00</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 2s3.015<br/>dt = 0.01<br/>fase intensa en segundos = 10.00<br/>frecuencia inicial = 0.3<br/>frecuencia final = 30.0<br/>aceleración máxima = 0.15 g.<br/>tiempo del sismo = 40.00</li> </ul> |
|---|---|



- Código: 3s3.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 5s3.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 70.00
- Código: 4s3.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 60.00
- Código: 6s3.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 35.00
- Código: 7s3.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 45.00

0.25g

- Código: 1s3.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s3.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s3.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3
- Código: 4s3.025  
dt = 0.01  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 5s3.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 70.00
- Código: 6s3.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0

- aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 35.00
- Código: 7s3.025  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 60.00
- 0.30g
- Código: 1s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 30.00
- Código: 3s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 50.00
- Código: 2s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 40.00
- Código: 4s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 60.00
- Código: 5s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 70.00
- Código: 7s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 45.00
- Código: 6s3.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 35.00
- 0.40g
- Código: 1s3.040  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00
- frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.40 g.

- tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s3.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s3.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 4s3.040
- Código: 5s3.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 60.00
- frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 70.00
- Código: 6s3.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 35.00
- Código: 7s3.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 45.00

**S4**

0.15g

- Código: 1s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 50.00
- Código: 5s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 70.00

- Código: 6s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 35.00
  - Código: 7s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 45.00
  - Código: 4s4.015  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.15 g.  
tiempo del sismo = 60.00
- 0.25g
- Código: 1s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 30.00
  - Código: 2s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 40.00
  - Código: 3s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 50.00
  - Código: 6s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 35.00
  - Código: 4s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 60.00
  - Código: 7s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.25 g.  
tiempo del sismo = 45.00
  - Código: 5s4.025  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00

frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.25 g.  
 tiempo del sismo = 70.00

## 0.30g

- Código: 1s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 30.00
- Código: 4s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 60.00
  
- Código: 2s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 40.00
- Código: 5s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 70.00
  
- Código: 3s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 50.00
- Código: 6s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 35.00
  
- Código: 7s4.030  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.30 g.  
 tiempo del sismo = 45.00

## 0.40g

- Código: 1s4.040  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.40 g.  
 tiempo del sismo = 30.00
- Código: 2s4.040  
 dt = 0.01  
 fase intensa en segundos = 10.00  
 frecuencia inicial = 0.3  
 frecuencia final = 30.0  
 aceleración máxima = 0.40 g.

- tiempo del sismo = 40.00
- Código: 3s4.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 50.00
  - Código: 6s4.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 35.00
  - Código: 5s4.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 70.00
  - Código: 7s4.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 45.00
  - Código: 4s4.040  
dt = 0.01  
fase intensa en segundos = 10.00  
frecuencia inicial = 0.3  
frecuencia final = 30.0  
aceleración máxima = 0.40 g.  
tiempo del sismo = 60.00

### SISMOS REALES:

#### S1

0.15g.

Estación sísmica: universidad católica - guayaquil

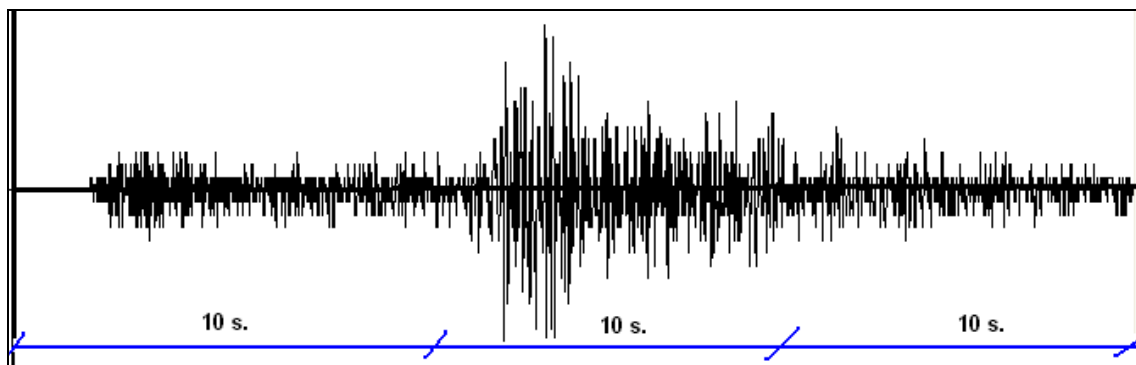


Figura 2.7 Acelerograma 201E.015

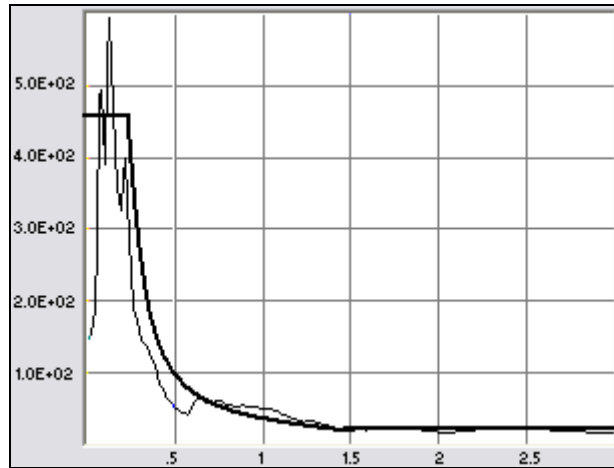


Figura 2.8 Espectro 201E.015

- Código: 201E.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:11/06/1991  
 hora:19:45  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: e-w  
 tiempo del sismo: 38.16seg
- Código: 201N.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:11/06/1991  
 hora:19:45  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: n-s  
 tiempo del sismo: 38.16seg
- Código: 202E.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:30/05/1990  
 hora:8:04  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: e-w  
 tiempo del sismo: 14.87seg
- Código: 202N.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:30/05/1990  
 hora:8:04  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: n-s  
 tiempo del sismo: 14.87seg
- Código: 203E.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:21/11/1991  
 hora:2:47
- Código: 203N.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:21/11/1991  
 hora:2:47  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: n-s  
 tiempo del sismo: 16.80seg
- Código: 204E.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:21/11/1991  
 hora:3:24  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: e-w  
 tiempo del sismo: 15.58seg
- Código: 204N.015  
 tipo de suelo:s1  
 fecha:21/11/1991  
 hora:3:24  
 dt = 0.01  
 componente sísmica: n-s  
 tiempo del sismo: 15.58seg

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 204N.015<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</li> <li>- Código: 205E.015<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</li> <li>- Código: 205N.015<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</li> </ul> |
|---|---|

Estación sísmica: colegio de ingenieros civiles guayaquil

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 301E.015<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 301N.015<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</li> </ul> |
|--|--|

0.25g

Estación sísmica: universidad católica - guayaquil

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 201E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</li> <li>- Código: 201N.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</li> <li>- Código: 202E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</li> <li>- Código: 202N.025<br/>tipo de suelo:s1</li> </ul> |
|---|--|



- |  |   |   |
|--|---|---|
| <p>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</p>   | - | <p>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</p>   |
| <p>Código: 203E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</p> | - | <p>Código: 204N.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</p>  |
| <p>Código: 203N.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</p> | - | <p>Código: 205E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</p> |
| <p>Código: 204E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01</p>  | - | <p>Código: 205N.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</p> |

Estación sísmica: colegio de ingenieros civiles guayaquil

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Código: 301E.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</p> | - | <p>Código: 301N.025<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</p> |
|---|---|---|

0.30g

Estación sísmica: universidad católica - guayaquil

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Código: 201E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01</p> | - | <p>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</p> |
|  | - | <p>Código: 201N.030<br/>tipo de suelo:s1</p>                  |

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <p>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</p>   | - | <p>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</p>   |
| <p>- Código: 202E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</p>  | - | <p>Código: 203N.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</p>  |
| <p>- Código: 202N.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</p>  | - | <p>Código: 204E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</p>  |
| <p>- Código: 203E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01</p>   | - | <p>Código: 204N.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</p>  |
| <p>- Código: 205E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</p> | - | <p>Código: 205N.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</p> |

Estación sísmica: colegio de ingenieros civiles - guayaquil

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <p>- Código: 301E.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</p> | - | <p>Código: 301N.030<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 45.00seg</p> |
|---|---|---|

0.40g

Estación sísmica: universidad católica - guayaquil

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 201E.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 202N.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 201N.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:11/06/1991<br/>hora:19:45<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 38.16seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 203E.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 202E.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:30/05/1990<br/>hora:8:04<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 14.87seg</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 203N.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:2:47<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.80seg</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 204E.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 205E.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 204N.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:21/11/1991<br/>hora:3:24<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 15.58seg</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 205N.040<br/>tipo de suelo:s1<br/>fecha:25/04/1996<br/>hora:17:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 18.31seg</li> </ul> |

Estación sísmica: colegio de ingenieros civiles - guayaquil

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 301E.040</li> <li>tipo de suelo:s1</li> <li>fecha:11/06/1991</li> <li>hora:19:45</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: e-w</li> <li>tiempo del sismo: 45.00seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 301N.040</li> <li>tipo de suelo:s1</li> <li>fecha:11/06/1991</li> <li>hora:19:45</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: n-s</li> <li>tiempo del sismo: 45.00seg</li> </ul> |
|--|--|

### S3

0.15g

Estación sísmica: barrio del centenario

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101E.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:26/04/1993</li> <li>hora:22:22</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: e-w</li> <li>tiempo del sismo: 30seg</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 102E.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:06/01/1995</li> <li>hora:21:14</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: e-w</li> <li>tiempo del sismo: 16.72seg</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101N.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:26/04/1993</li> <li>hora:22:22</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: n-s</li> <li>tiempo del sismo: 30.00seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 102N.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:06/01/1995</li> <li>hora:21:14</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: n-s</li> <li>tiempo del sismo: 16.72seg</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 103E.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:25/01/1994</li> <li>hora:0:43</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: e-w</li> <li>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 104E.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:08/08/1993</li> <li>hora:21:16</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: e-w</li> <li>tiempo del sismo: 14.74seg</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 103N.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:25/01/1994</li> <li>hora:0:43</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: n-s</li> <li>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 104N.015</li> <li>tipo de suelo:s3</li> <li>fecha:08/08/1993</li> <li>hora:21:16</li> <li>dt = 0.01</li> <li>componente sísmica: n-s</li> <li>tiempo del sismo: 14.74seg</li> </ul> |

0.25g

Estación sísmica: barrio del centenario

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101E.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 30seg</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 103E.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:25/01/1994<br/>hora:0:43<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101N.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 30seg</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 103N.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:25/01/1994<br/>hora:0:43<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 102E.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 104E.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:08/08/1993<br/>hora:21:16<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 14.74seg</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 102N.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 104N.025<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:08/08/1993<br/>hora:21:16<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 14.74seg</li> </ul> |

0.30g

Estación sísmica: barrio del centenario

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101E.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 30seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101N.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 30.00seg</li> </ul> |
|---|--|

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 102E.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> <li>- Código: 102N.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> <li>- Código: 103E.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:25/01/1994<br/>hora:0:43<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 103N.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:25/01/1994<br/>hora:0:43<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 31.00seg</li> <li>- Código: 104E.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:08/08/1993<br/>hora:21:16<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 14.74seg</li> <li>- Código: 104N.030<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:08/08/1993<br/>hora:21:16<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 14.74seg</li> </ul> |
|---|---|

0.40g

Estación sísmica: barrio del centenario

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101E.040<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 30seg</li> <li>- Código: 102E.040<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> <li>- Código: 102N.040<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:06/01/1995<br/>hora:21:14</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Código: 101N.040<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:26/04/1993<br/>hora:22:22<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 30.00seg</li> <li>dt = 0.01<br/>componente sísmica: n-s<br/>tiempo del sismo: 16.72seg</li> <li>- Código: 103E.040<br/>tipo de suelo:s3<br/>fecha:25/01/1994<br/>hora:0:43<br/>dt = 0.01<br/>componente sísmica: e-w<br/>tiempo del sismo: 31.00seg</li> </ul> |
|--|---|

- Código: 103N.040  
tipo de suelo:s3  
fecha:25/01/1994  
hora:0:43  
dt = 0.01  
componente sísmica: n-s  
tiempo del sismo: 31.00seg
- Código: 104E.040  
tipo de suelo:s3  
fecha:08/08/1993  
hora:21:16
- dt = 0.01  
componente sísmica: e-w  
tiempo del sismo: 14.74seg
- Código: 104N.040  
tipo de suelo:s3  
fecha:08/08/1993  
hora:21:16  
dt = 0.01  
componente sísmica: n-s  
tiempo del sismo: 14.74seg

## **CAPITULO III**

### **ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO ELÁSTICOS**

#### **RESUMEN**

Se inicia con un marco teórico de los espectros de desplazamiento elásticos, para continuar con la generación de los espectros mediante el uso del programa computacional DEGTRA, para los diferentes tipos de suelo, S1, S2, S3, S4, y las diferentes aceleraciones del suelo 0,15g, 0,25g, 0,30g, 0,40g.

Se concluye con la publicación de los diferentes gráficos para los tipos de suelo y para las aceleraciones expuestas.



### 3.7 MARCO TEÓRICO

Un espectro se define como la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad de un mismo amortiguamiento, sometida a una historia de aceleraciones dadas; quedando como resultado que en el eje de las abscisas se presente el periodo o la frecuencia natural de vibración y en el eje de las ordenadas se presente el valor de máxima respuesta que se ha escogido.

Los espectros que normalmente se tiene son de desplazamiento, velocidad y aceleración.

Una definición más sencilla sería de que un espectro de desplazamiento no es más que un diagrama en el cual se muestran los máximos desplazamientos para un período de vibración; también se indico que para obtener un espectro de diseño nos basaremos en los espectros de respuesta que nos proporcionen cada uno de los sismos registrados.

Es importante conocer que el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 presenta un espectro de aceleraciones elástico tomando en cuenta los cuatro perfiles de suelo, con lo cual presenta tres intervalos, representados por tres ecuaciones que lo definen:

$$T < T^* \quad A_d = \alpha \beta A_o \quad (3.1)$$

$$T^* < T < T^+ \quad A_d = \frac{1.25 \alpha A_o S^S}{T} \quad (3.2)$$

$$T > T^+ \quad A_d = \frac{\alpha A_o}{2} \quad (3.3)$$

Donde  $T$  representa el período de vibración de la estructura,  $\alpha$  es un coeficiente de importancia, y  $A_o$  es la aceleración máxima, definida en el mapa de zonificación sísmica. El Código Ecuatoriano de la Construcción muestra también un cuadro de datos (tabla 3.1), donde se muestran los valores que se dará a las variables  $\beta$ ,  $T^*$ ,  $T^+$ ,  $S$ .

El espectro de aceleración elástico que presenta el código está dividido en tres intervalos, en el primero la aceleración de la estructura es directamente proporcional a la aceleración del suelo, en el segundo tramo la aceleración de la estructura es directamente proporcional a la velocidad del suelo, y en la tercera parte la aceleración de la estructura es directamente proporcional al desplazamiento del suelo.

Cada tramo tiene su ecuación que lo representa así:

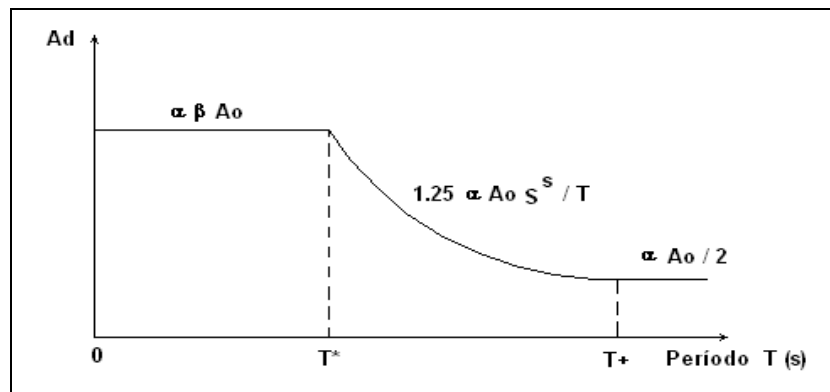


Figura 3.1 Espectro Elástico del CEC 2000

Tabla 3.1 Parámetros del Espectro elástico.

Perfil de suelo	$T^*$ (s)	$T^+$ (s)	$\beta$	$S$
S1	0.50	2.50	2.5	1.0
S2	0.52	3.11	3.0	1.2
S3	0.82	4.59	2.8	1.5
S4	2.00	10.00	2.5	2.0

Las aceleraciones que presenta el Código Ecuatoriano de la Construcción son para un período de retorno de 475 años es decir sismos raros, con probabilidad de excedencia de 10% , cabe indicar que se está diseñando para sismos muy fuertes ya que las aceleraciones de 0.4g, 0.3g, 0.25g, 0.15g son valores muy altos o sea elementos estructurales altos.

### 3.8 USO DEL PROGRAMA DEGTRA

Una vez obtenidos los sismos reales y sintéticos utilizamos DEGTRA, que es un programa computacional que está desarrollado bajo ambiente Windows, fue elaborado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México por el Dr. Mario

Ordaz. Para la presente tesis se ha utilizado DEGTRA A4 que es la última de las versiones mejoradas.

Este programa tiene varias aplicaciones, entre las que se destaca que resulta útil para visualizar y manejar señales, así como para usar filtros, corregir líneas base, integrar, derivar, obtener espectros de amplitud de Fourier, etc. Así mismo el programa realiza tareas como calculo de espectros de respuesta elásticos e inelásticos, operaciones binarias asociadas a dos acelerogramas, etc. En resumen es una herramienta de trabajo muy útil para ingeniería sísmica.

A continuación se indicará el procedimiento para obtener los espectros de desplazamiento elásticos tanto para los sismos reales como para los sintéticos:

- Se abre el programa DEGTRA
- Se pulsa el icono abrir nueva ventana

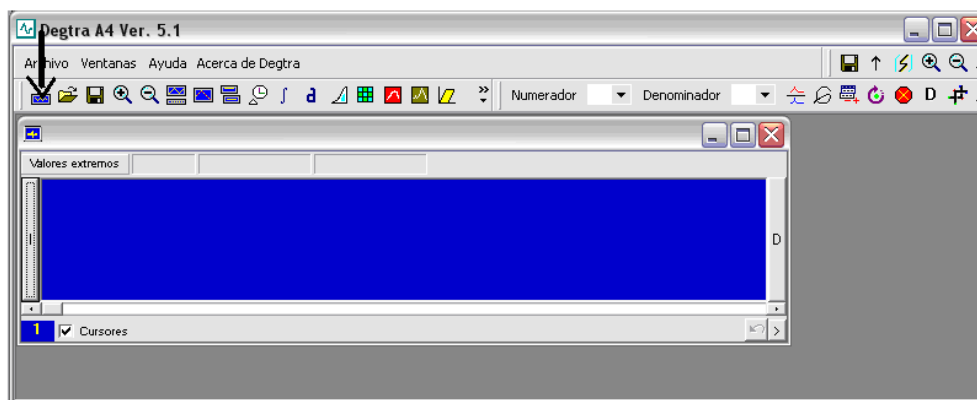


Figura 3.2 Ventana programa DEGTRA A4.

- a continuación se marca el icono Leer Acelerograma y buscamos el sismo requerido, aparecerá una pantalla en la cual se mostrará algunos requerimientos que el programa necesita, como el número de líneas inútiles, y el DT.

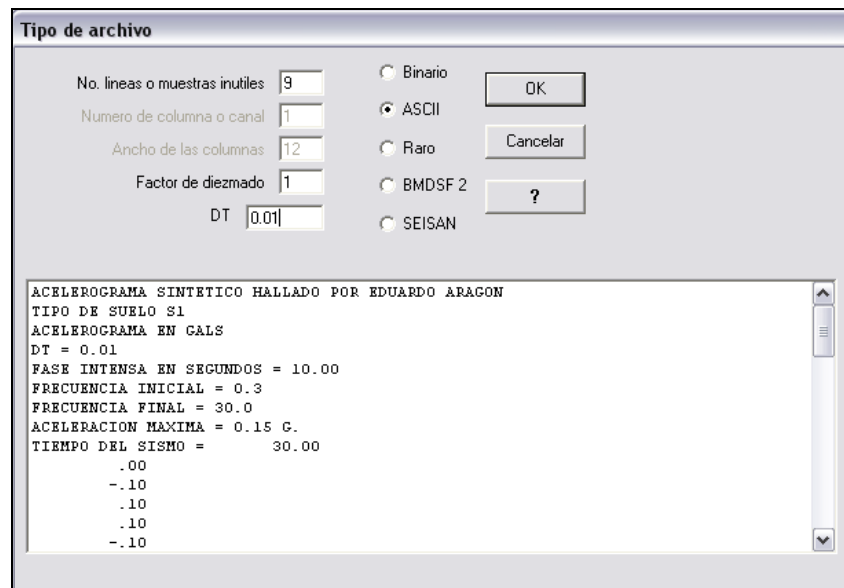


Figura 3.3 Ventana tipo de archivo DEGTRA A4.

- a continuación se mostrará el acelerograma

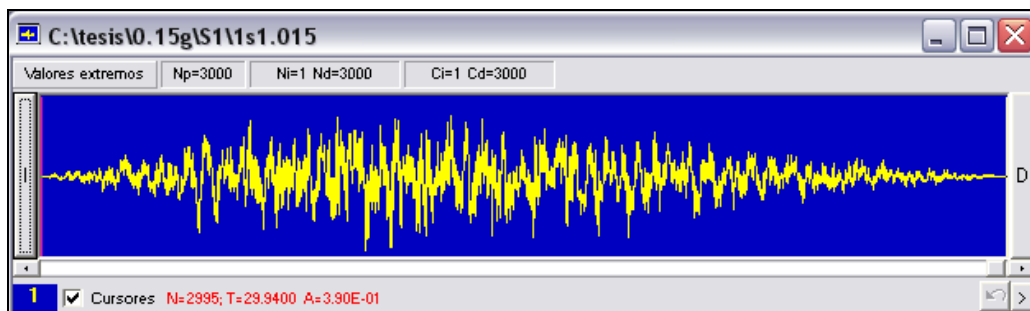


Figura 3.4 acelerograma mostrado por DEGTRA A4.

- una vez mostrado el acelerograma se selecciona en el icono Espectro de Respuesta, aquí aparecerá otra pantalla en la cual también se tendrá que ingresar algunos datos como son el NT número de períodos para los que se calcula el espectro, que para esta tesis será 200 puntos; Tmin período inicial, que será 0.01; Tmax período final que será 3; Csi amortiguamiento que será 0.05.

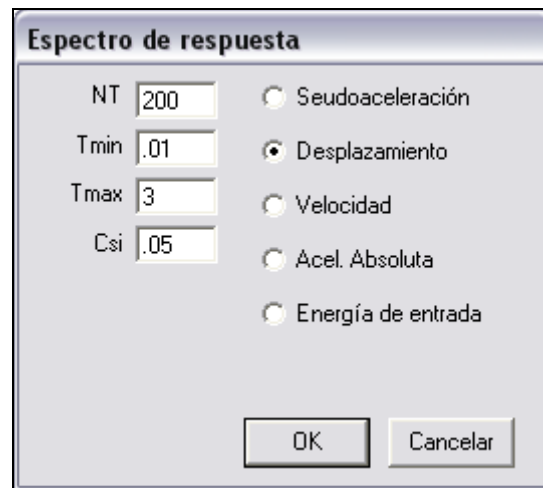


Figura 3.5 ventana espectro elástico DEGTRA A4.

- con lo antes indicado se obtiene el espectro elástico de desplazamiento

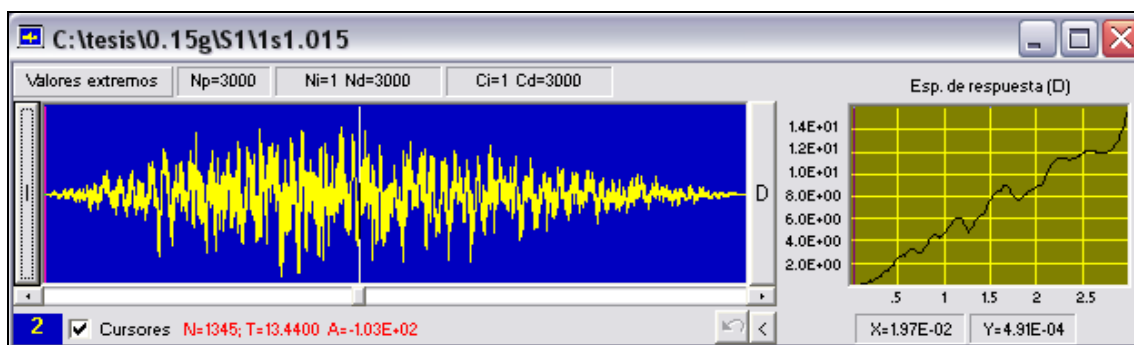


Figura 3.6 Espectro de respuesta DEGTRA A4

### 3.9 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.15g

Con los valores obtenidos de los espectros de respuesta y con ayuda de una hoja de excel se obtuvo los siguientes resultados para cada uno de los tipos de suelo en estudio mostrando gráficas que a continuación se presentarán:

#### 3.9.1 ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S1

En la grafica 3.7 se puede observar que se han agrupado los registros sísmicos de aceleración máxima de suelo igual a 0.15g para un perfil de suelo S1, es decir 12 acelerogramas reales y 7 sintéticos

Los sismos sintéticos van de sd1 a sd7 y los reales del sd8 al sd19, como se puede ver los sismos sintéticos están agrupados en la parte superior y los reales en la parte inferior, tenemos además y con línea más gruesa el valor medio de los espectros de desplazamiento.

Los códigos usados en las gráficas se aplicaran tanto a espectros elásticos como inelásticos y son los siguientes:

Tabla 3.2 Códigos para gráficos de espectros elásticos e inelásticos.

	CODIGO	GRAFICO
sismos sintéticos	1s1.015	sd1
	2s1.015	sd2
	3s1.015	sd3
	4s1.015	sd4
	5s1.015	sd5
	6s1.015	sd6
	7s1.015	sd7
sismos reales	201E.015	sd8
	201N.015	sd9
	202E.015	sd10
	202N.015	sd11
	203E.015	sd12
	203N.015	sd13
	204E.015	sd14
	204N.015	sd15
	205E.015	sd16
	205N.015	sd17
	301E.015	sd18
	301N.015	sd19

sismos sintéticos	1s2.015	sd20
	2s2.015	sd21
	3s2.015	sd22
	4s2.015	sd23
	5s2.015	sd24
	6s2.015	sd25
	7s2.015	sd26
sismos sintéticos	1s3.015	sd27
	2s3.015	sd28
	3s3.015	sd29
	4s3.015	sd30
	5s3.015	sd31
	6s3.015	sd32
	7s3.015	sd33
sismos reales	101E.015	sd34
	101N.015	sd35
	102E.015	sd36
	102N.015	sd37
	103E.015	sd38
	103N.015	sd39
	104E.015	sd40
	104N.015	sd41
sismos sintéticos	1s4.015	sd42
	2s4.015	sd43
	3s4.015	sd44
	4s4.015	sd45
	5s4.015	sd46
	6s4.015	sd47
	7s4.015	sd48
sismos sintéticos	1s1.025	sd49
	2s1.025	sd50
	3s1.025	sd51
	4s1.025	sd52
	5s1.025	sd53
	6s1.025	sd54
	7s1.025	sd55

sismos reales	201E.025	sd56
	201N.025	sd57
	202E.025	sd58
	202N.025	sd59
	203E.025	sd60
	203N.025	sd61
	204E.025	sd62
	204N.025	sd63
	205E.025	sd64
	205N.025	sd65
	301E.025	sd66
301N.025	sd67	
sismos sintéticos	1s2.025	sd68
	2s2.025	sd69
	3s2.025	sd70
	4s2.025	sd71
	5s2.025	sd72
	6s2.025	sd73
7s2.025	sd74	
sismos sintéticos	1s3.025	sd75
	2s3.025	sd76
	3s3.025	sd77
	4s3.025	sd78
	5s3.025	sd79
	6s3.025	sd80
	7s3.025	sd81
sismos reales	101E.025	sd82
	101N.025	sd83
	102E.025	sd84
	102N.025	sd85
	103E.025	sd86
	103N.025	sd87
	104E.025	sd88
	104N.025	sd89
sismos sintéticos	1s4.025	sd90
	2s4.025	sd91
	3s4.025	sd92
	4s4.025	sd93
	5s4.025	sd94
	6s4.025	sd95
	7s4.025	sd96

sismos sintéticos	1s1.030	sd97
	2s1.030	sd98
	3s1.030	sd99
	4s1.030	sd100
	5s1.030	sd101
	6s1.030	sd102
	7s1.030	sd103
sismos reales	201E.030	sd104
	201N.030	sd105
	202E.030	sd106
	202N.030	sd107
	203E.030	sd108
	203N.030	sd109
	204E.030	sd110
	204N.030	sd111
	205E.030	sd112
	205N.030	sd113
sismos sintéticos	1s2.030	sd116
	2s2.030	sd117
	3s2.030	sd118
	4s2.030	sd119
	5s2.030	sd120
	6s2.030	sd121
	7s2.030	sd122
sismos sintéticos	1s3.030	sd123
	2s3.030	sd124
	3s3.030	sd125
	4s3.030	sd126
	5s3.030	sd127
	6s3.030	sd128
	7s3.030	sd129
sismos reales	101E.030	sd130
	101N.030	sd131
	102E.030	sd132
	102N.030	sd133
	103E.030	sd134
	103N.030	sd135
	104E.030	sd136
	104N.030	sd137

sismos sintéticos	1s4.030	sd138
	2s4.030	sd139
	3s4.030	sd140
	4s4.030	sd141
	5s4.030	sd142
	6s4.030	sd143
	7s4.030	sd144
sismos sintéticos	1s1.040	sd145
	2s1.040	sd146
	3s1.040	sd147
	4s1.040	sd148
	5s1.040	sd149
	6s1.040	sd150
	7s1.040	sd151
sismos reales	201E.040	sd152
	201N.040	sd153
	202E.040	sd154
	202N.040	sd155
	203E.040	sd156
	203N.040	sd157
	204E.040	sd158
	204N.040	sd159
	205E.040	sd160
	205N.040	sd161
sismos sintéticos	1s2.040	sd164
	2s2.040	sd165
	3s2.040	sd166
	4s2.040	sd167
	5s2.040	sd168
	6s2.040	sd169
	7s2.040	sd170
	sismos sintéticos	1s3.040
2s3.040		sd172
3s3.040		sd173
4s3.040		sd174
5s3.040		sd175
6s3.040		sd176
7s3.040		sd177



sismos reales	101E.040	sd178
	101N.040	sd179
	102E.040	sd180
	102N.040	sd181
	103E.040	sd182
	103N.040	sd183
	104E.040	sd184
	104N.040	sd185
sismos sintéticos	1s4.040	sd186
	2s4.040	sd187
	3s4.040	sd188
	4s4.040	sd189
	5s4.040	sd190
	6s4.040	sd191
	7s4.040	sd192

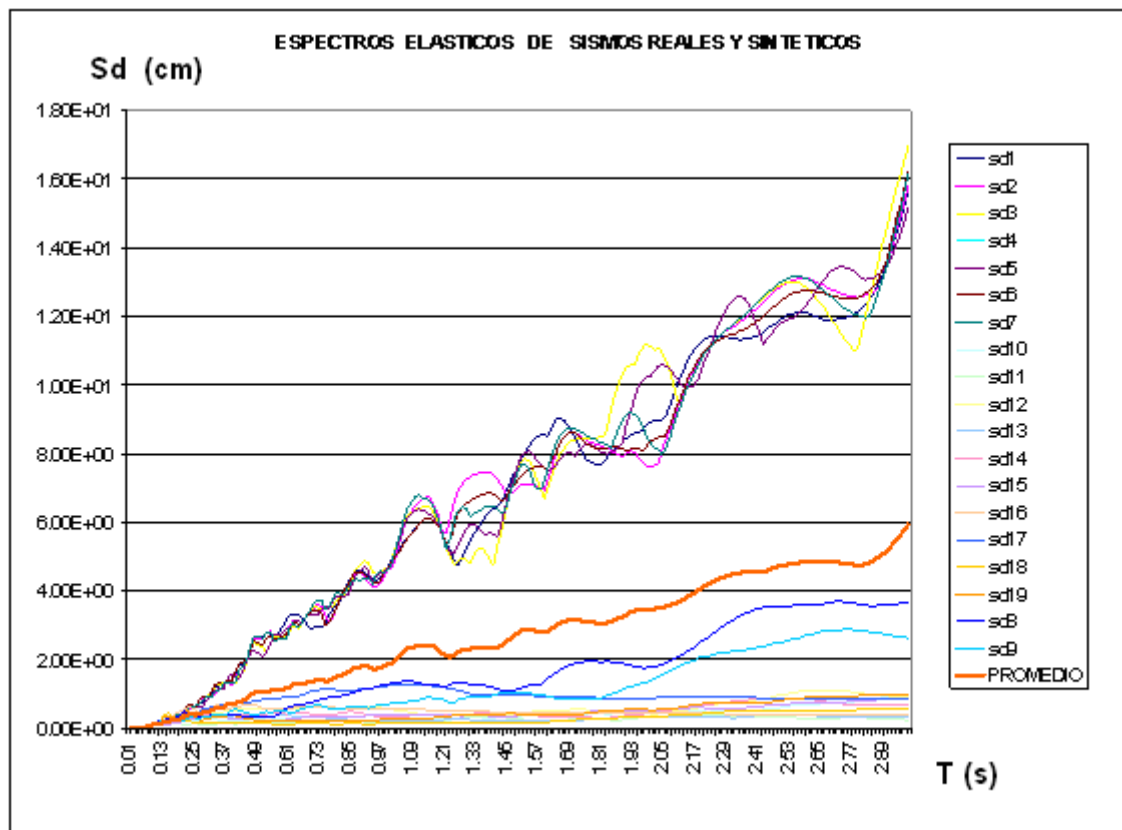


Figura 3.7 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S1

3.9.2 ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S2

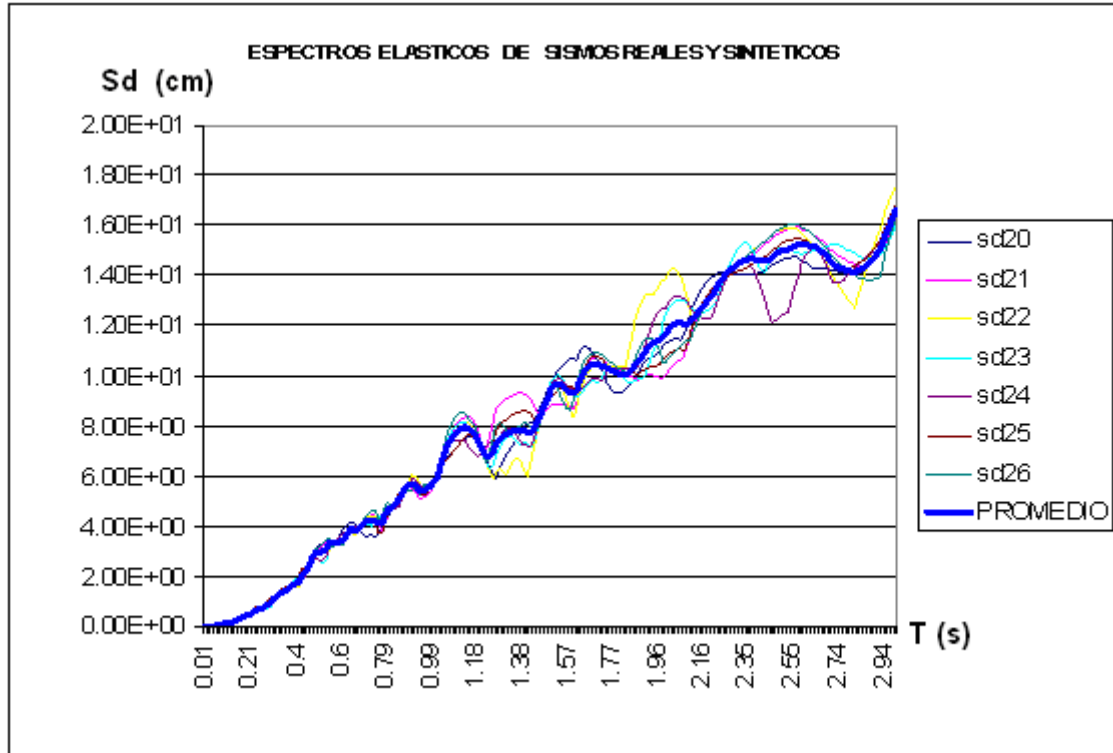


Figura 3.8 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S2

Para una aceleración máxima de suelo de 0.15g y un perfil de suelo s2, se presentan 7 sismos sintéticos, además la línea más gruesa es el valor medio de los espectros de desplazamiento.

3.9.3 ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S3

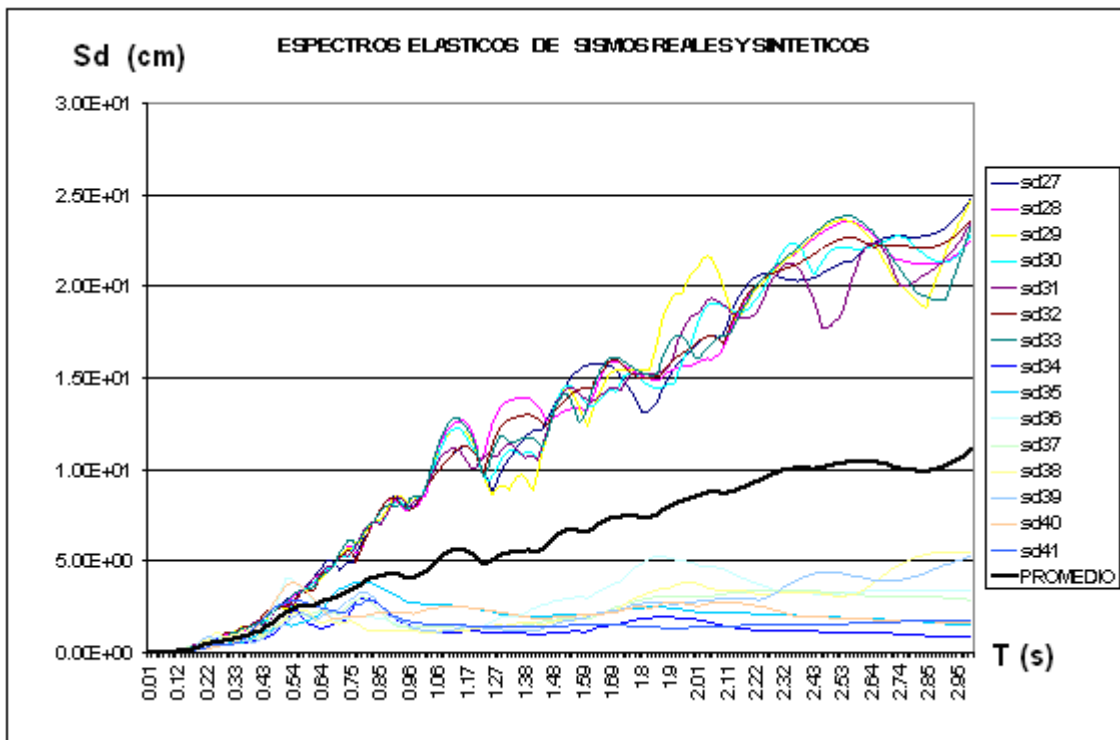


Figura 3.9 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S3

3.9.4 ESPECTROS PARA UN PERFIL DE SUELO S4

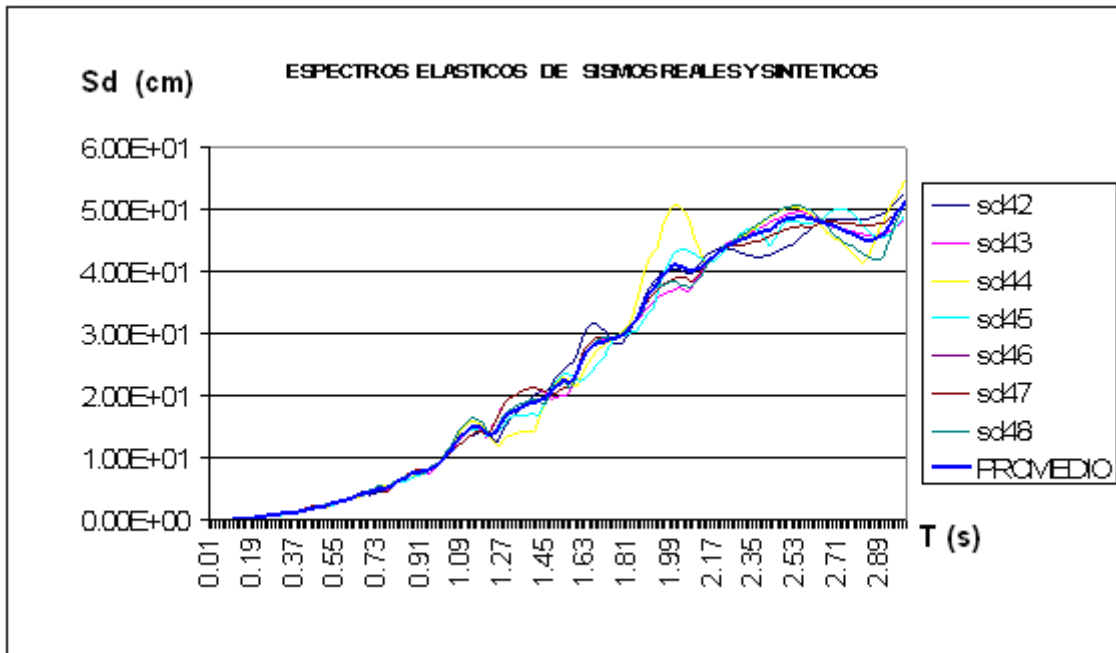


Figura 3.10 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S4

3.10 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.25g

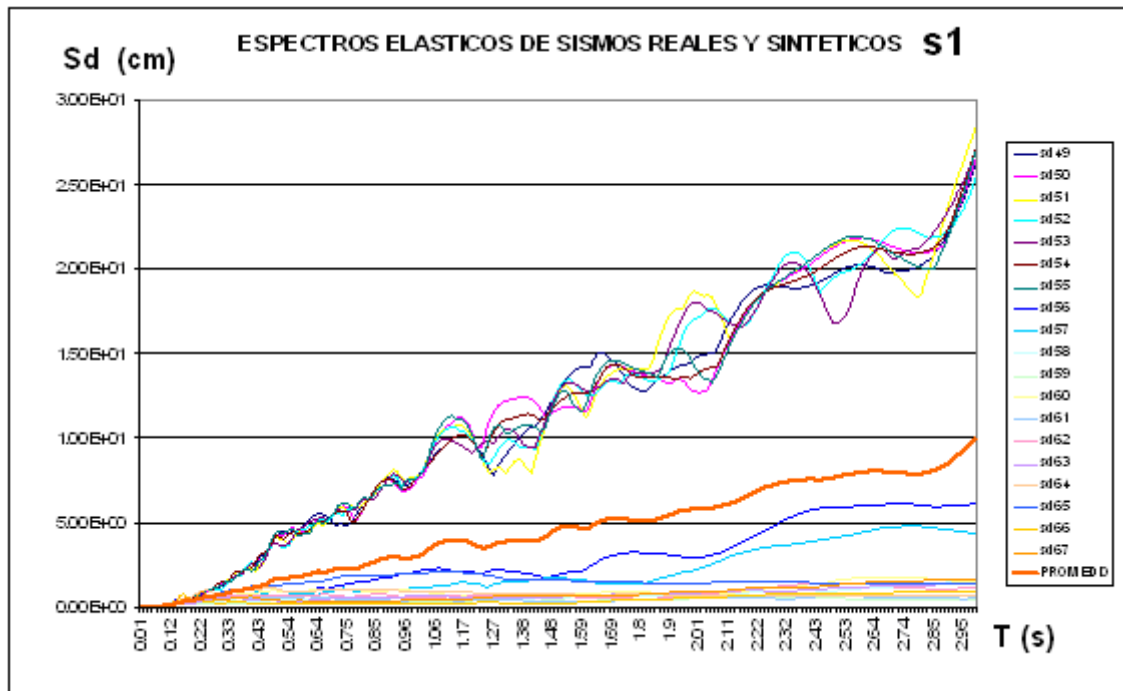


Figura 3.11 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S1 - 0.25g

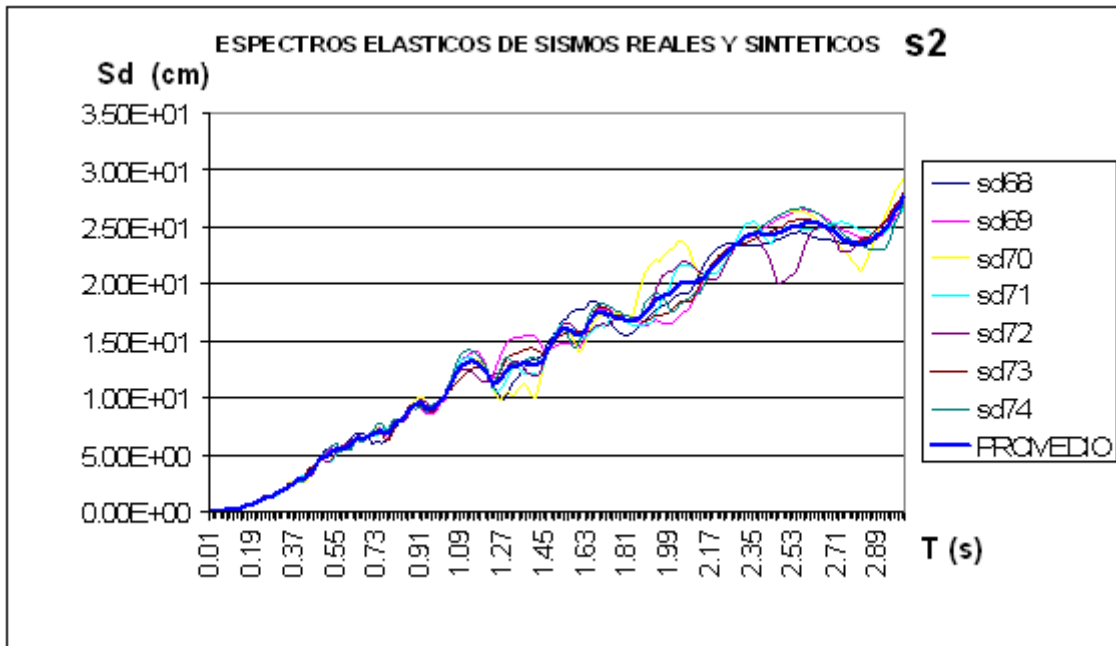


Figura 3.12 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S2 - 0.25g

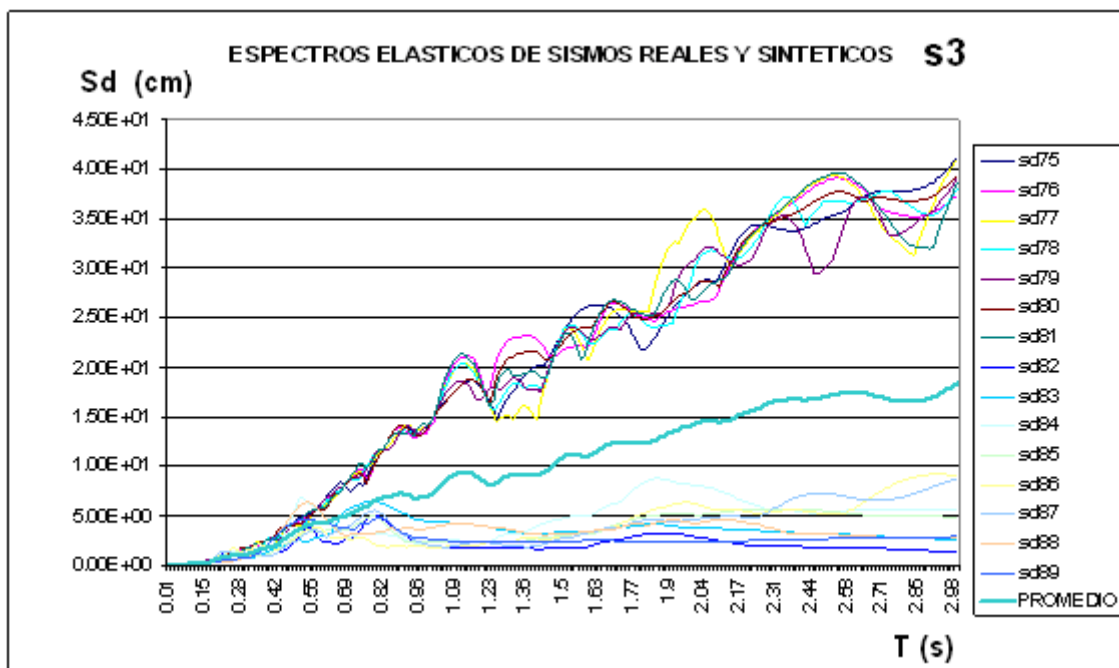


Figura 3.13 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S3 - 0.25g

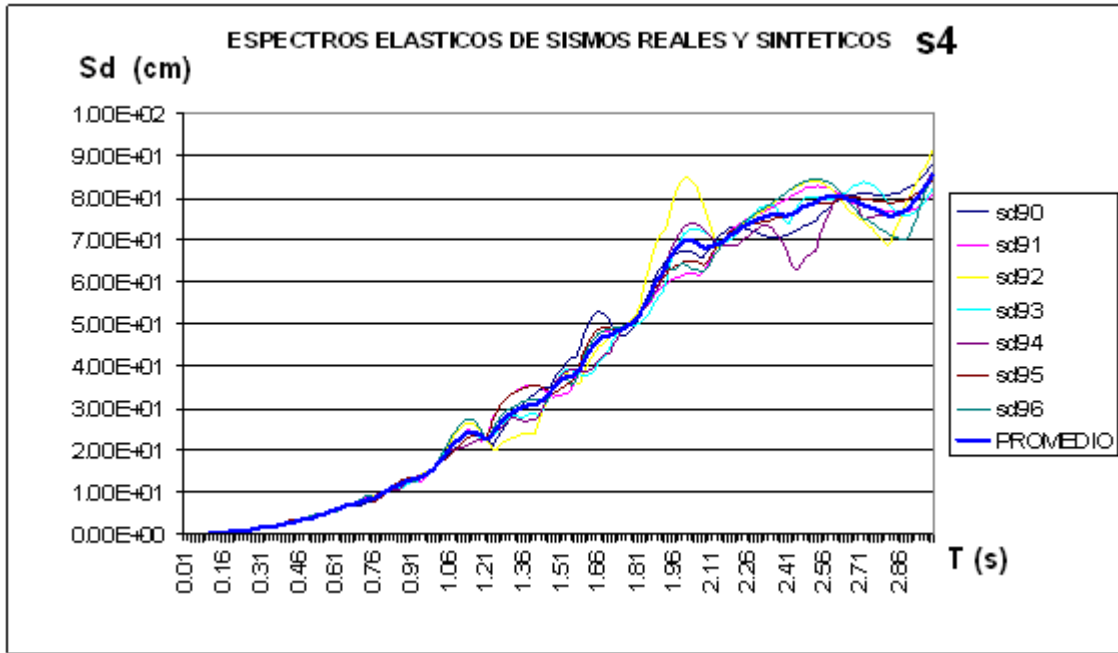


Figura 3.14 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S4 - 0.25g

### 3.11 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.30g

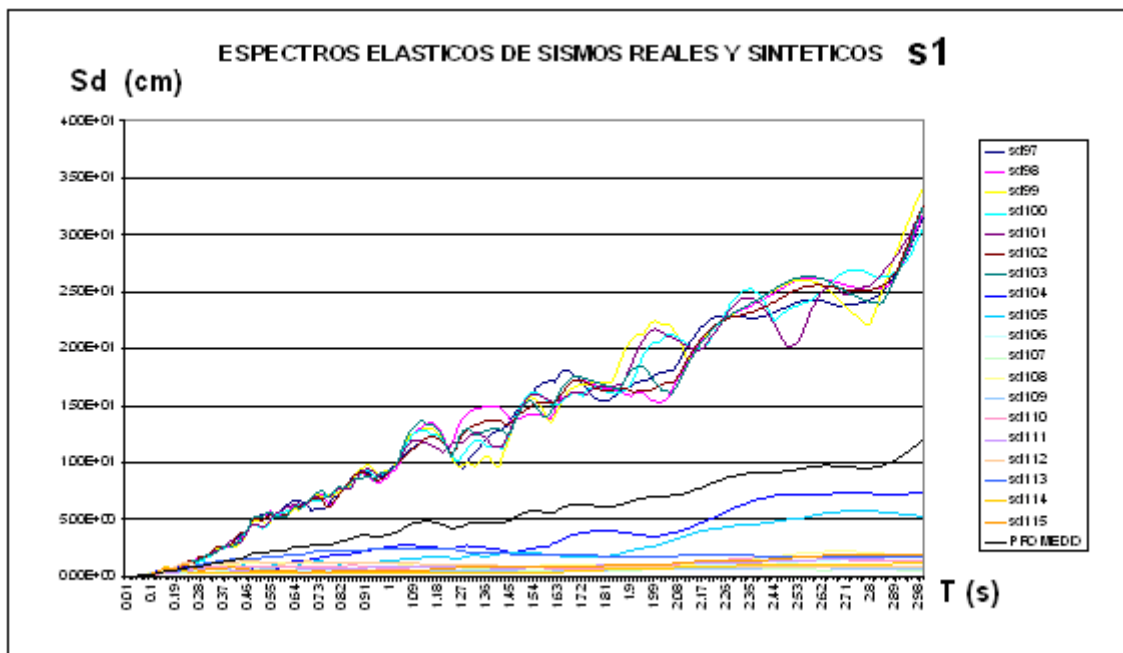


Figura 3.15 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S1 - 0.30g

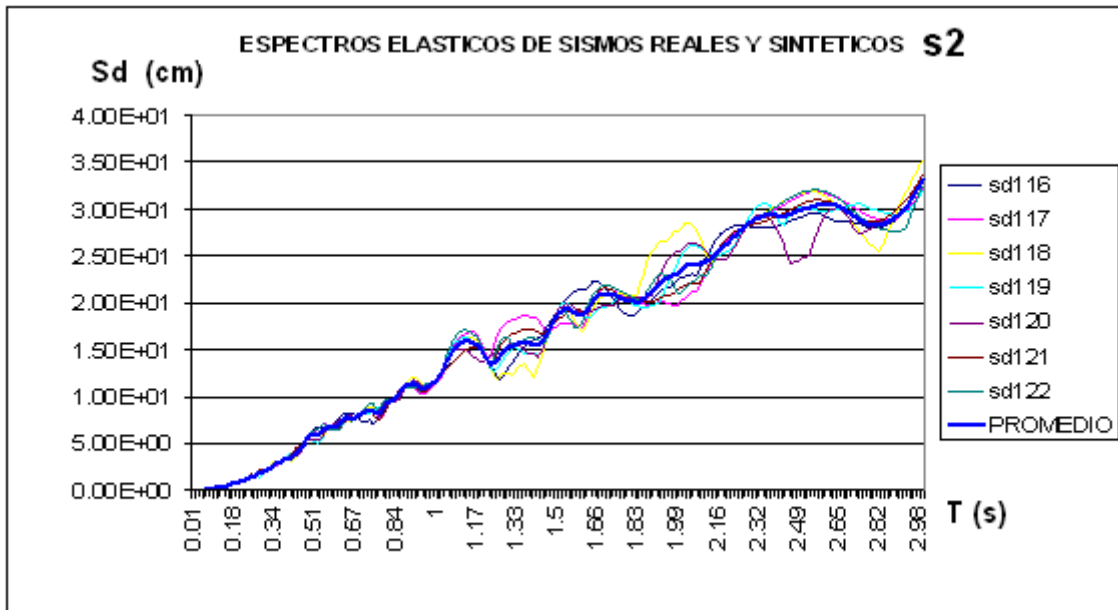


Figura 3.16 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S2 - 0.30g

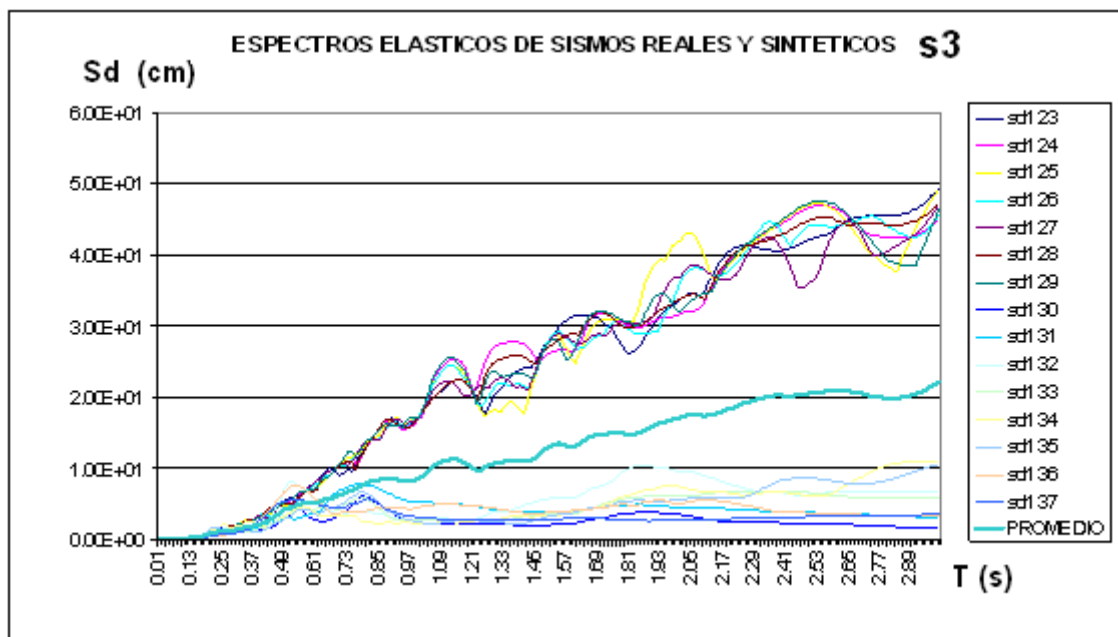


Figura 3.17 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S3 - 0.30g

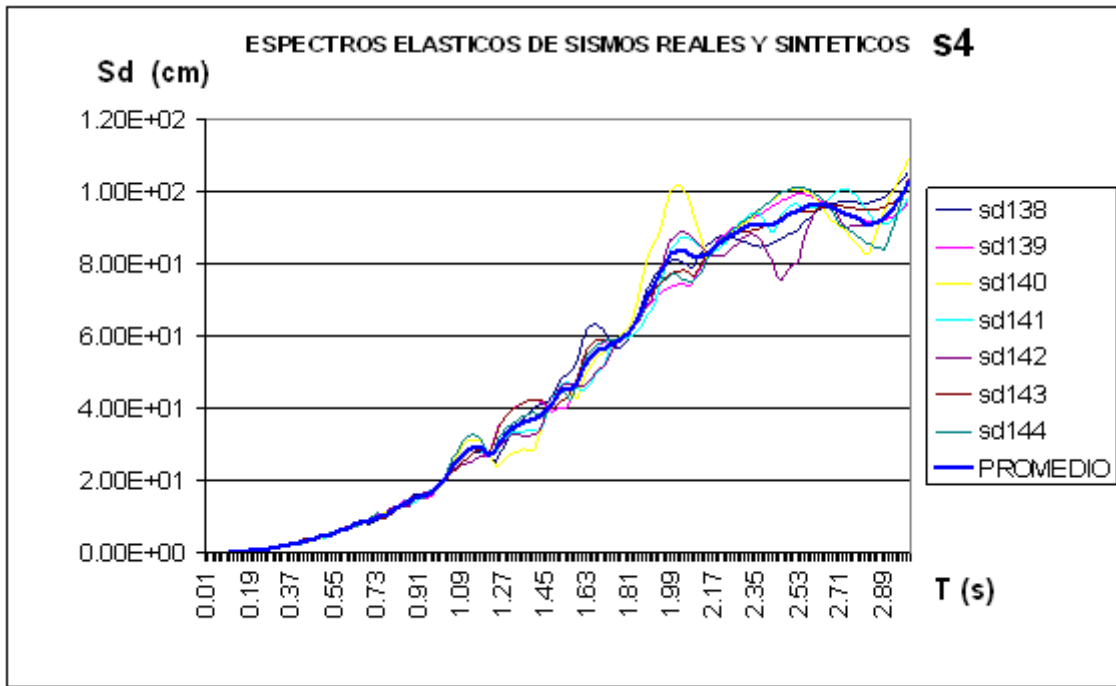


Figura 3.18 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S4 - 0.30g

3.12 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA 0.40g

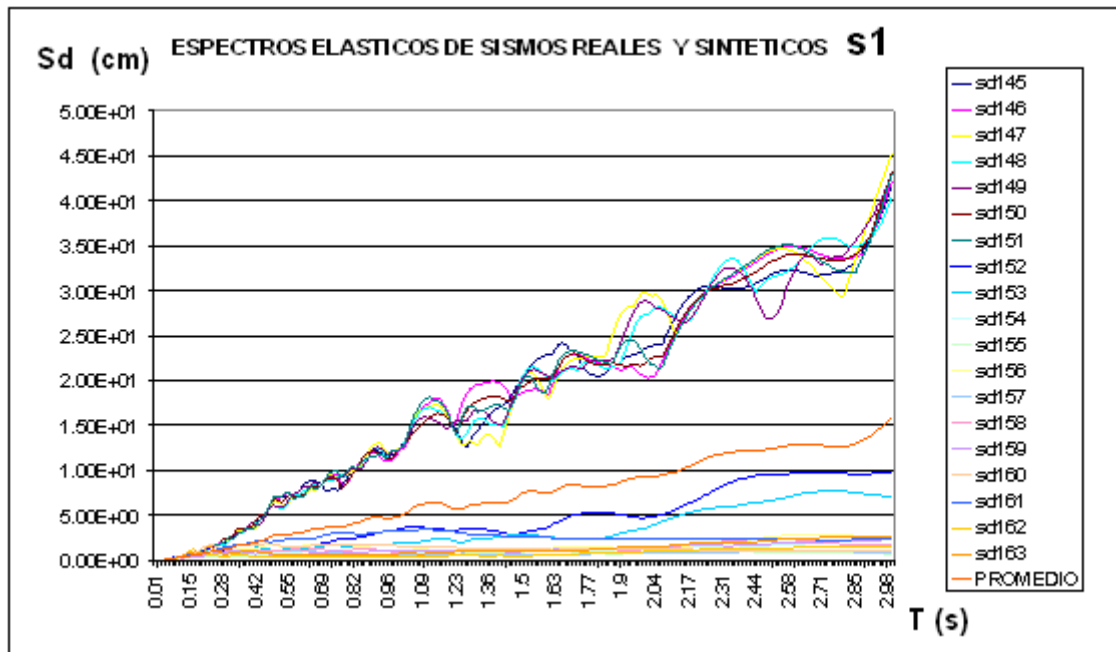


Figura 3.19 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S1 - 0.40g

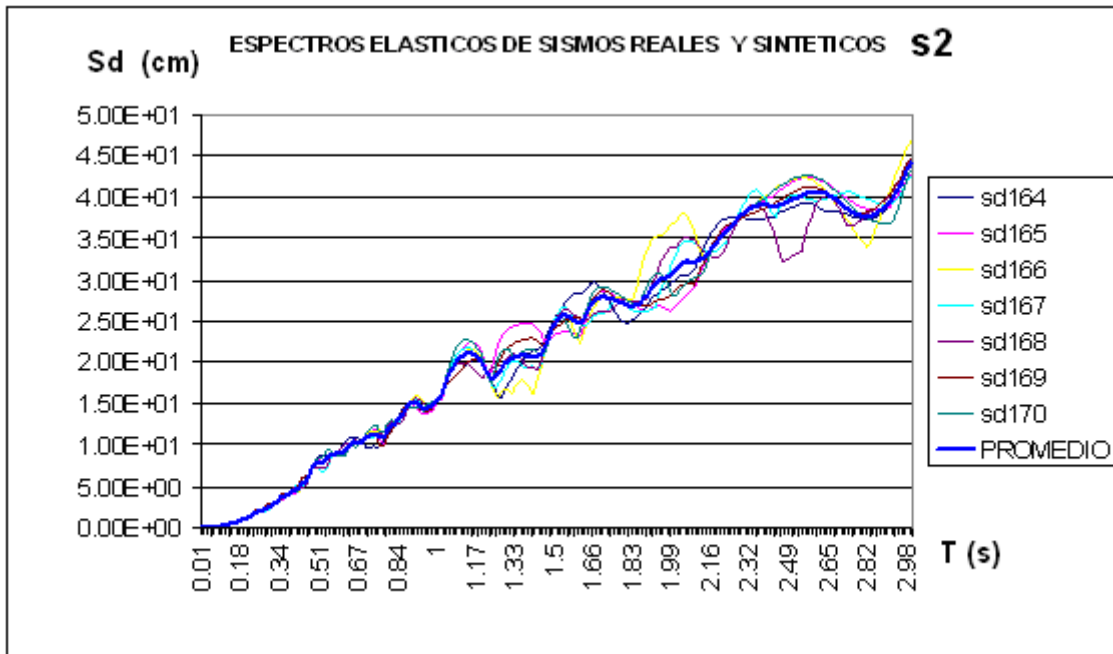


Figura 3.20 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S2 - 0.40g

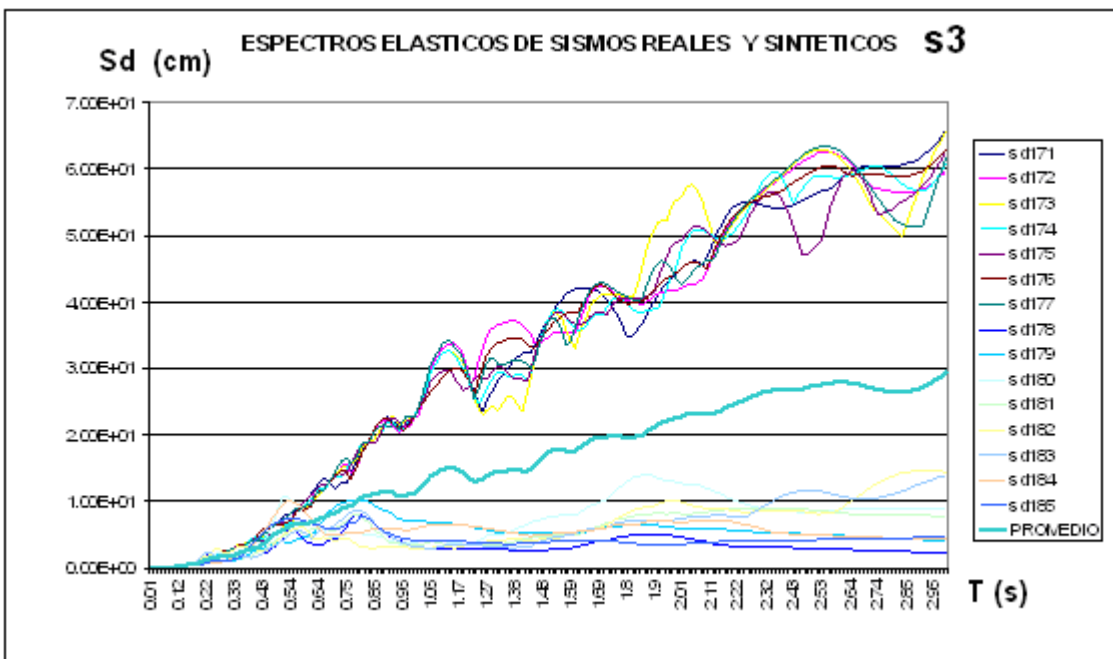


Figura 3.21 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S3 - 0.40g



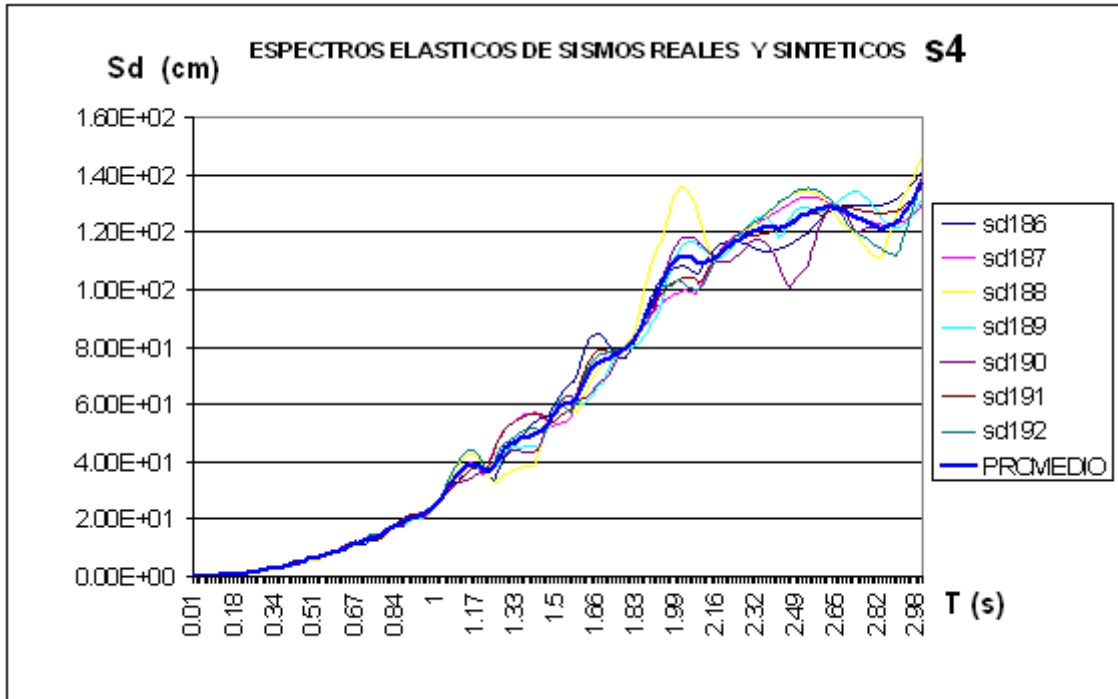


Figura 3.22 Espectros elásticos de sismos reales y sintéticos S4 - 0.40g

Como se pudo observar todos los gráficos presentados mantienen las mismas tendencias es decir los sismos sintéticos agrupados en la parte superior de los gráficos y los sismos reales en la parte inferior también agrupados, adicionalmente se presenta con línea más gruesa el promedio o valor medio de los espectros elásticos.

## **CAPITULO IV**

### **ESPECTROS INELASTICOS DE DESPLAZAMIENTOS**

#### **RESUMEN**

Se inicia el capítulo con un marco teórico sobre los espectros inelásticos de desplazamientos, para luego revisar el uso del programa computacional DEGTRA para la generación de los espectros de desplazamiento inelásticos.

Cabe indicar que se muestran espectros de desplazamiento inelásticos para ductilidades de 2, 3 y 4.

Se concluye el capítulo con gráficos de los espectros de desplazamiento inelástico para los diferentes tipos de suelo, diferentes aceleraciones del suelo y diferentes ductilidades.

4.6 MARCO TEÓRICO

Un espectro inelástico de desplazamiento no es mas que la división del espectro elástico para tres variables que da el Código Ecuatoriano de la Construcción; estas tres variables como se indicó en la Capitulo 1 son  $R \phi_p \phi_e$ , mismas que representan el factor de reducción de las fuerzas sísmicas, la irregularidad en planta, y la irregularidad en elevación respectivamente.

Al igual que el espectro elástico de desplazamiento, en este capítulo se mostrarán las ecuaciones con las cuales se define al espectro inelástico, siendo estas las siguientes:

$$T < T^* \quad A_d = \frac{\alpha \beta A_o}{R \phi_p \phi_e} \quad (4.1)$$

$$T^* < T < T^+ \quad A_d = \frac{1.25 \alpha A_o S^S}{T R \phi_p \phi_e} \quad (4.2)$$

$$T > T^+ \quad A_d = \frac{\alpha A_o}{2 R \phi_p \phi_e} \quad (4.3)$$

Donde cada uno de los términos son los mismos detallados en el capitulo III, sumándose a ellos los términos detallados anteriormente en este mismo capitulo.

Cabe indicar que los ingenieros en nuestro país diseñan sus obras, ocupando el espectro inelástico pues como se puede notar en las ecuaciones existen los factores de  $R \phi_p \phi_e$  que hacen que las fuerzas sean aún mucho menores con lo cual se está abaratando la estructura pero subiendo el riesgo, cosa que es muy peligrosa para las vidas humanas.

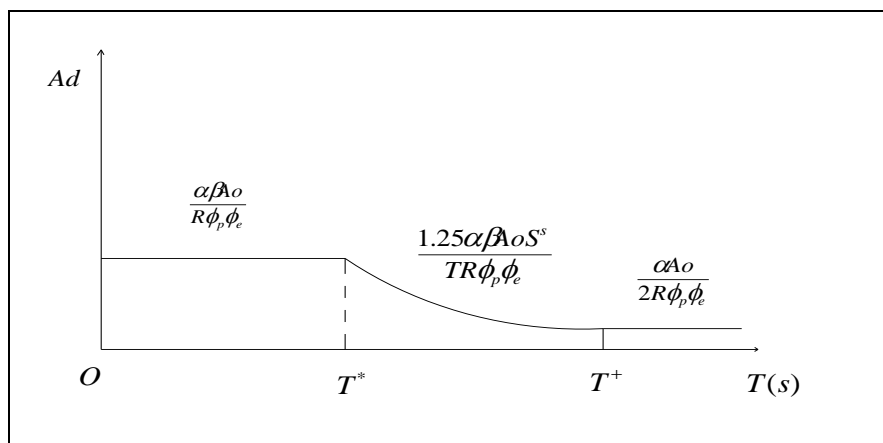


Figura 4.1 Espectro inelástico del CEC.

#### 4.7 USO DEL PROGRAMA DEGTRA

Ahora con el programa computacional DEGTRA se obtiene para cada uno de los acelerogramas, los espectros inelásticos de desplazamiento de la siguiente manera:

- Se accede al programa DEGTRA A4 y se abre una nueva ventana para posteriormente buscar el archivo que deseo calcular su acelerograma y se abre
- Al igual que el caso de los espectros elásticos aparecerá una pantalla Tipo de Archivo que pedirá que se introduzca algunos parámetros para su cálculo.
- Posteriormente se selecciona el icono Espectro Inelástico en el cual nos pedirá que anotemos algunos parámetros como NT número de períodos, Tmin período inicial, Tmax período final, Csi amortiguamiento, Q ductilidad,  $\beta$  rigidez.



Figura 4.2 Ventana del espectro inelástico.

- A continuación la máquina calculará el espectro inelástico de desplazamiento.

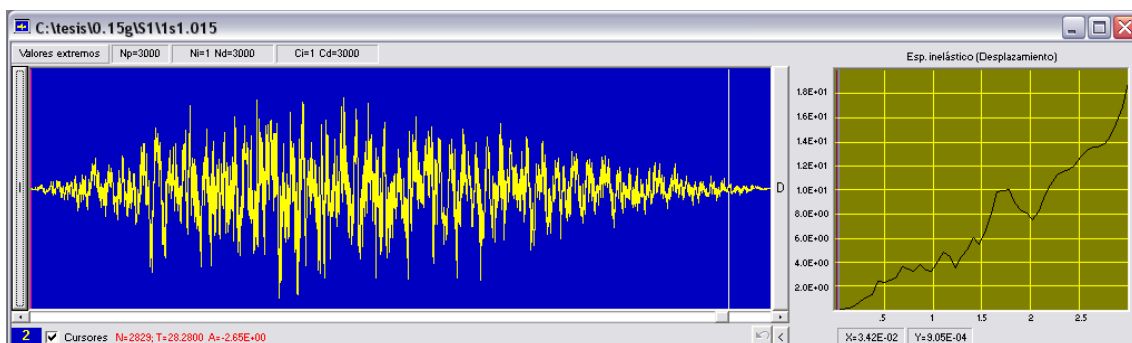


Figura 4.3 Espectro inelástico de desplazamiento.

#### 4.8 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 2

Luego de haber corrido todos los sismos en el programa DEGTRA y haber obtenido los espectros de desplazamiento inelásticos pasaremos esos datos a otro programa fácil de usar como es EXEL en el cual colocaremos todas las corridas de sismos reales y sintéticos para su graficación y comparación divididos por tipo de suelo y aceleración del suelo.

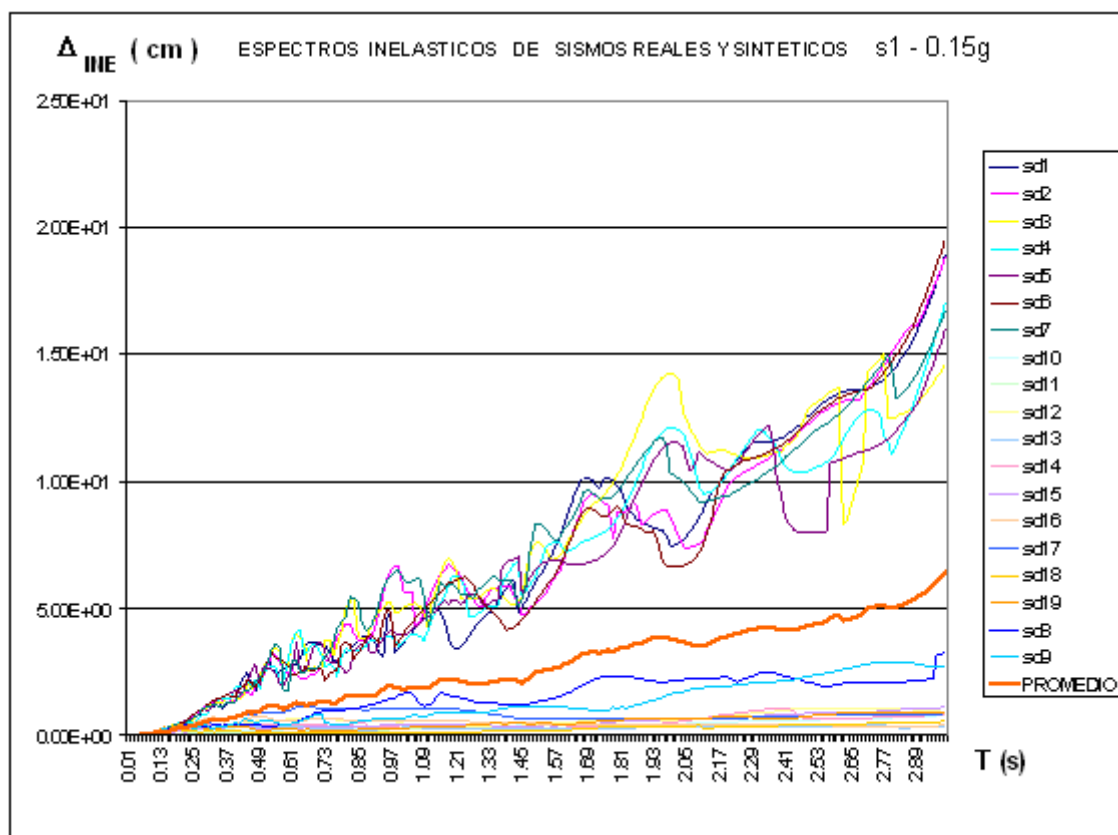


Figura 4.4 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1.

En la fig. 4.4 se presentan los espectros inelásticos de desplazamiento de aceleración máxima de suelo 0.15g, para una tipología de suelo S1 y una ductilidad de 2, se puede apreciar que desde sd1 hasta sd7 son sismos sintéticos y de sd8 a sd19 son sismos reales, también se puede apreciar la tendencia que tiene igual a la de espectros elásticos de agruparse los sintéticos (los de arriba) y los reales (los de abajo), además con línea más gruesa se encuentra la media de los espectros.

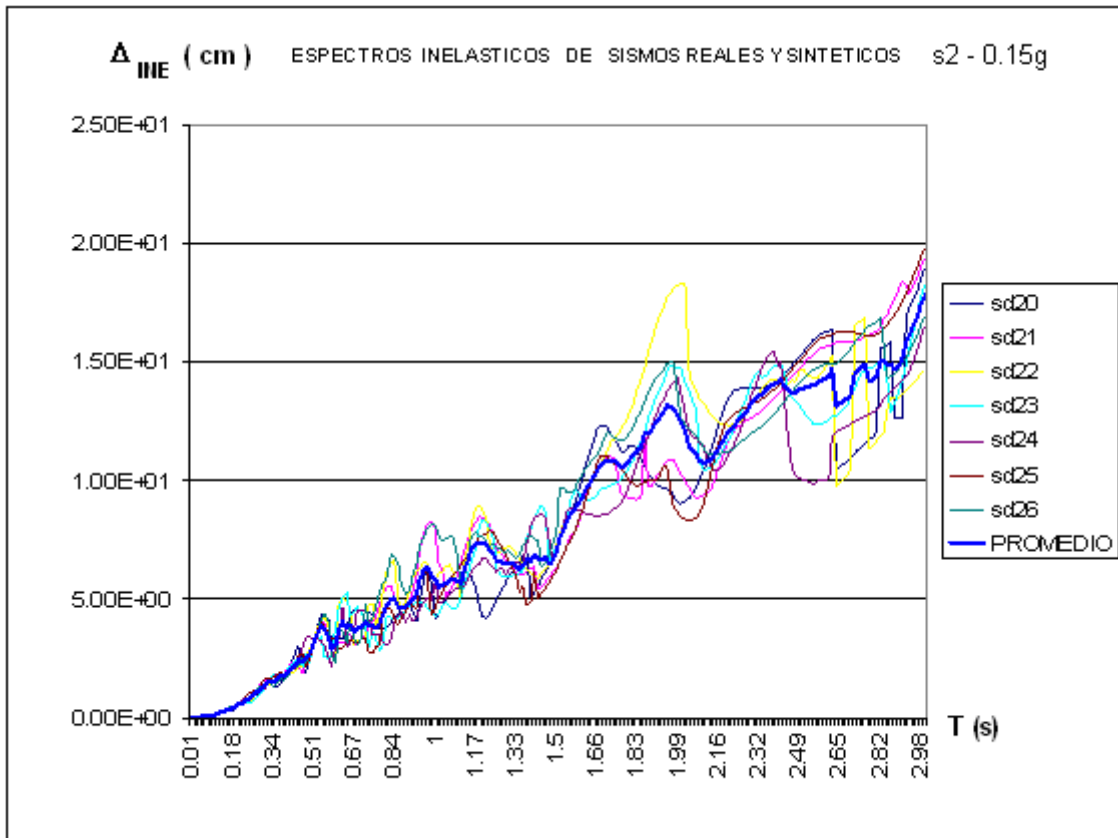


Figura 4.5 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2

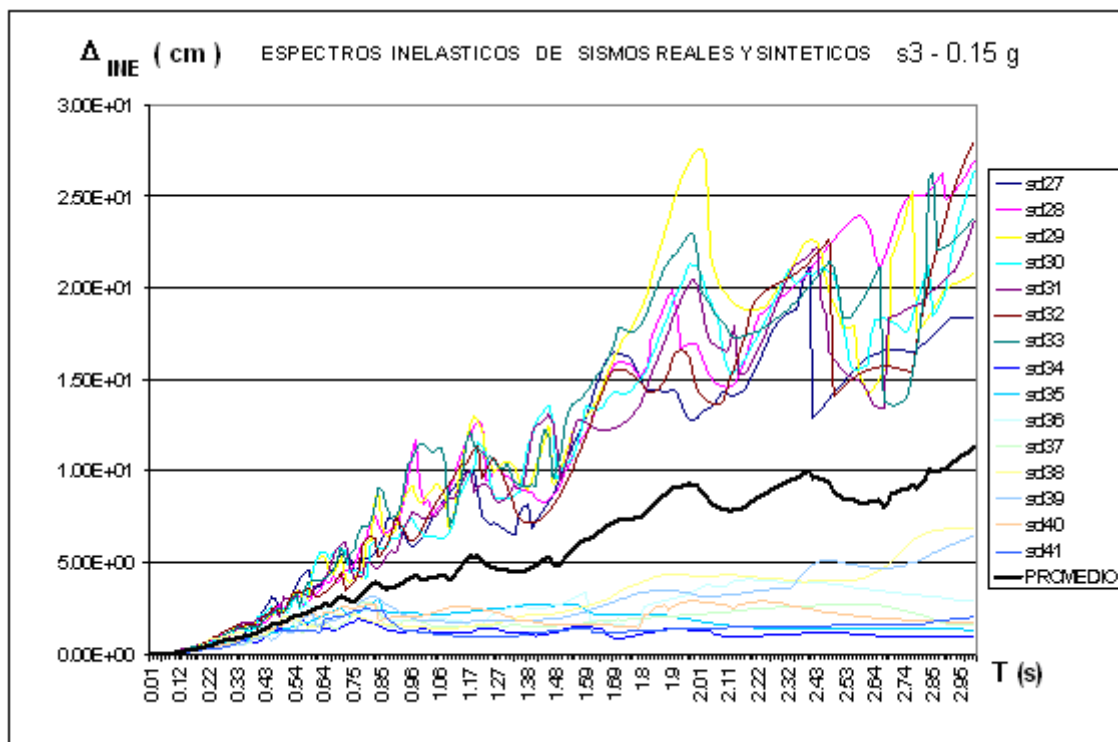


Figura 4.6 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3

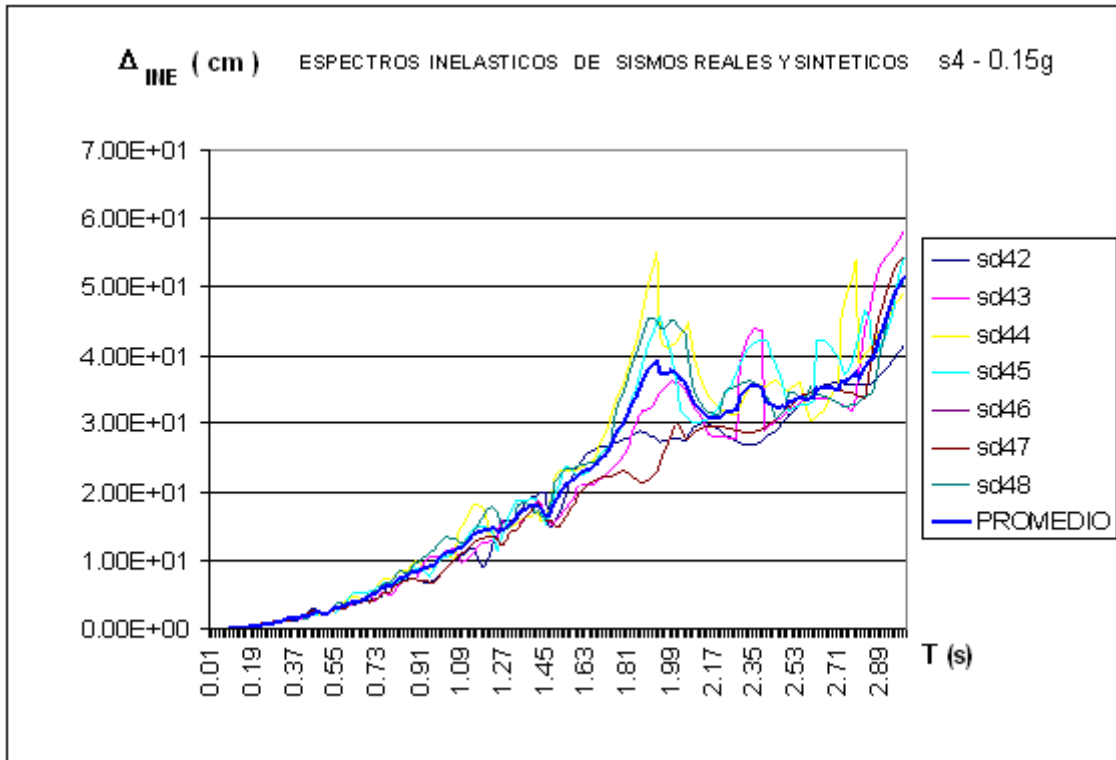


Figura 4.7 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4

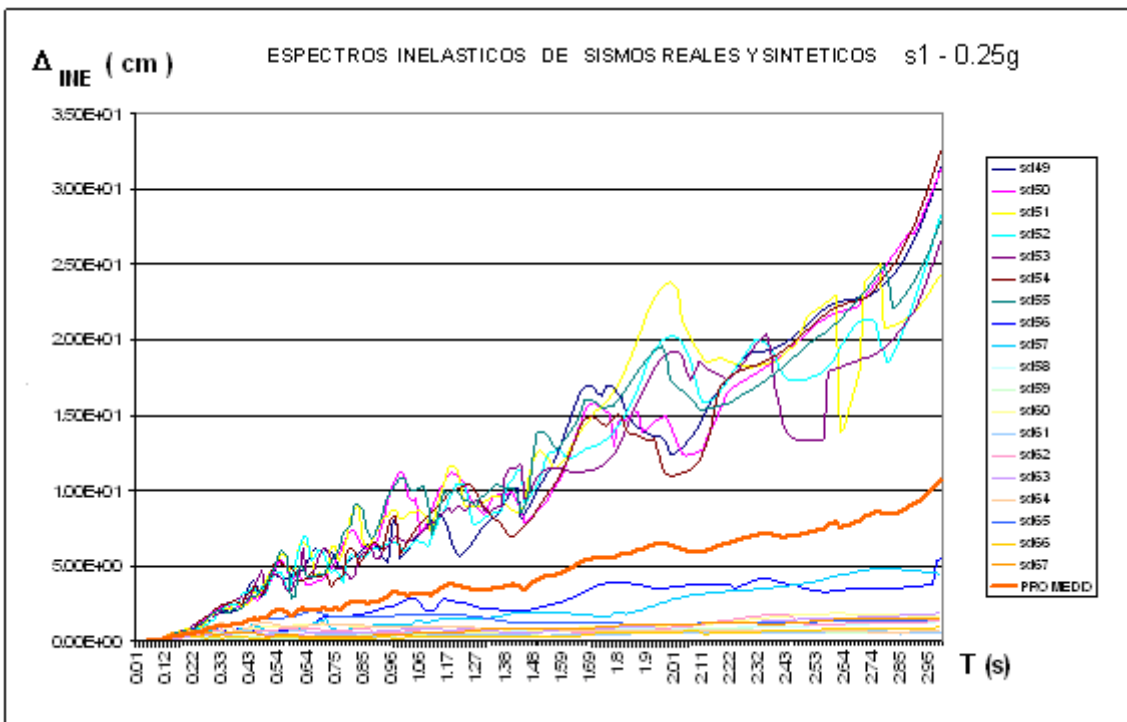


Figura 4.8 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1

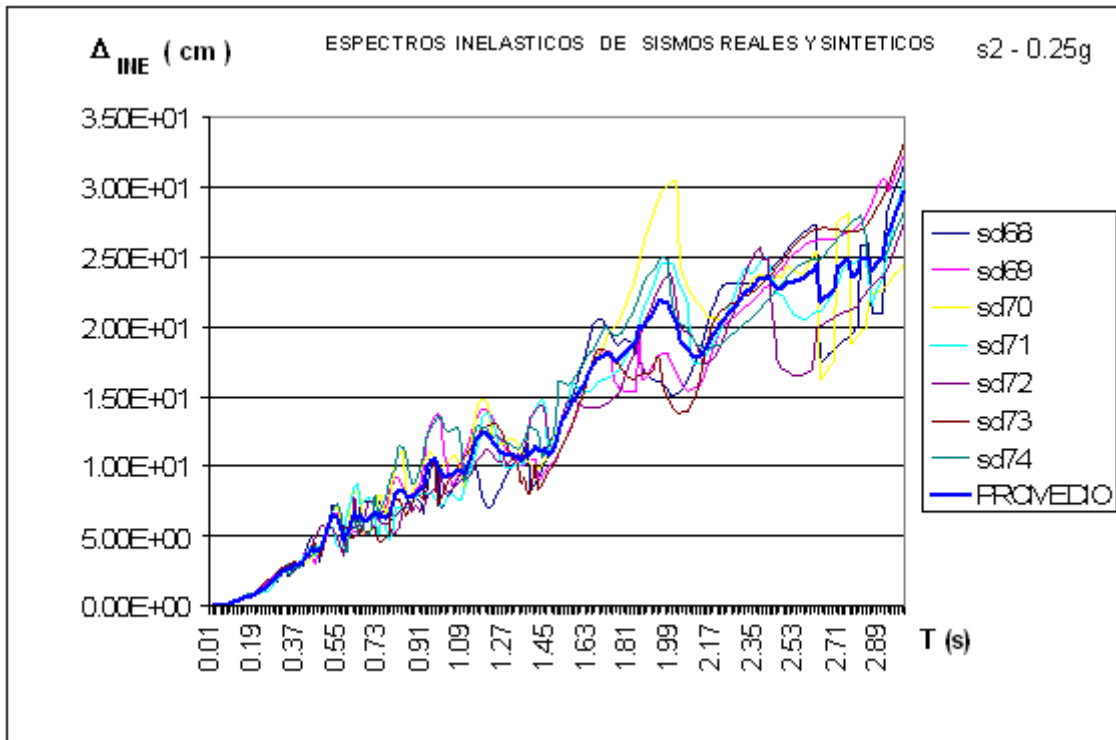


Figura 4.9 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2

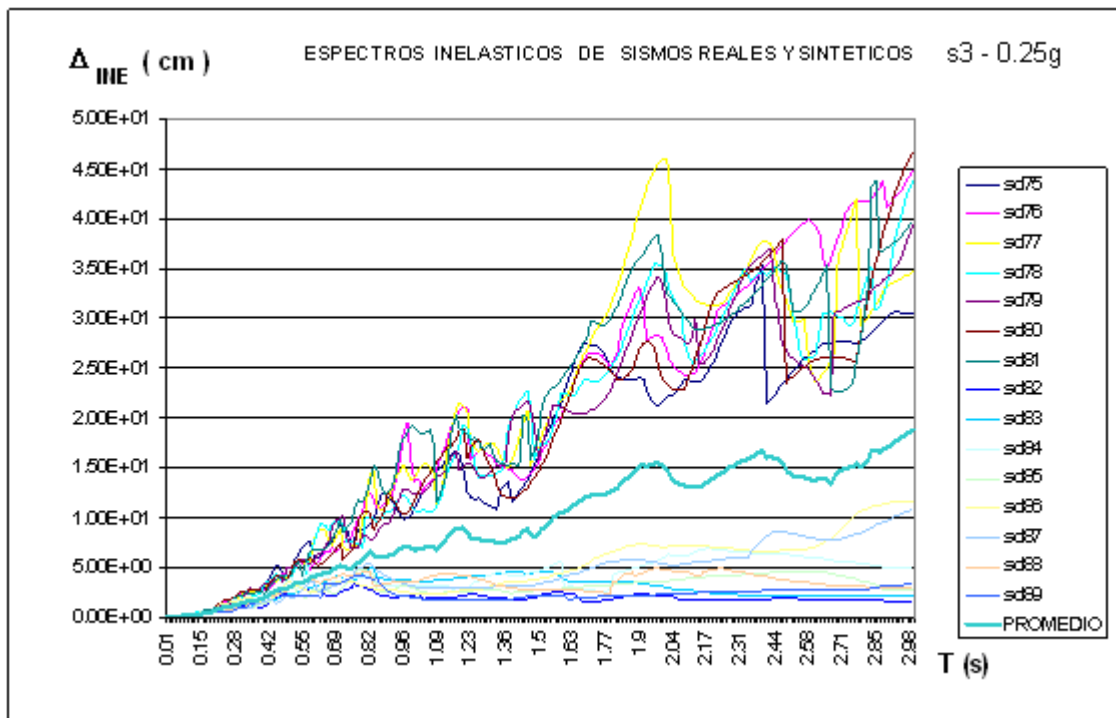


Figura 4.10 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3



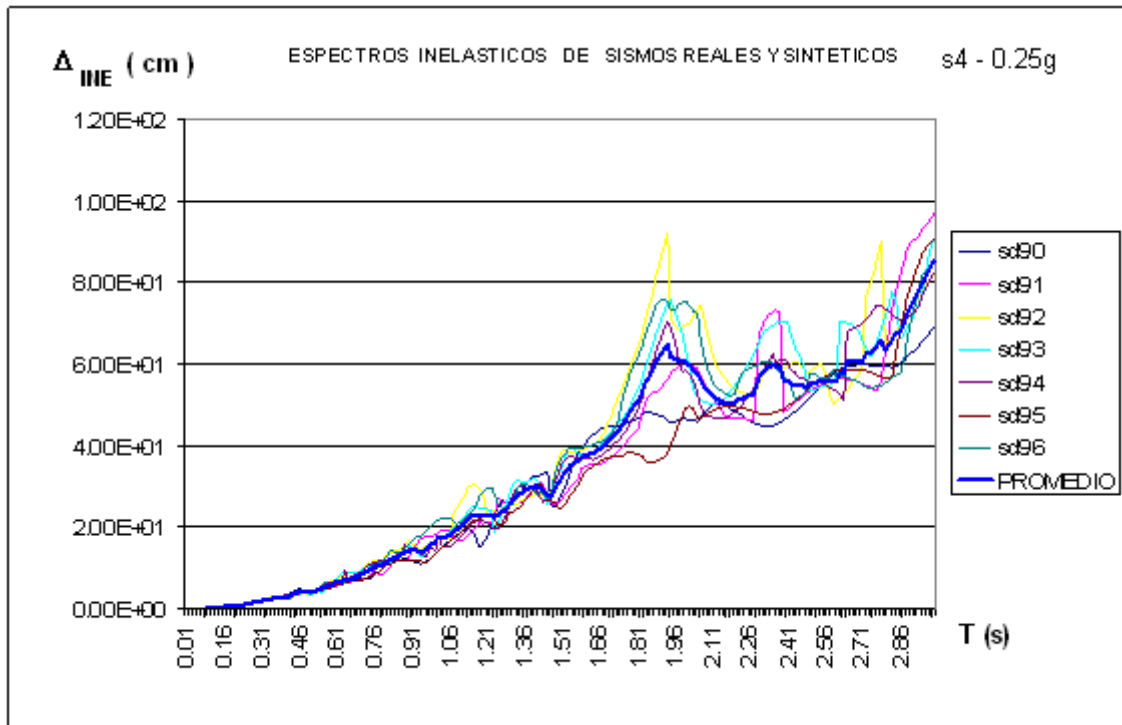


Figura 4.11 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4

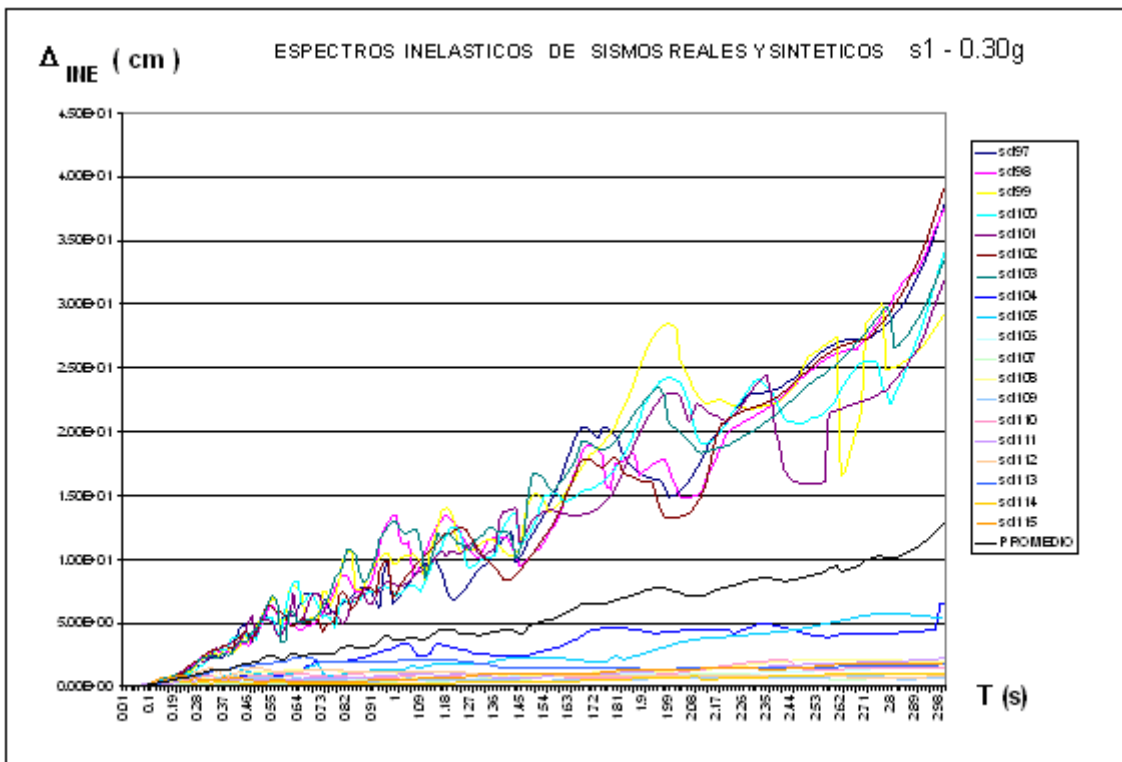


Figura 4.12 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1

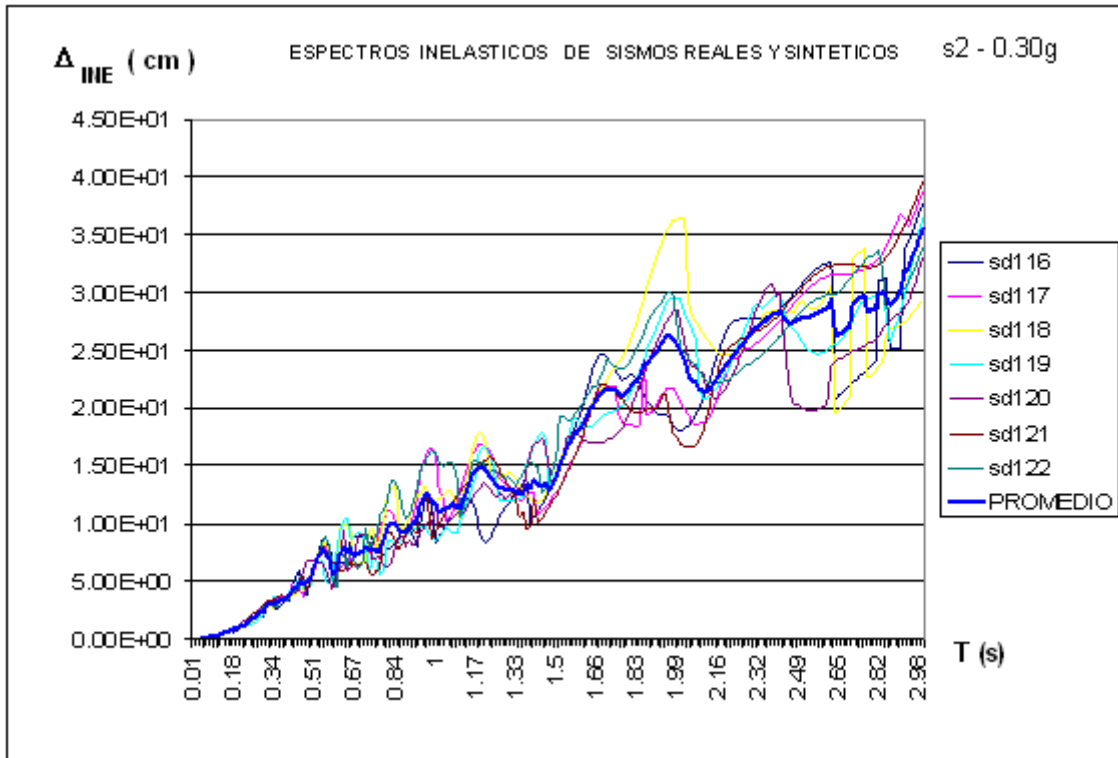


Figura 4.13 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2

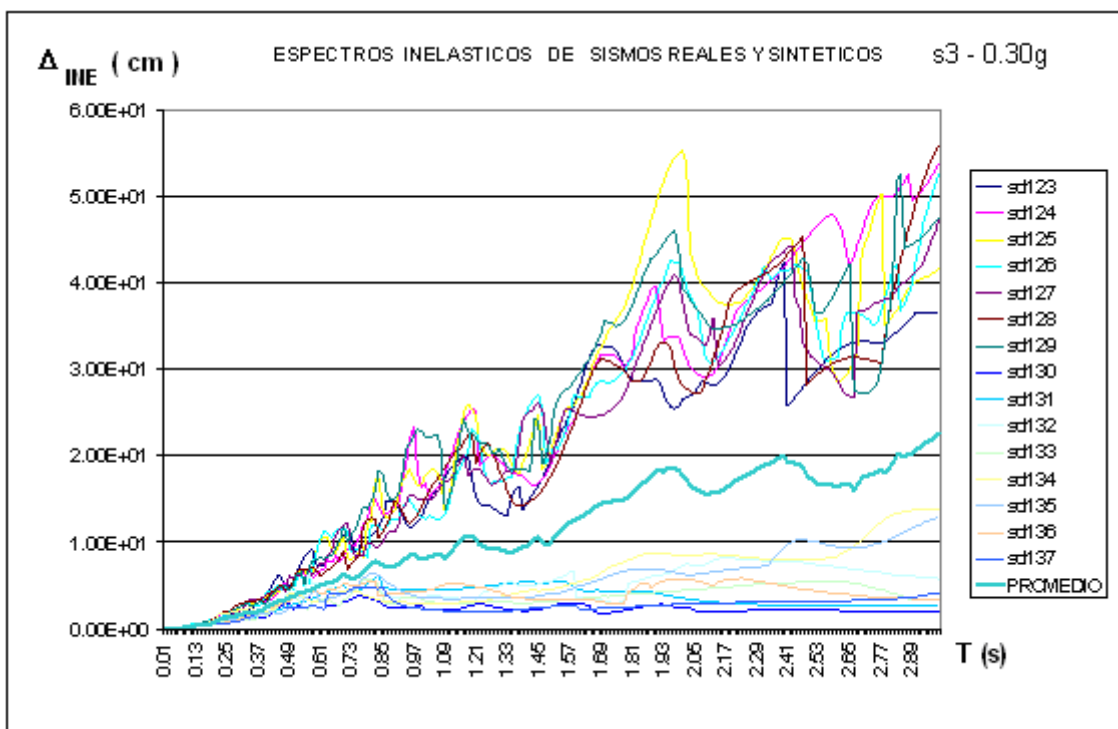


Figura 4.14 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3

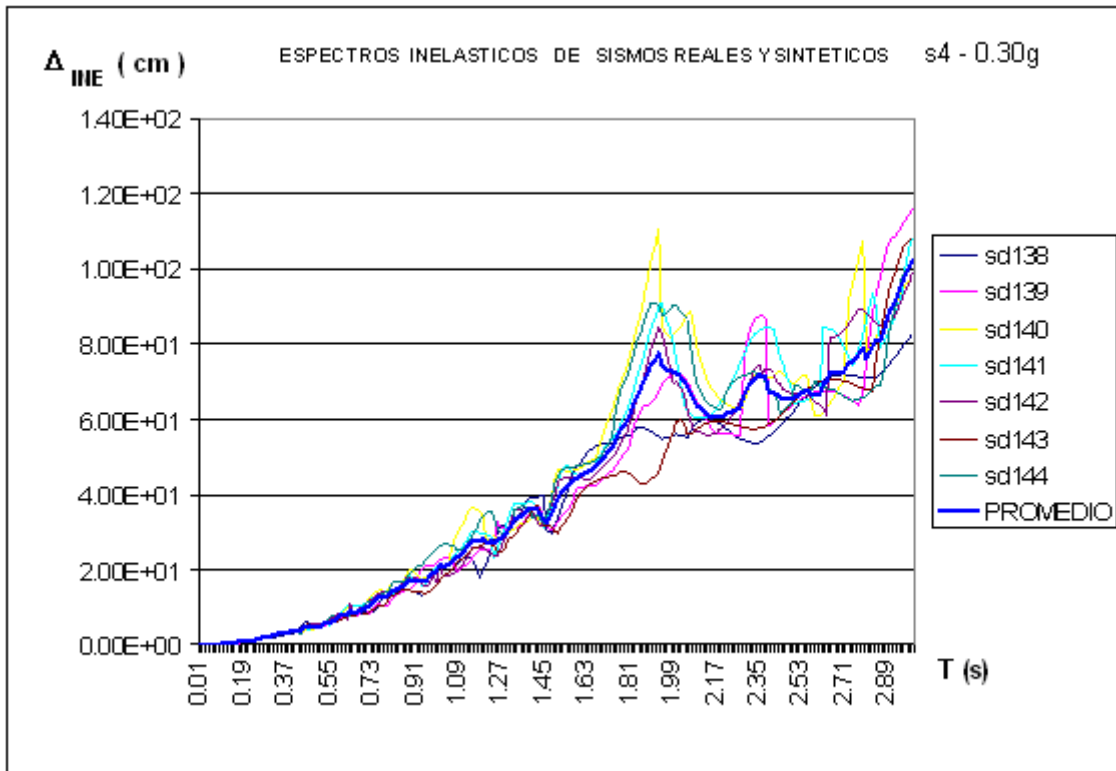


Figura 4.15 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4

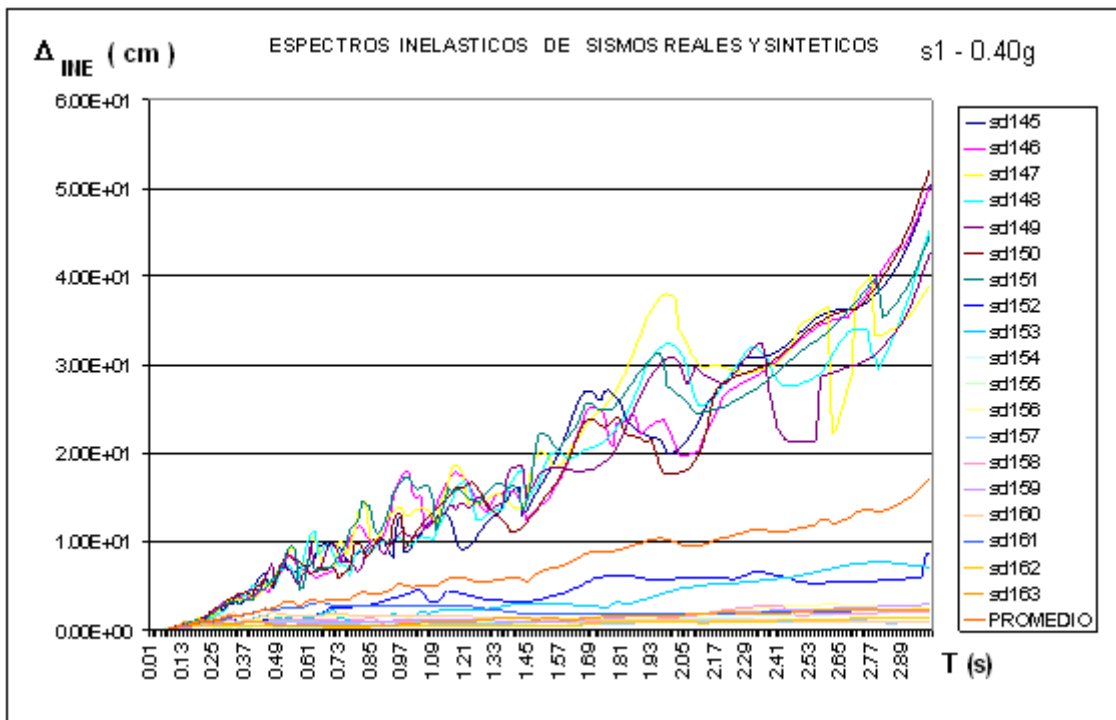


Figura 4.16 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1

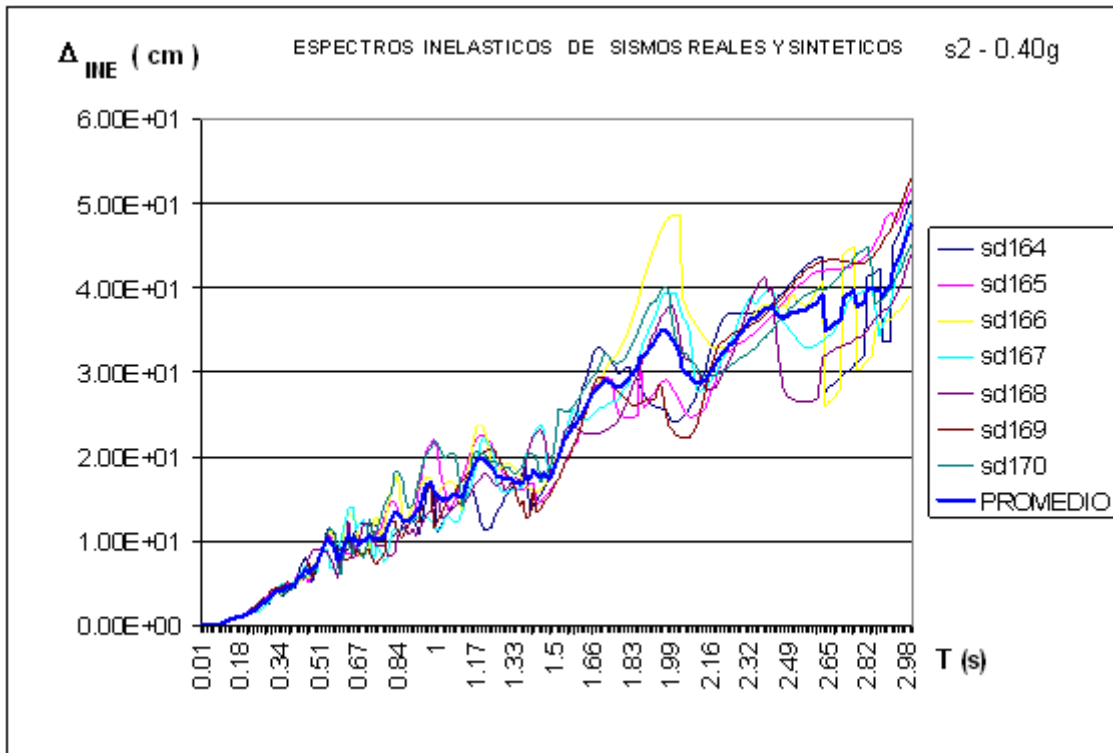


Figura 4.17 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2

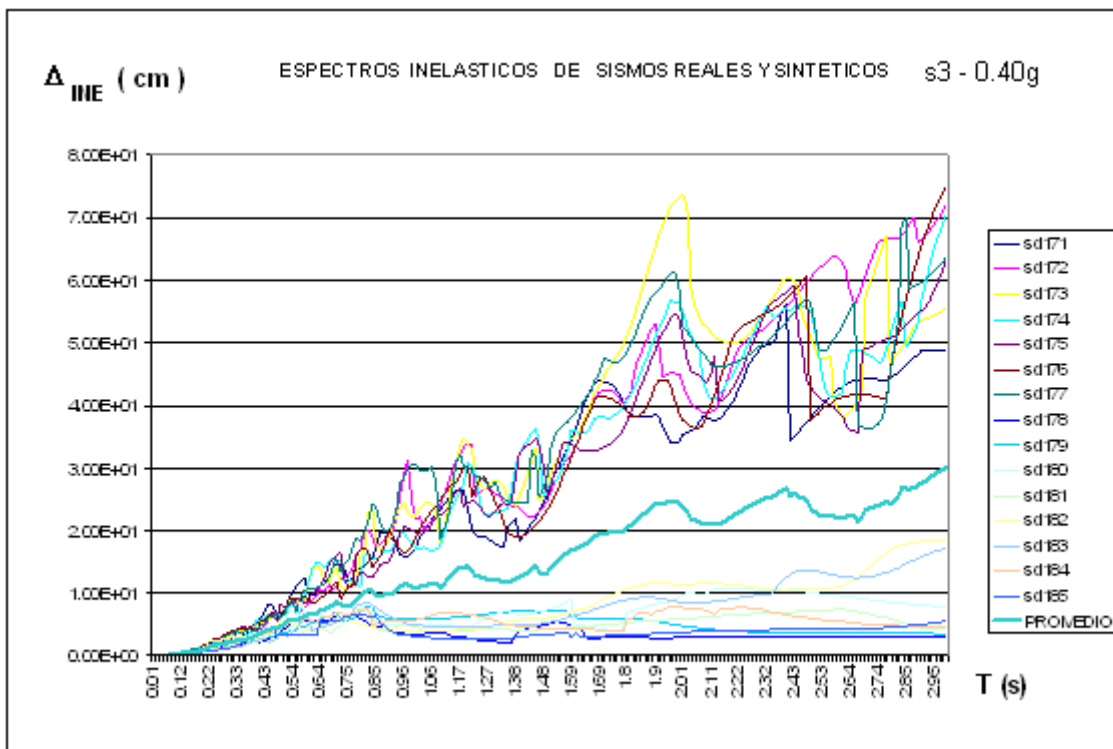


Figura 4.18 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3

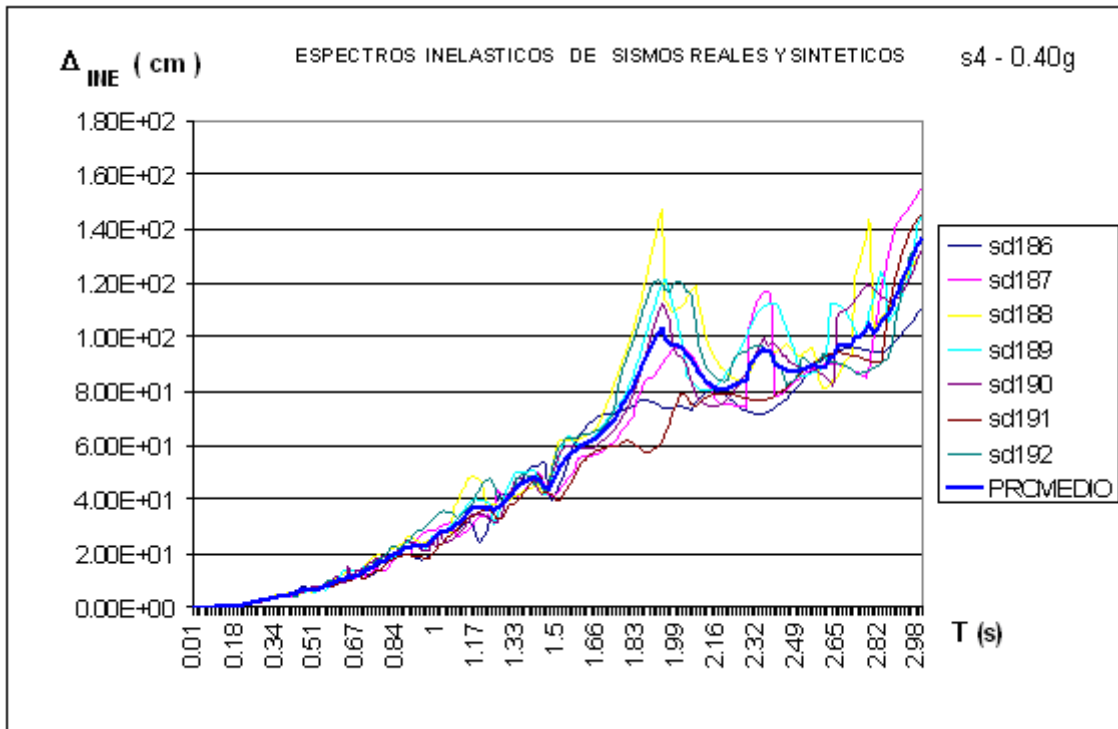


Figura 4.19 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4

#### 4.9 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 3

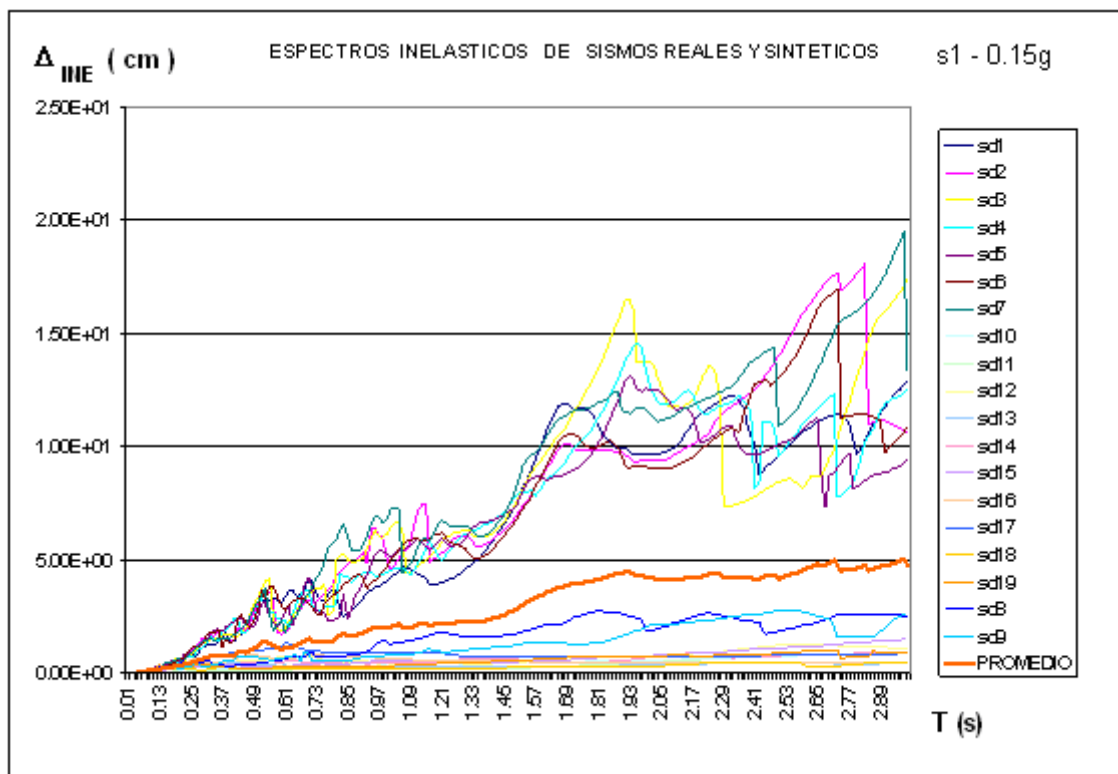


Figura 4.20 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1

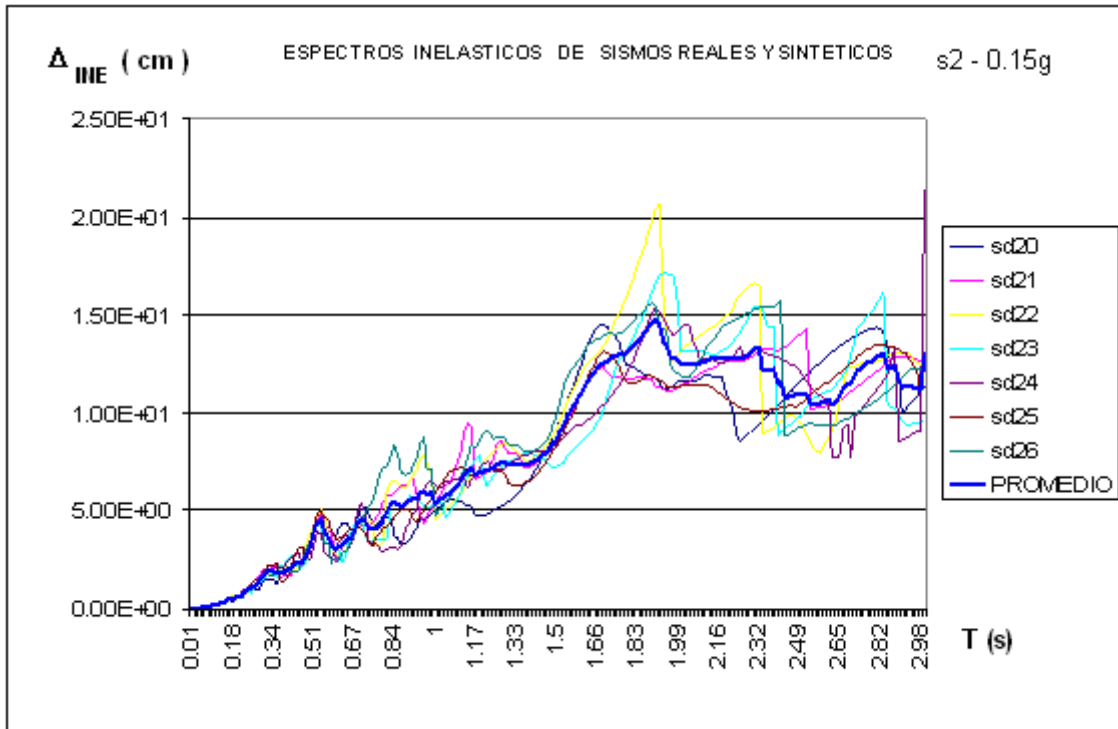


Figura 4.21 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2

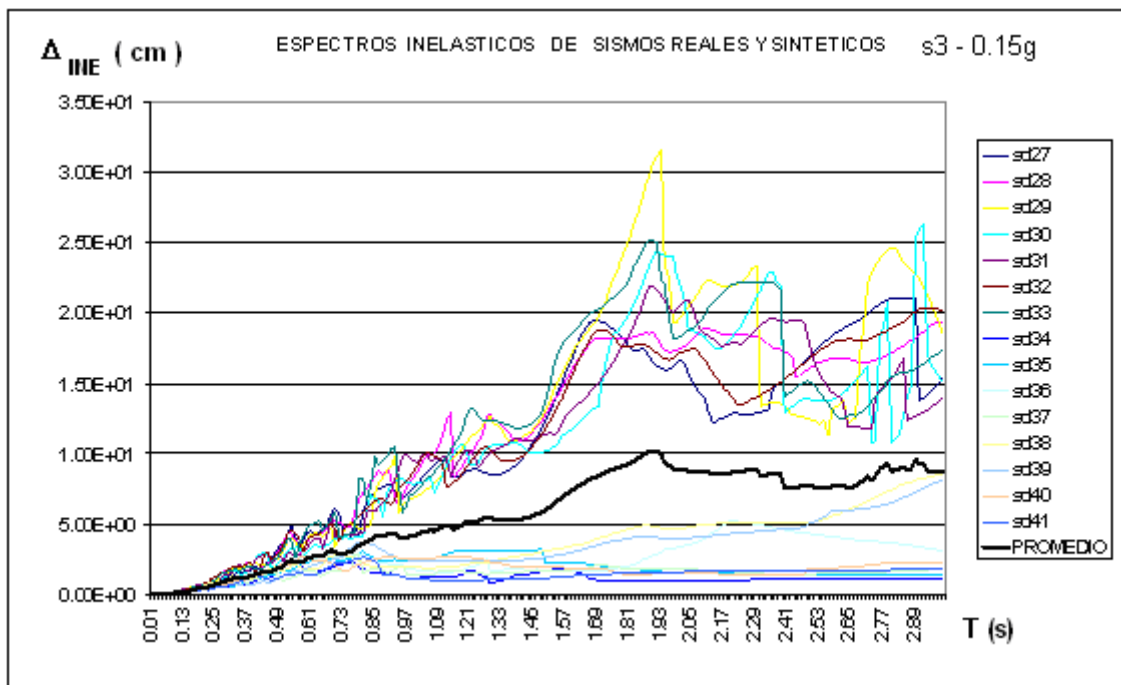


Figura 4.22 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3

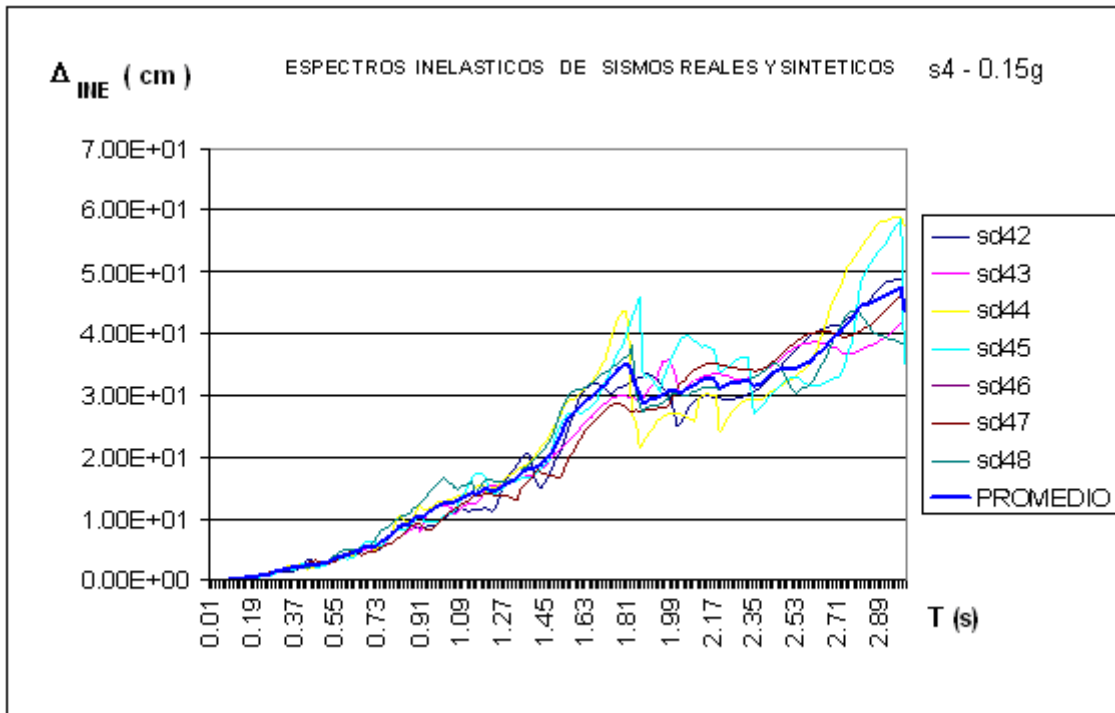


Figura 4.23 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4

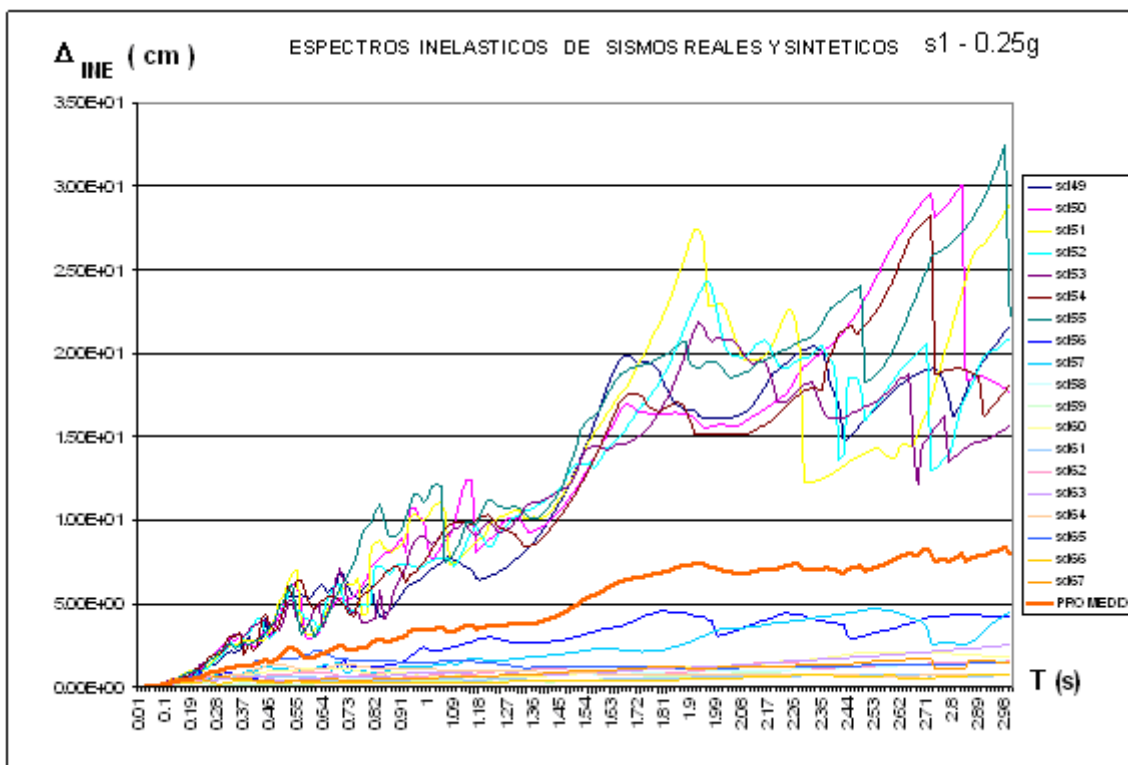


Figura 4.24 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1

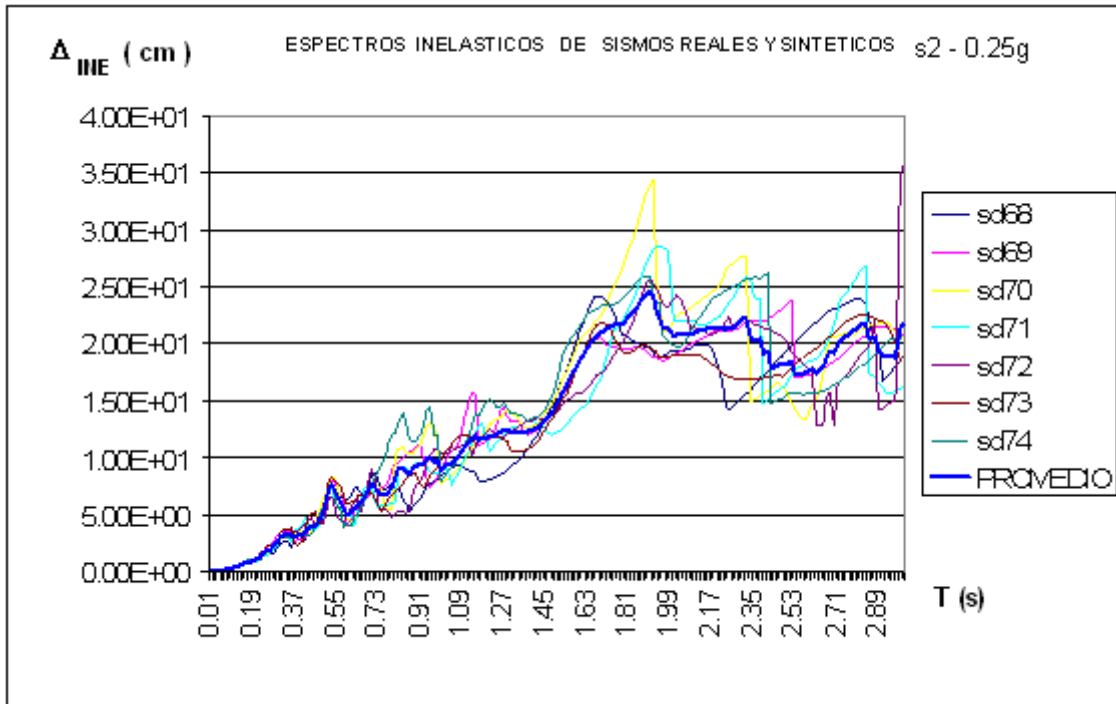


Figura 4.25 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2

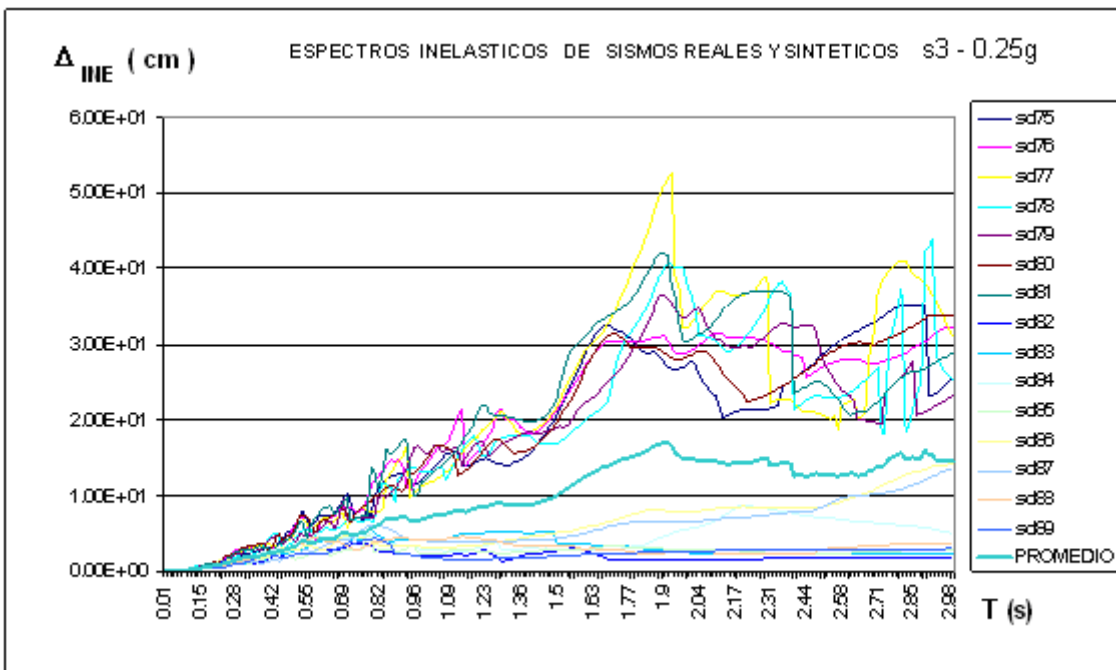


Figura 4.26 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3



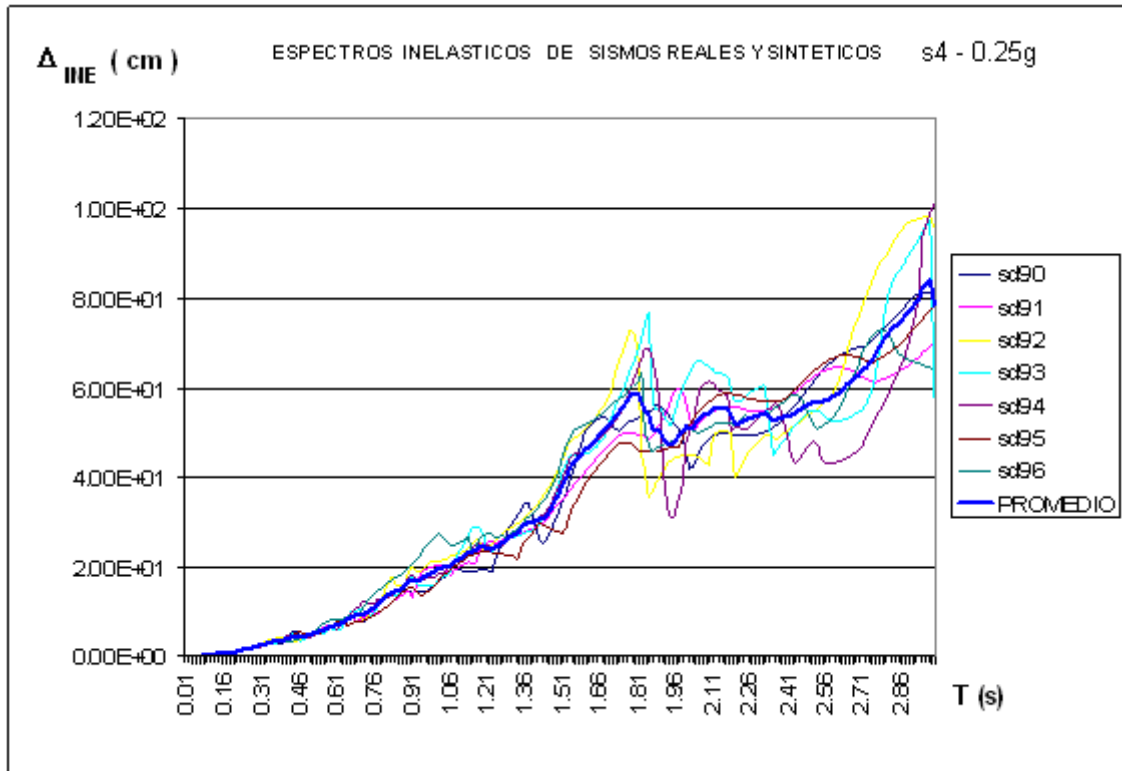


Figura 4.27 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4

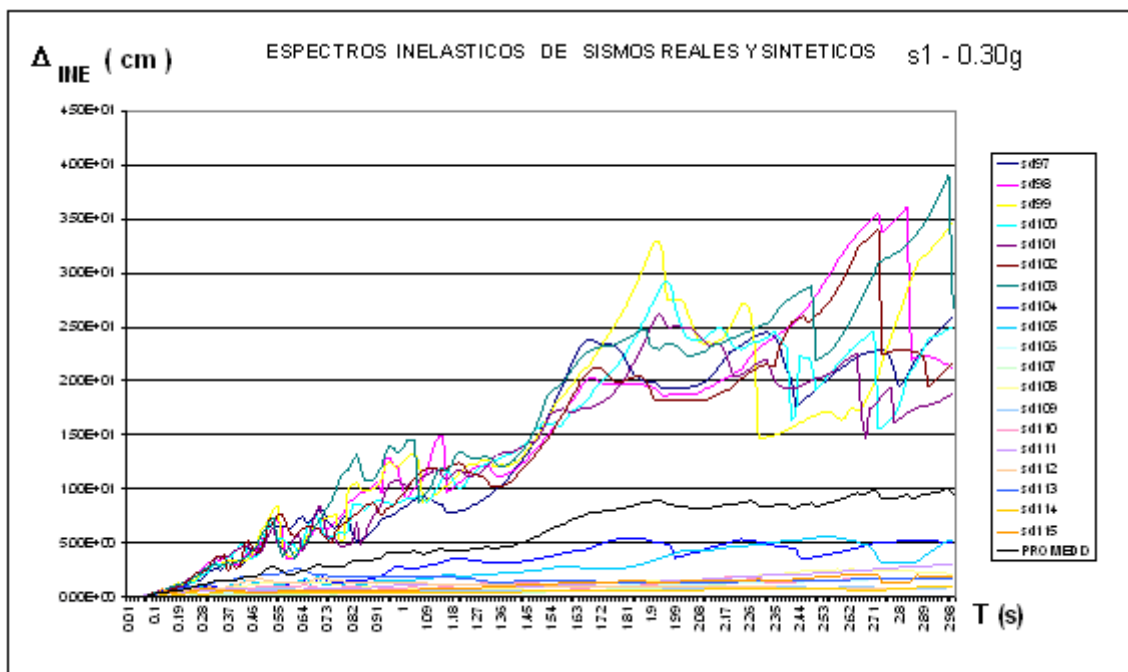


Figura 4.28 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1

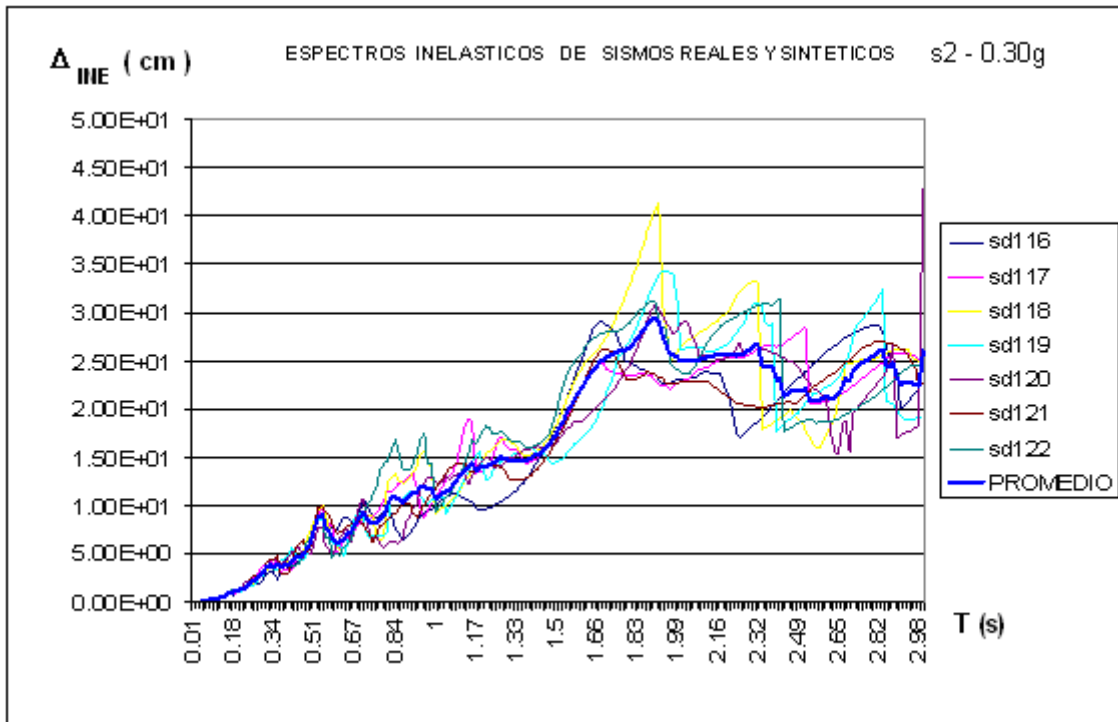


Figura 4.29 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2

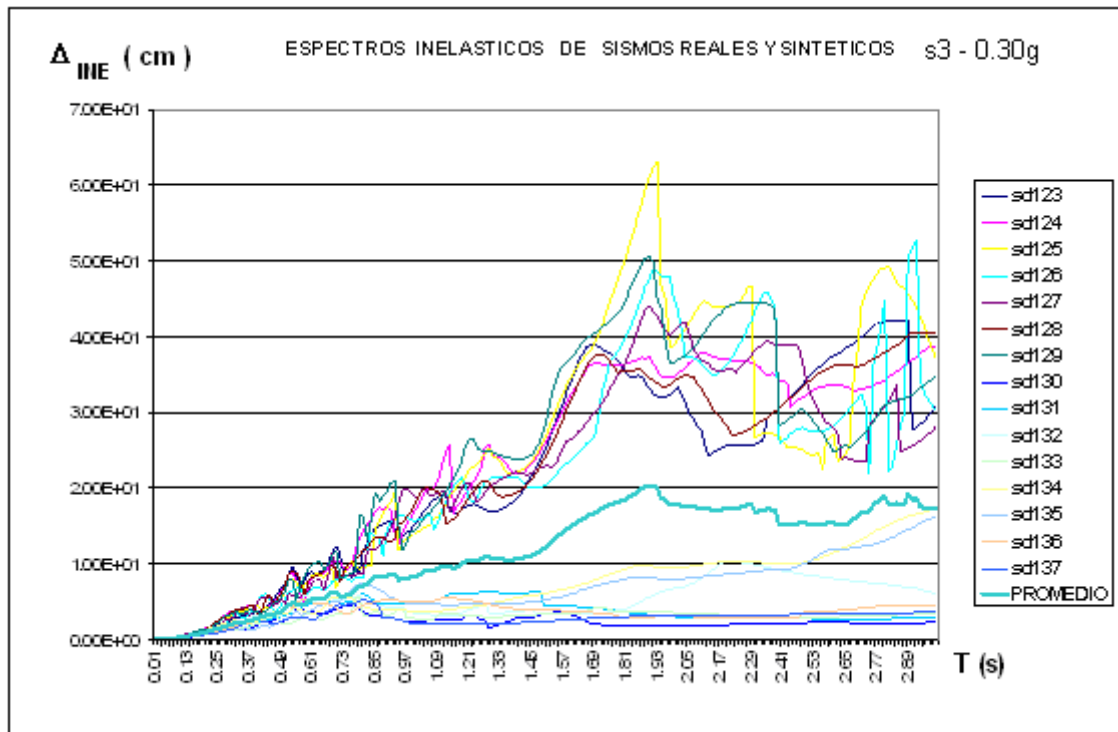


Figura 4.30 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3

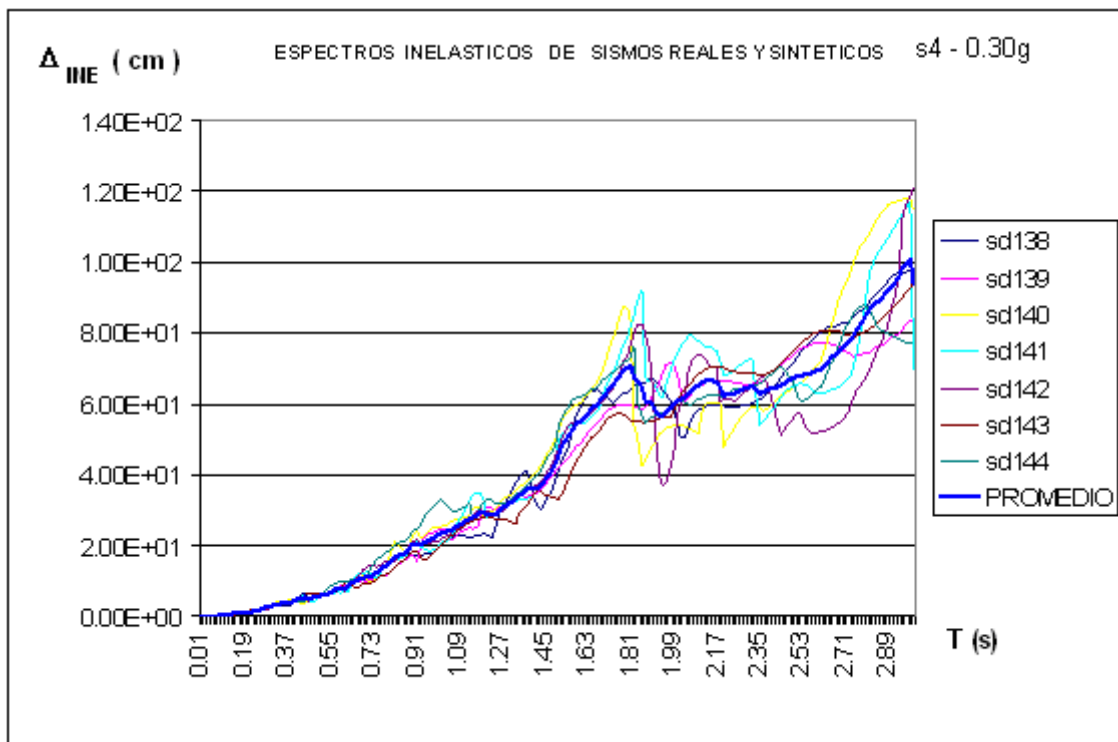


Figura 4.31 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4

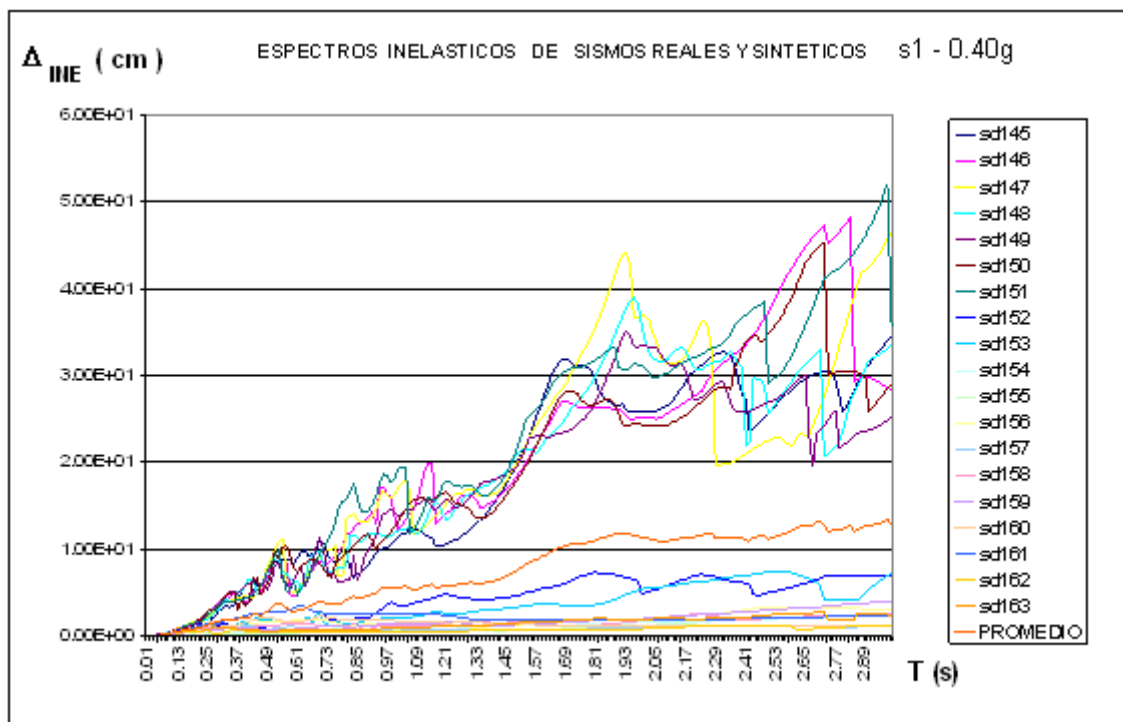


Figura 4.31 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1

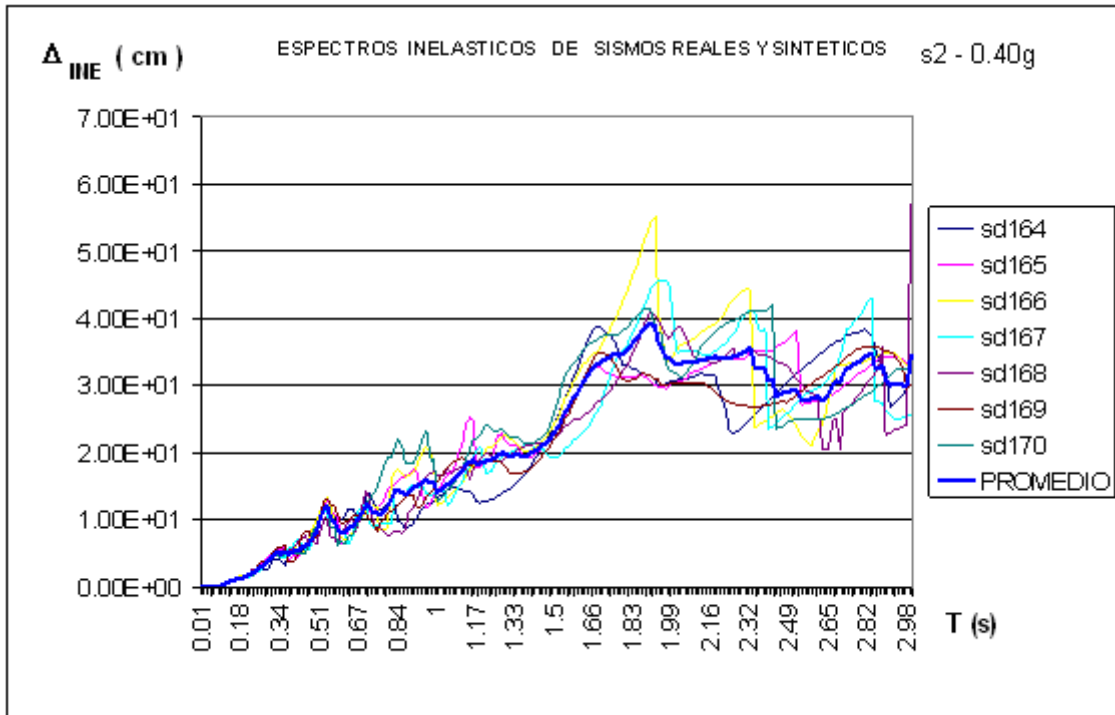


Figura 4.32 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2

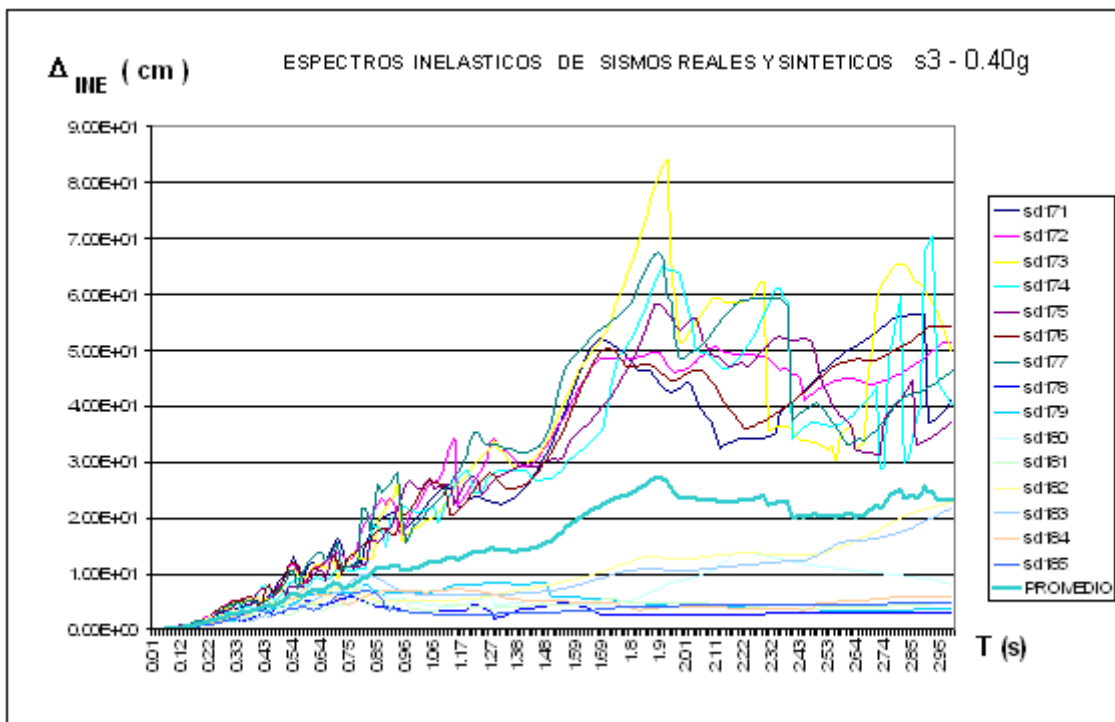


Figura 4.33 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3

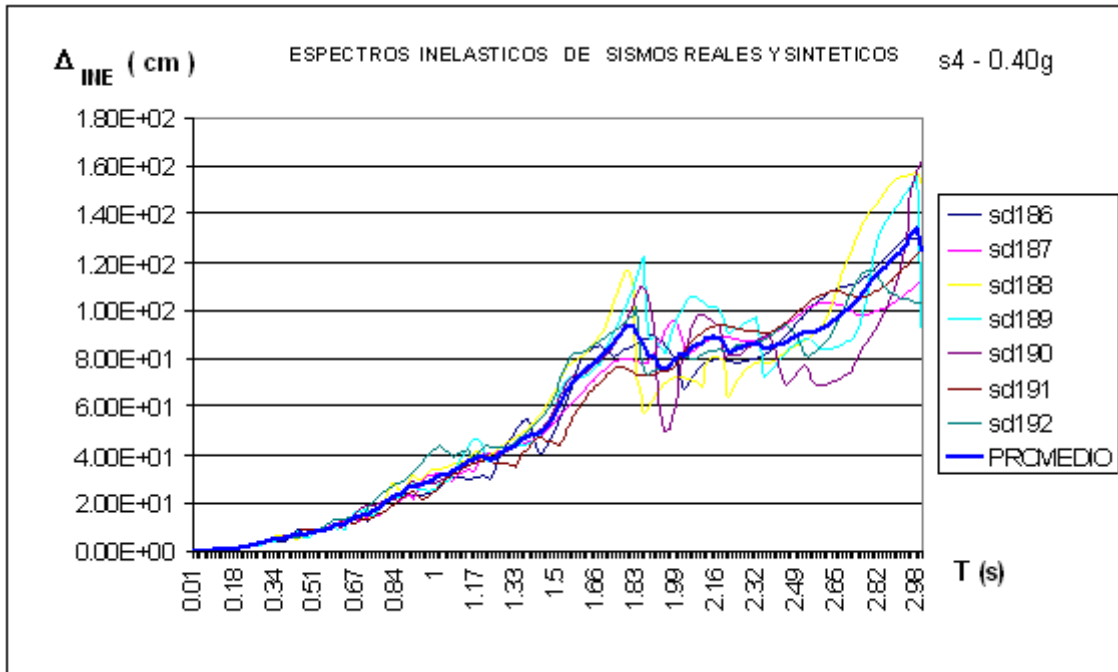


Figura 4.34 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4

4.10 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO PARA DUCTILIDAD DE 4

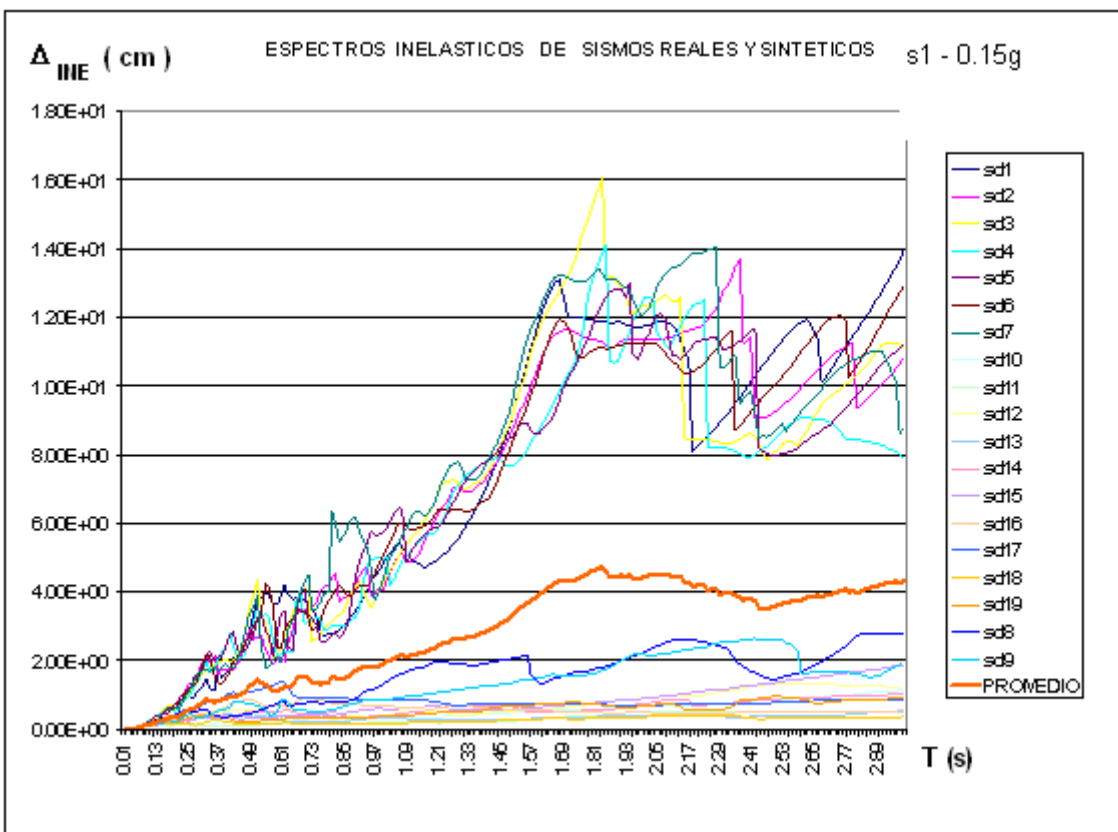


Figura 4.35 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s1

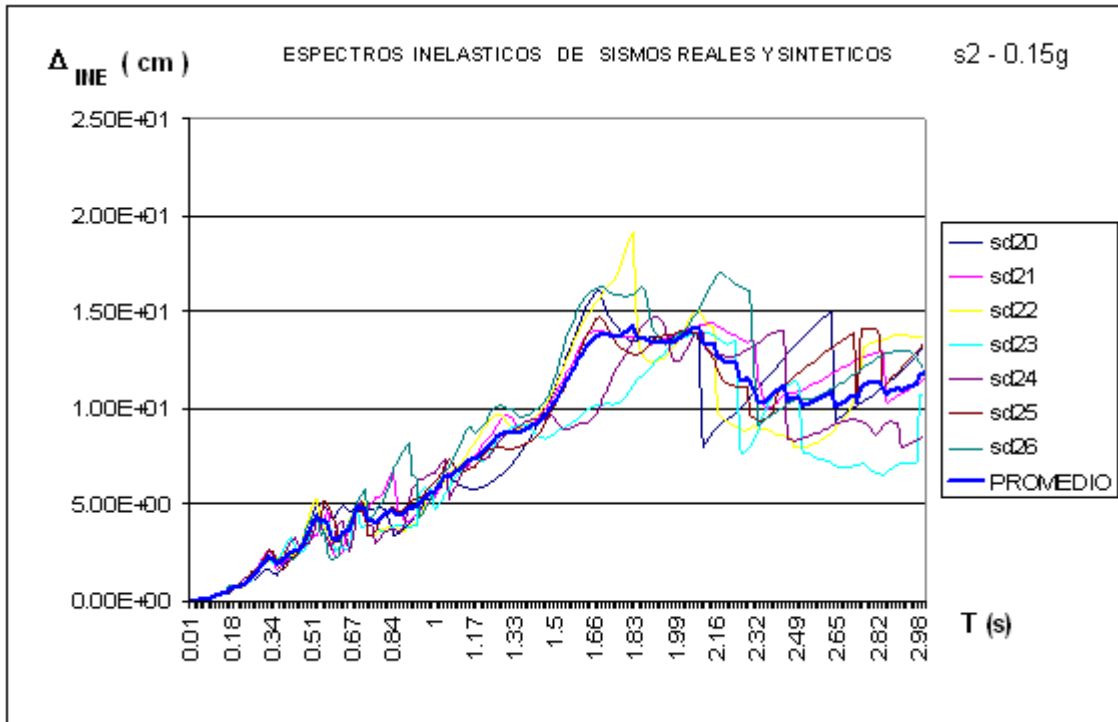


Figura 4.36 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s2

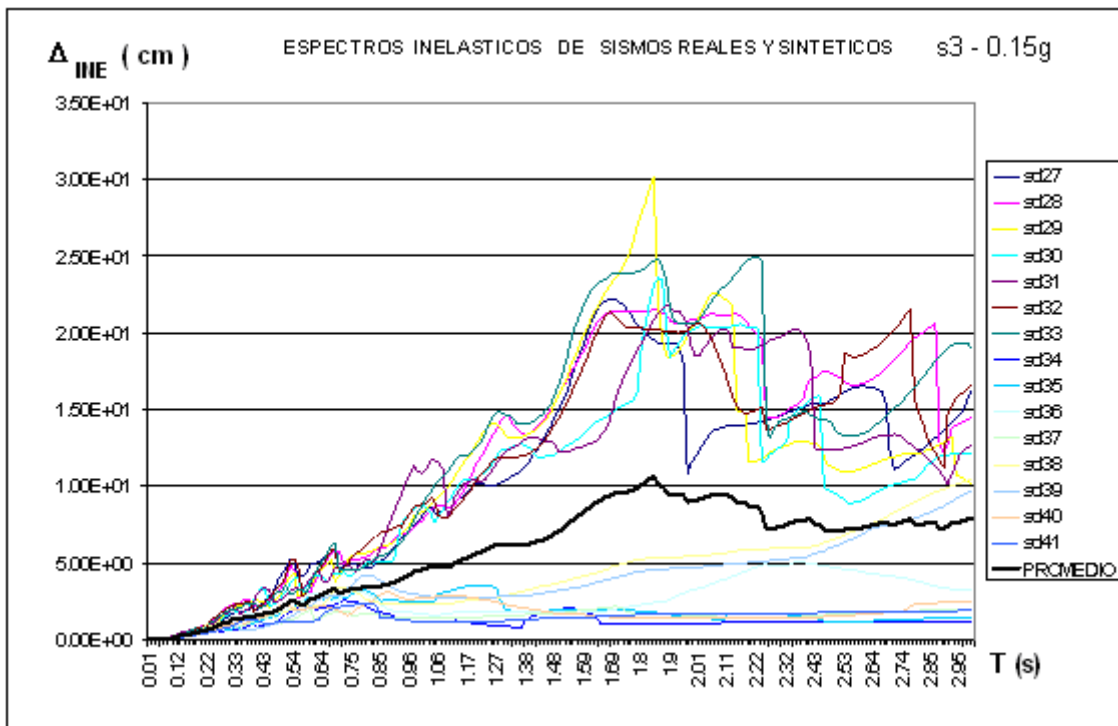


Figura 4.37 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s3

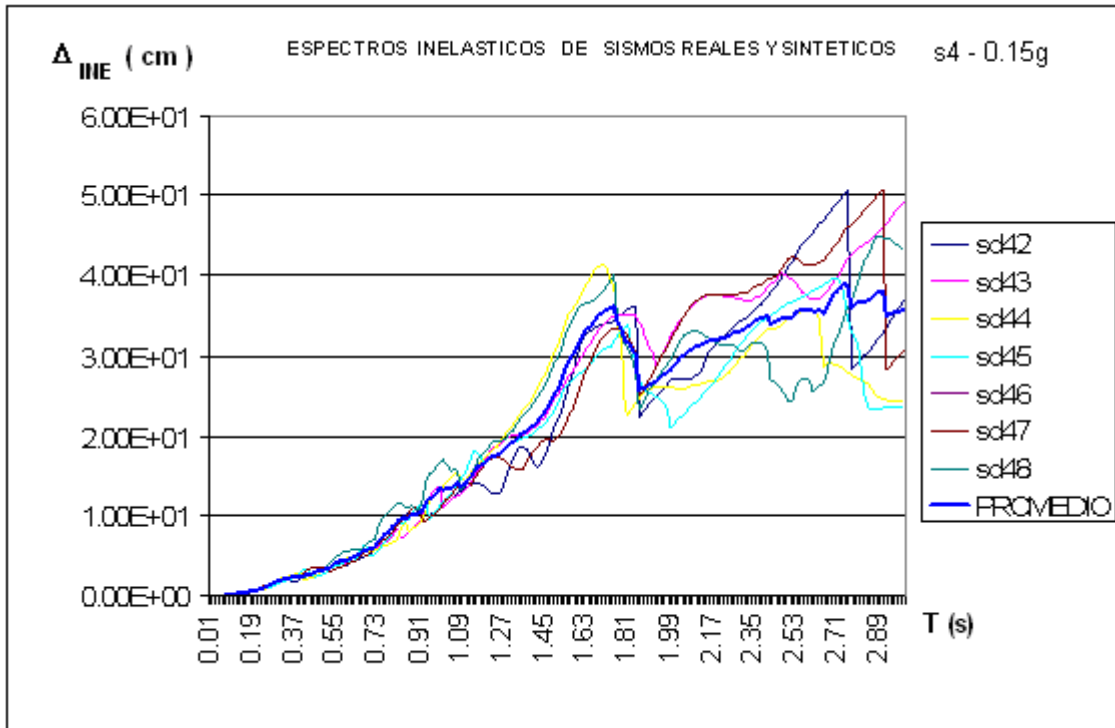


Figura 4.38 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.15g s4

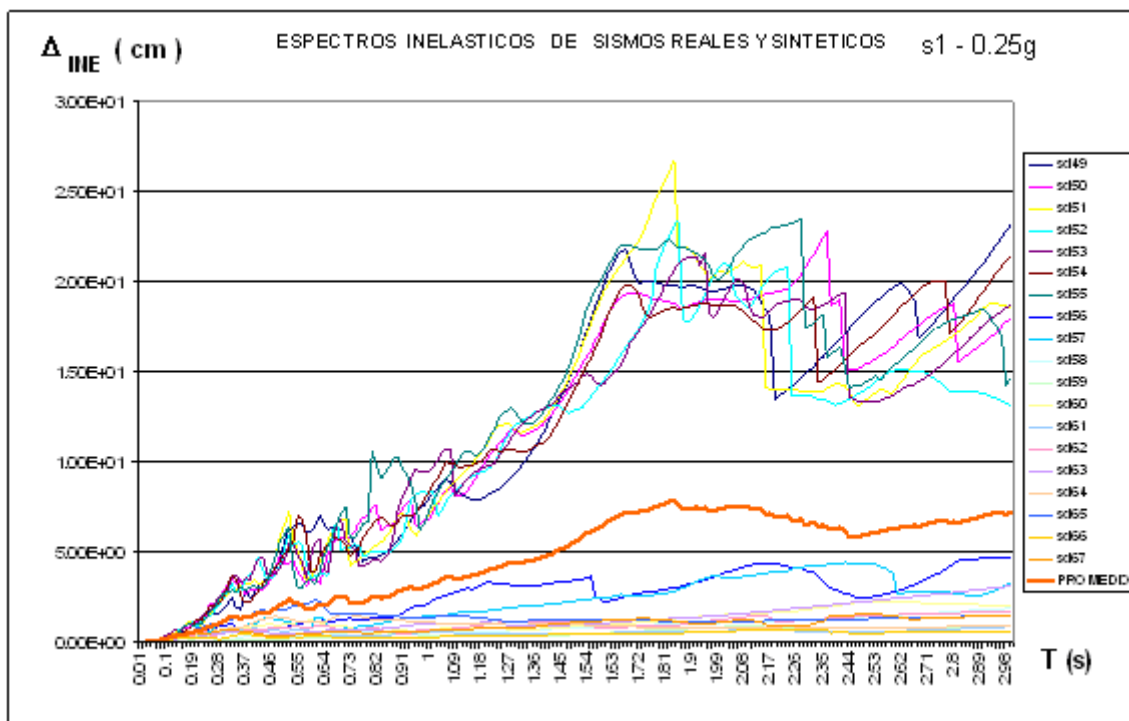


Figura 4.39 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s1

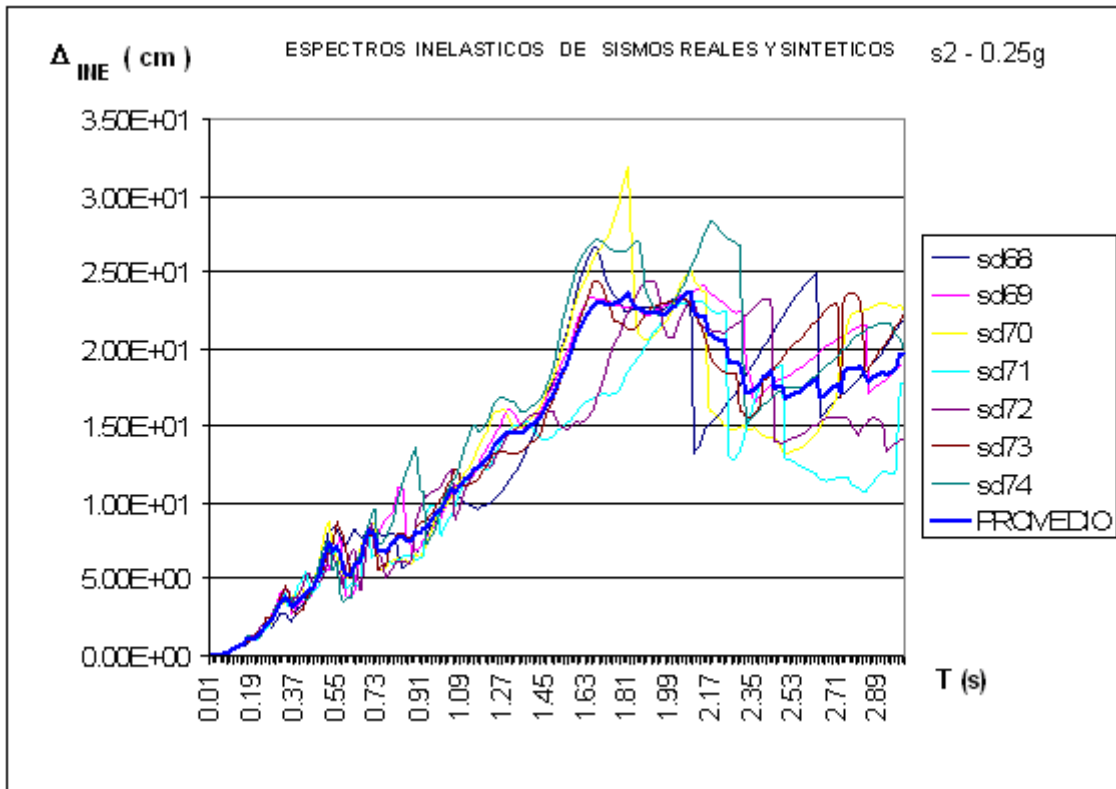


Figura 4.40 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s2

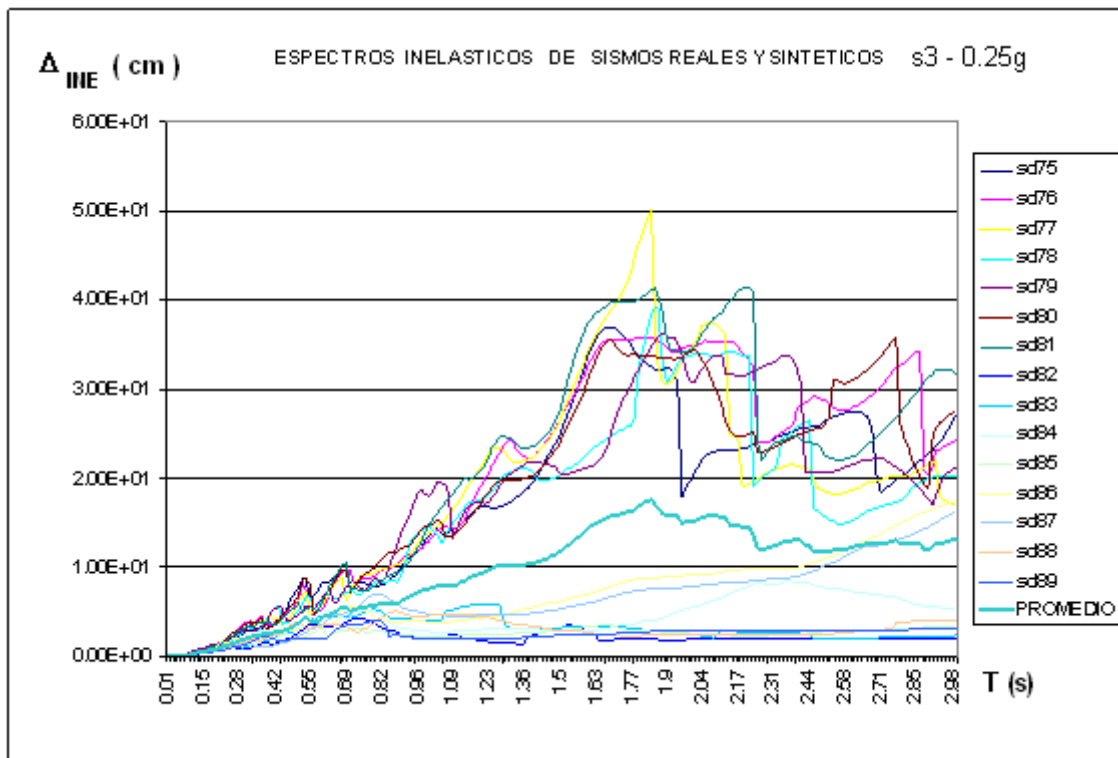


Figura 4.41 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s3



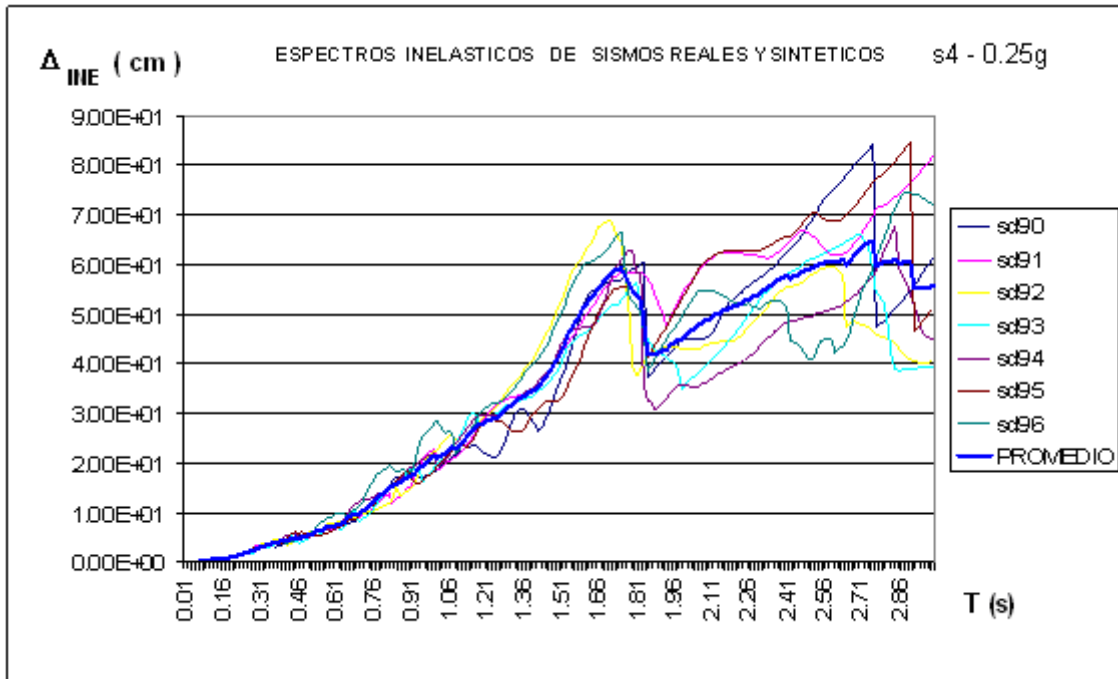


Figura 4.42 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.25g s4

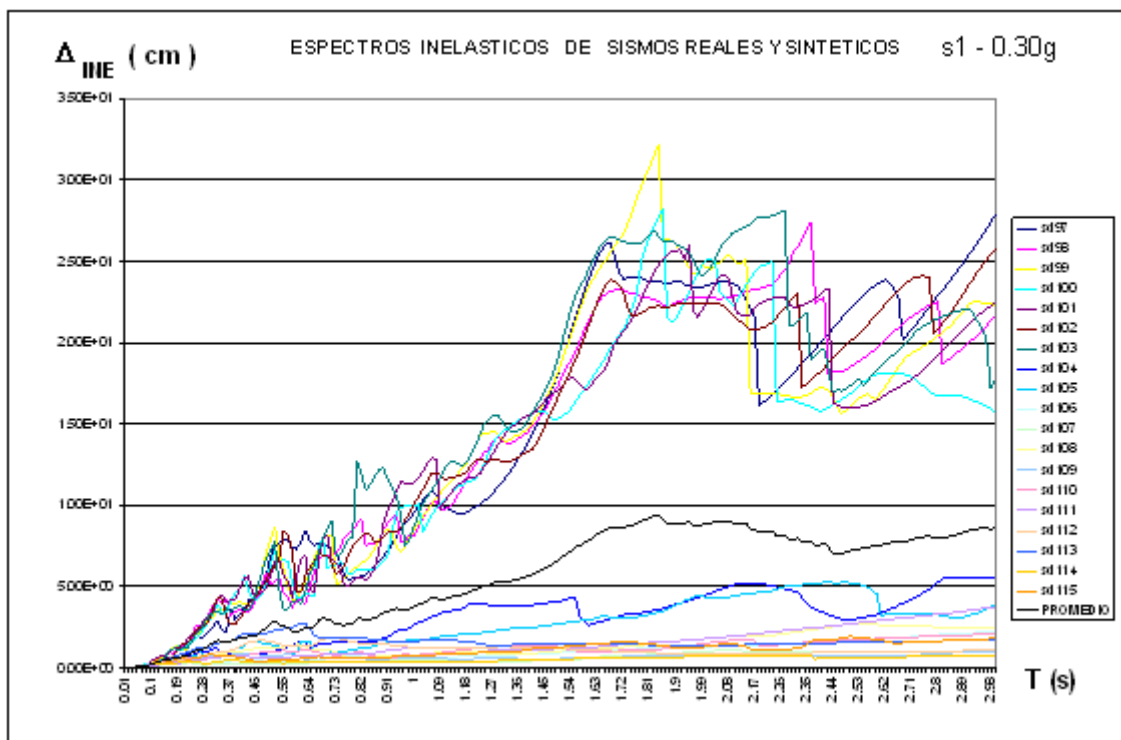


Figura 4.43 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s1

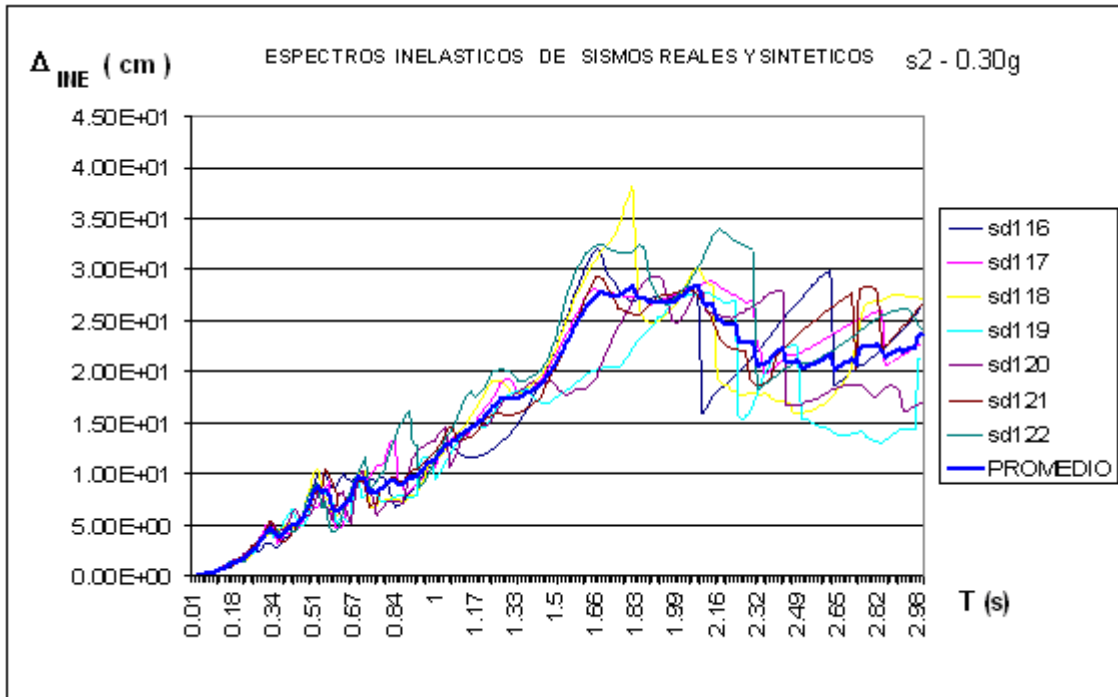


Figura 4.44 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s2

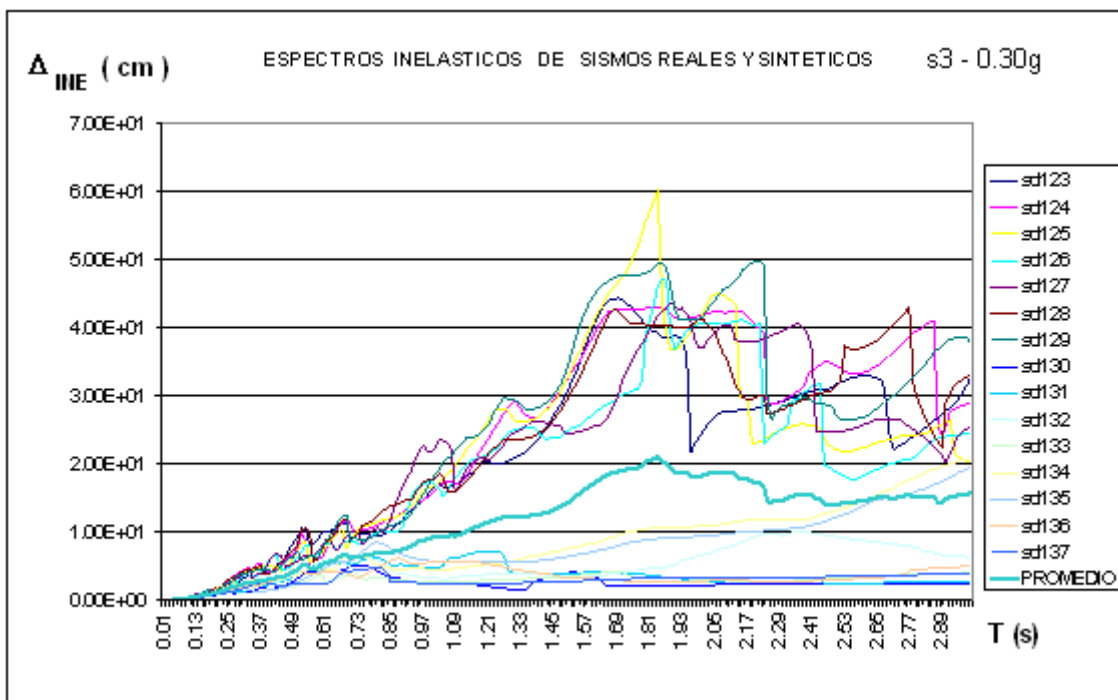


Figura 4.45 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s3

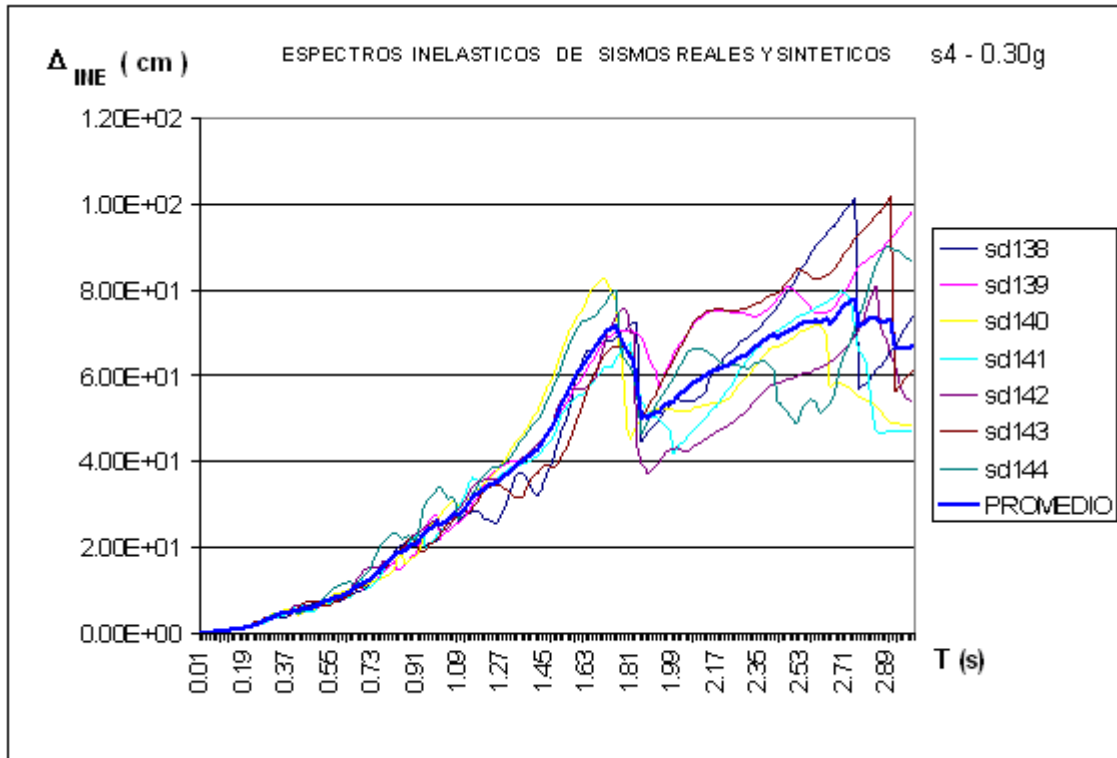


Figura 4.46 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.30g s4

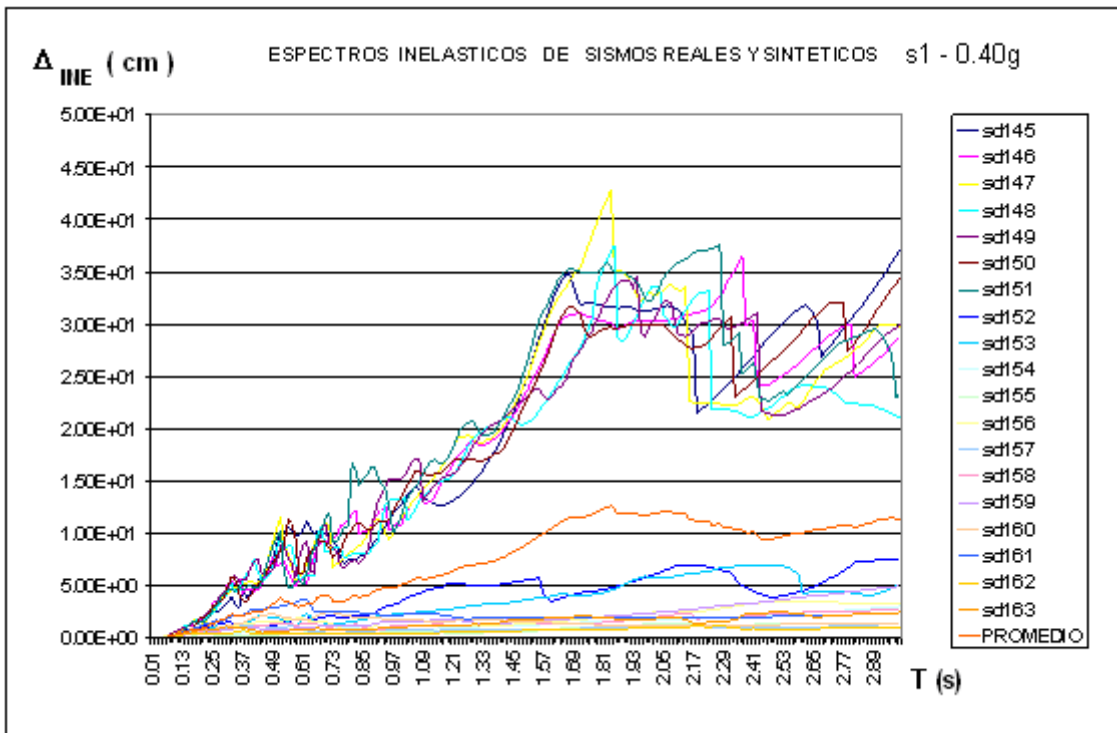


Figura 4.47 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s1

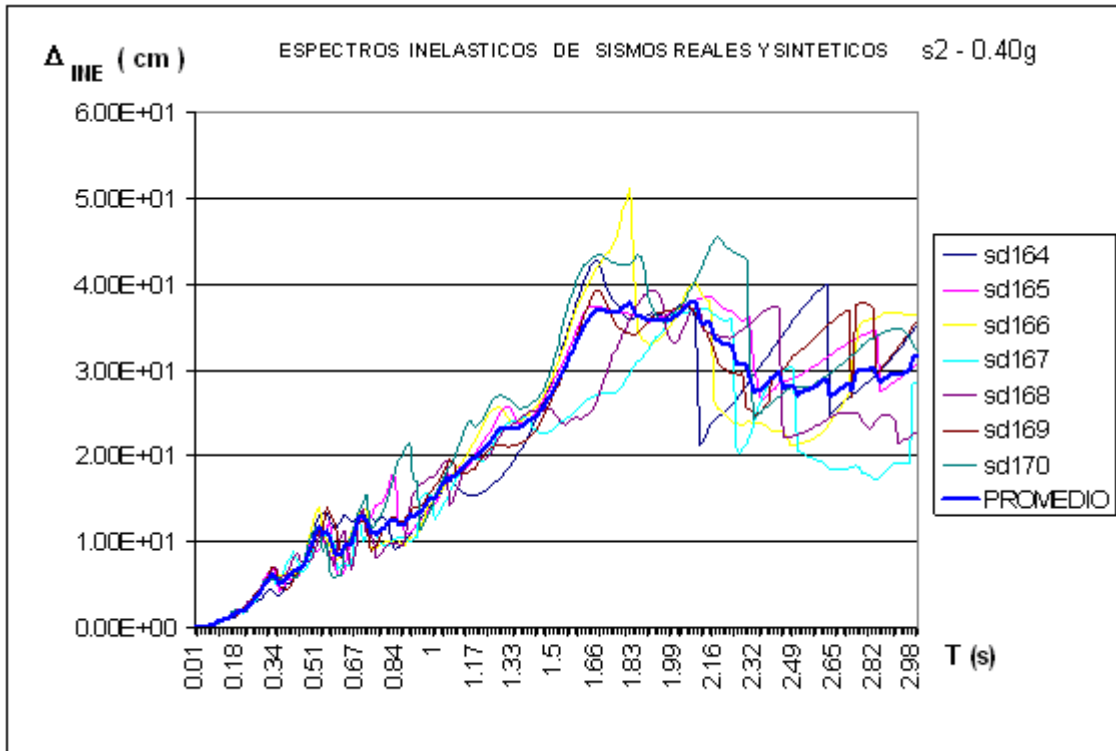


Figura 4.48 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s2

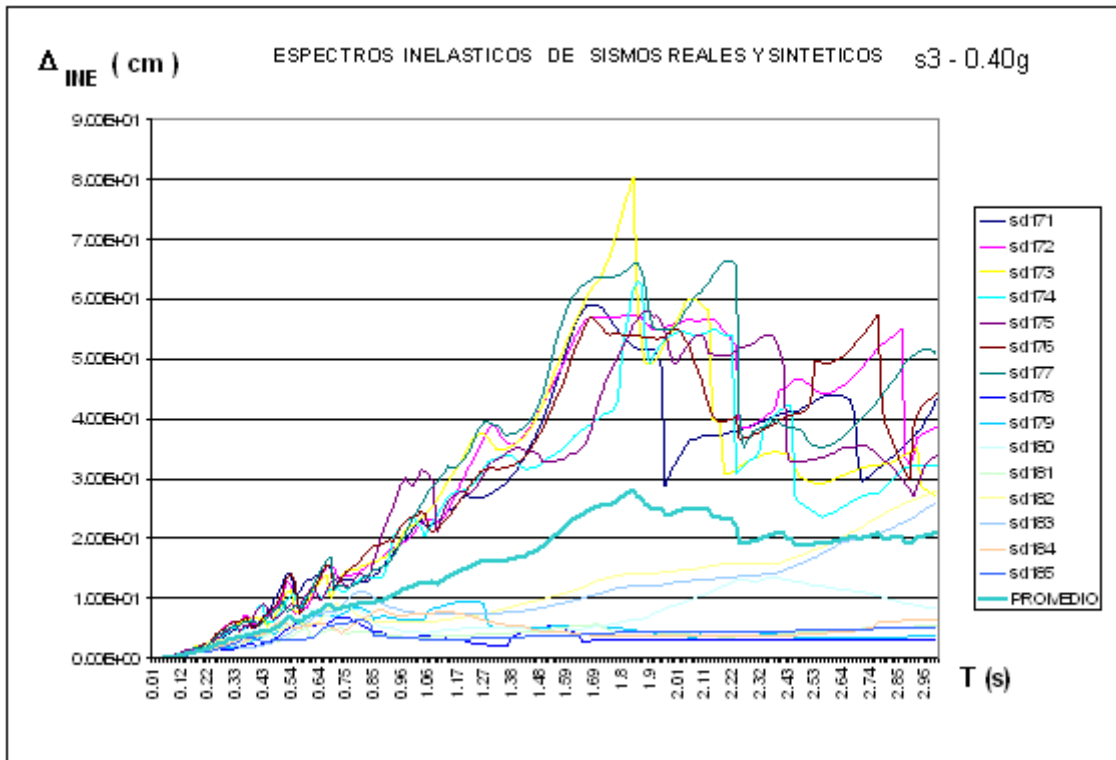


Figura 4.49 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s3

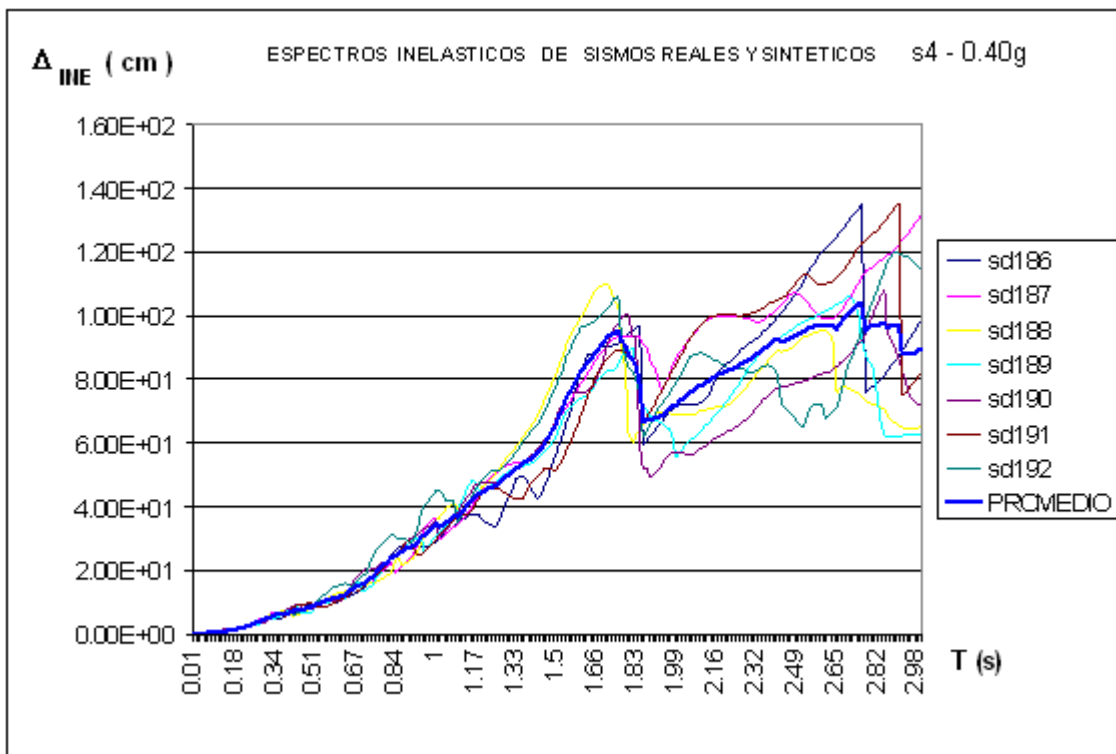


Figura 4.50 Espectro inelástico de sismos reales y sintéticos 0.40g s4

Se puede ver que los gráficos presentados en este capítulo mantienen las mismas tendencias que los espectros elásticos, es decir sismos sintéticos agrupados en la parte superior de los gráficos y sismos reales en la parte inferior también agrupados, adicionalmente se presenta con línea más gruesa el promedio o valor medio de los espectros inelásticos.

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD**

#### **RESUMEN**

Se inicia detallando la importancia de considerar el tipo de suelo, para la aplicación del factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas; además se presenta un detalle y recopilación de los trabajos relacionados con el tema y presentados en el exterior.

Posteriormente se realiza un ajuste de curvas, arrancando desde la ecuación de Chopra y utilizando la técnica de desviaciones cuadradas, acoplada a una técnica de ajuste gráfico en escala logarítmica para encontrar los valores óptimos de los distintos parámetros de la ecuación propuesta.

Por último se calcula y grafica las desviaciones estándares de datos de todos los sismos consistentes con relación al valor medio (mediana) y se calcula el error medio, todos estos mediante hojas electrónicas.

## 5.7 IMPORTANCIA DE CONSIDERAR EL TIPO DE SUELO

En el mundo entero se han realizado estudios en los cuales se muestra claramente la importancia de considerar el tipo de suelo, ya que si enunciamos a manera de un ejemplo sencillo diremos que, no es lo mismo construir una obra en un suelo blando; que la misma estructura asentada sobre roca, y que de ninguna manera existirá el mismo comportamiento frente a la presencia de una amenaza sísmica.

Ordaz y Pérez en el año de 1999, Ruiz-García y Miranda en el 2003, y Chopra en el 2005 son algunos de los investigadores que mediante sus estudios han demostrado que el considerar el tipo de suelo afecta o modifica los factores que son importantes en el estudio sismorresistente de la ingeniería civil.

Cabe resaltar que en nuestro país también se han realizado investigaciones de gran nivel encaminadas a considerar la importancia del tipo de suelo una de ellas es la investigación de Aguiar y Gonzáles en el 2006, que como se manifestó en capítulos anteriores pese a no contar con registros sísmicos han creado sismos sintéticos para confirmar su estudio.

## 5.8 PRESENTACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS EN EL EXTERIOR

Siempre ha sido una preocupación a nivel mundial el análisis sismorresistente ya que todos los países se ven afectados periódicamente con la presencia de sismos, es por ello que muchos investigadores han realizado varios trabajos acerca de este tema tan trascendental para la vida humana.

El estudio de la relación entre desplazamientos máximos inelástico para el desplazamiento máximo elástico, siempre ha sido motivo de estudio pues a más de servir para el cálculo del factor de reducción de las fuerzas sísmicas, motivo de esta tesis, nos sirve para determinar la deriva máxima de piso de edificios de hormigón armado y la respuesta no lineal en sistemas de diversos grados de libertad.

Entre los trabajos que se conocen y son los más trascendentales podemos enunciar el presentado por Miranda en el año 2000 el cual trabajó con un modelo elasto perfectamente plástico es decir  $\alpha = 0$ , el trabajo de Bertero *et al* (1991), Moehle (1992

y 1996), Rodríguez y Aristizabal (1999), todos ellos buscando la deriva máxima de piso.

Retomando el tema es importante mencionar que una de las propuestas más importantes para el factor de reducción de las fuerzas sísmicas es la de Whittaker *et al* (1987, 1999), que propone:

$$R = R_{\mu} R_S R_{\xi} \quad (5.1)$$

Donde cada uno de los términos son conocidos y estudiados en el capítulo 1, a excepción de  $R_{\xi}$  que es un factor de amortiguamiento.

Otra aplicación importante es la del ATC-1995 en que cambian el factor de amortiguamiento  $R_{\xi}$  por el factor de redundancia  $R_R$  que también se expone en el capítulo 1.

## 5.9 PRESENTACIÓN DE DATOS ENCONTRADOS EN EL ESTUDIO

Una vez obtenidos los datos de los espectros inelásticos y de los espectros elásticos se obtuvo una relación entre desplazamientos no lineal y lineal es decir el desplazamiento máximo inelástico sobre el desplazamiento máximo elástico  $\Delta_{NE} / S_d$  para cada aceleración máxima de suelo del mapa de zonificación sísmica del Ecuador y para ductilidades de 2, 3 y 4. Es importante mencionar que de aquí en adelante se trabajará por separado los sismos sintéticos y los reales ya que existe una marcada diferencia entre los espectros de sismos reales y los sintéticos por lo que es conveniente no agruparlos.

Para encontrar la respuesta lineal y no lineal se utilizó el programa DEGTRA considerando un modelo elasto perfectamente plástico, es decir  $\alpha = 0$ .

A continuación se presentan los datos obtenidos mediante las siguientes figuras:



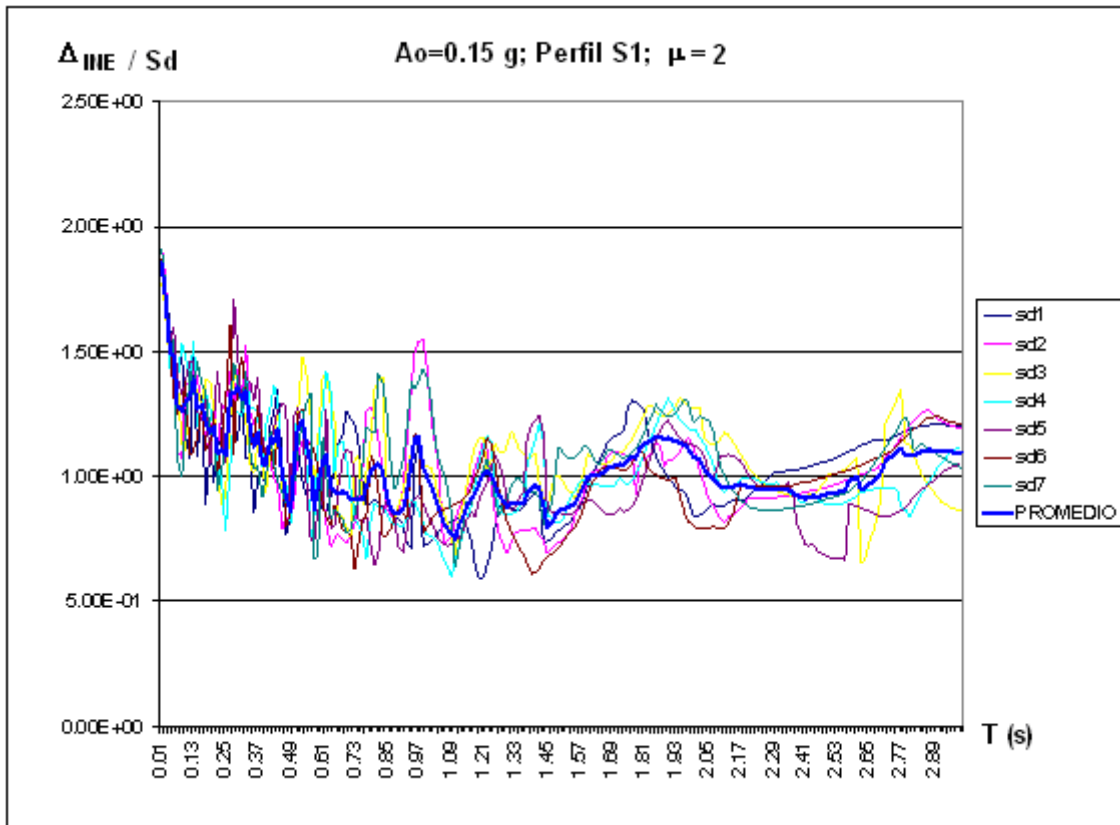


Figura 5.1 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo S1

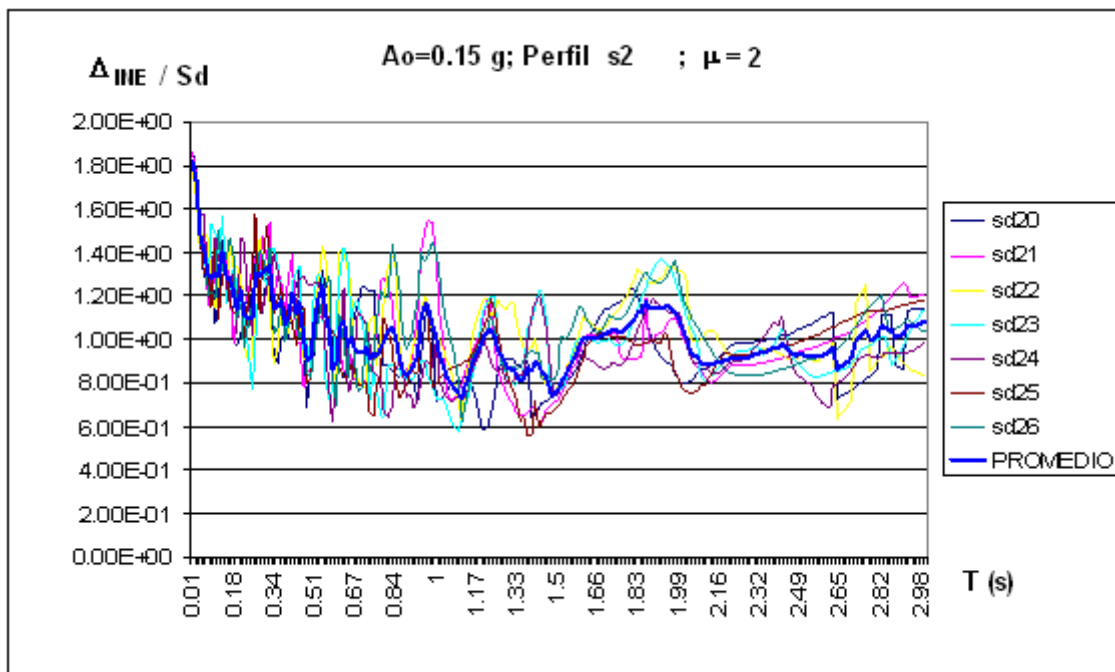


Figura 5.2 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo S2

En la fig. 5.2 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

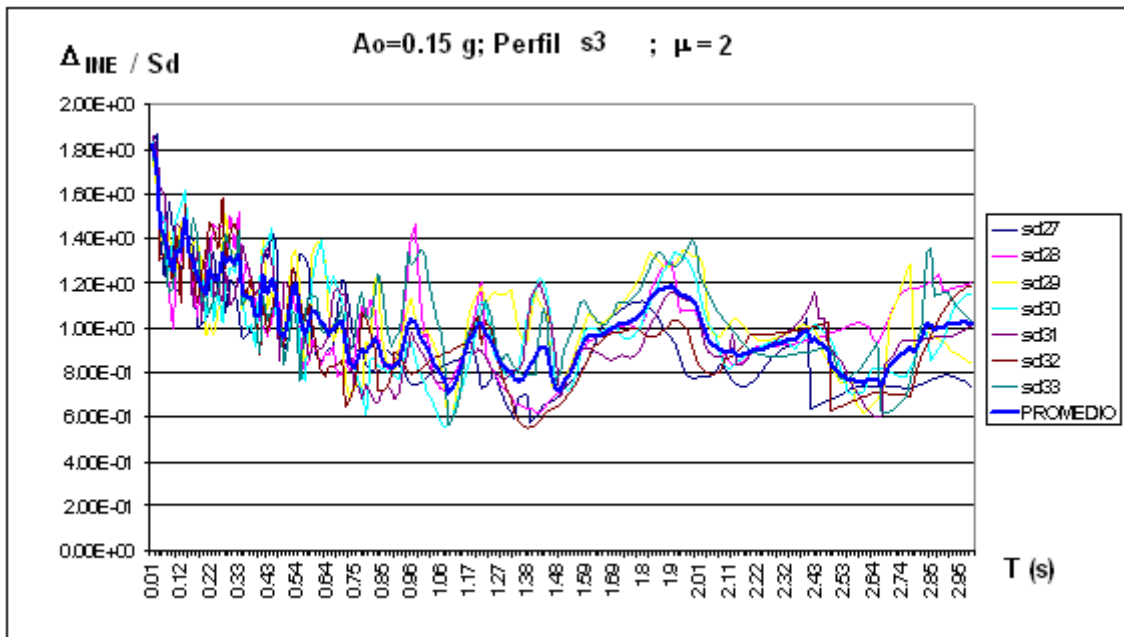


Figura 5.3 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo S3

En la fig. 5.3 se aprecia que para períodos mayores a 0.9, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

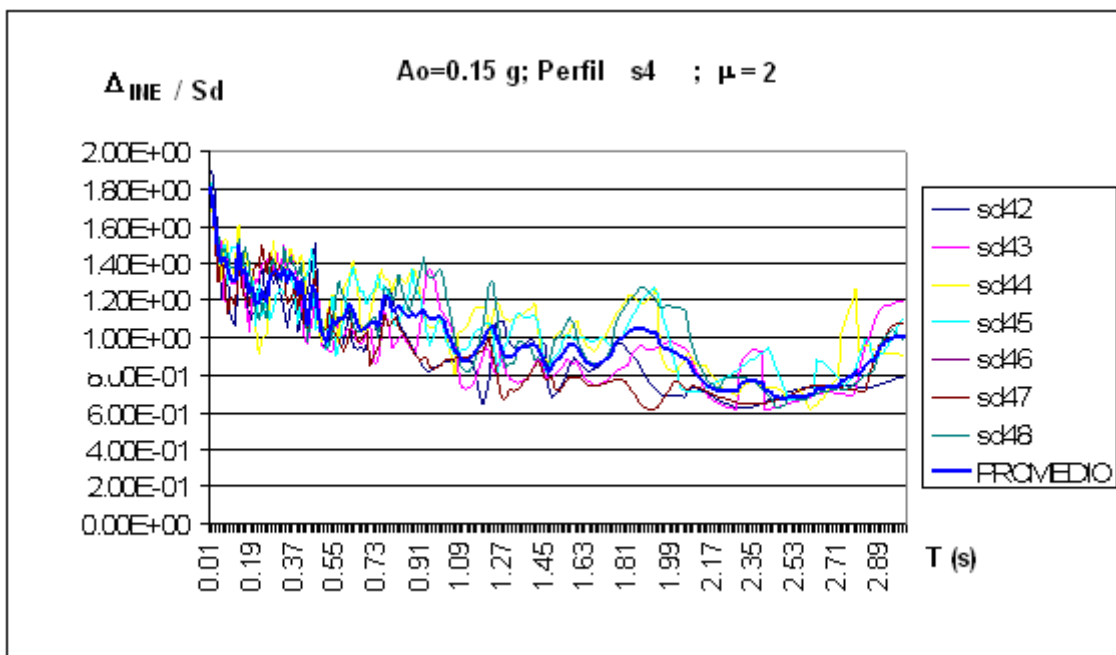


Figura 5.4 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 2 suelo S4

En la fig. 5.4 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

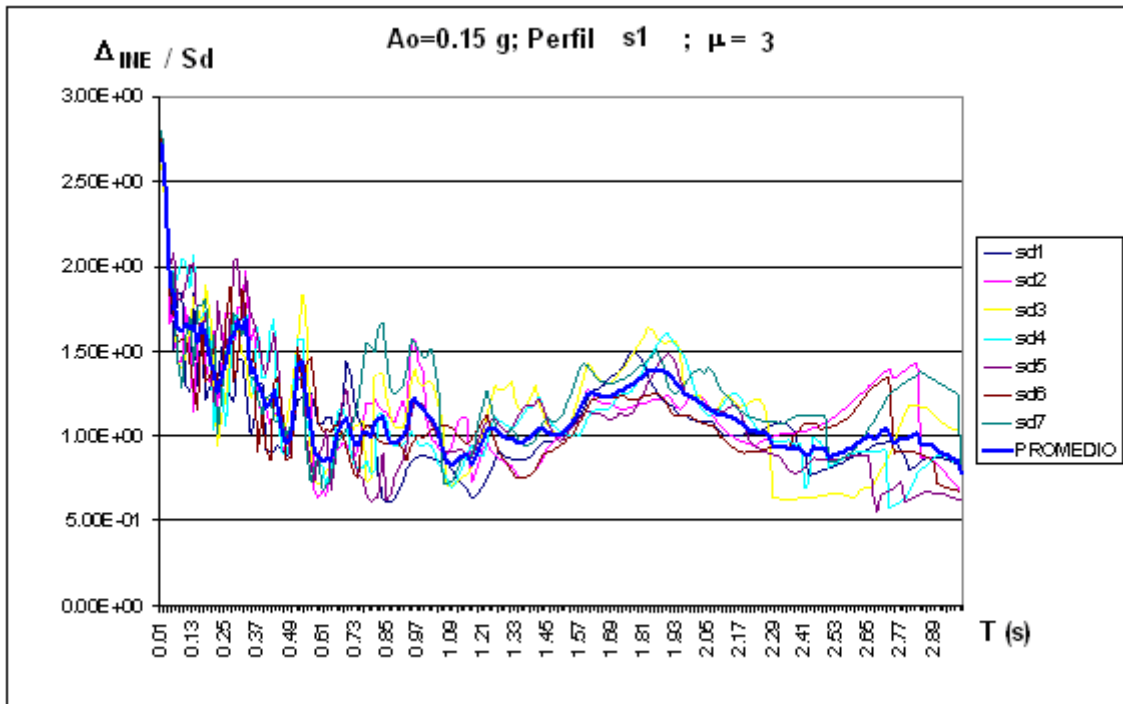


Figura 5.5 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo S1

En la fig. 5.5 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

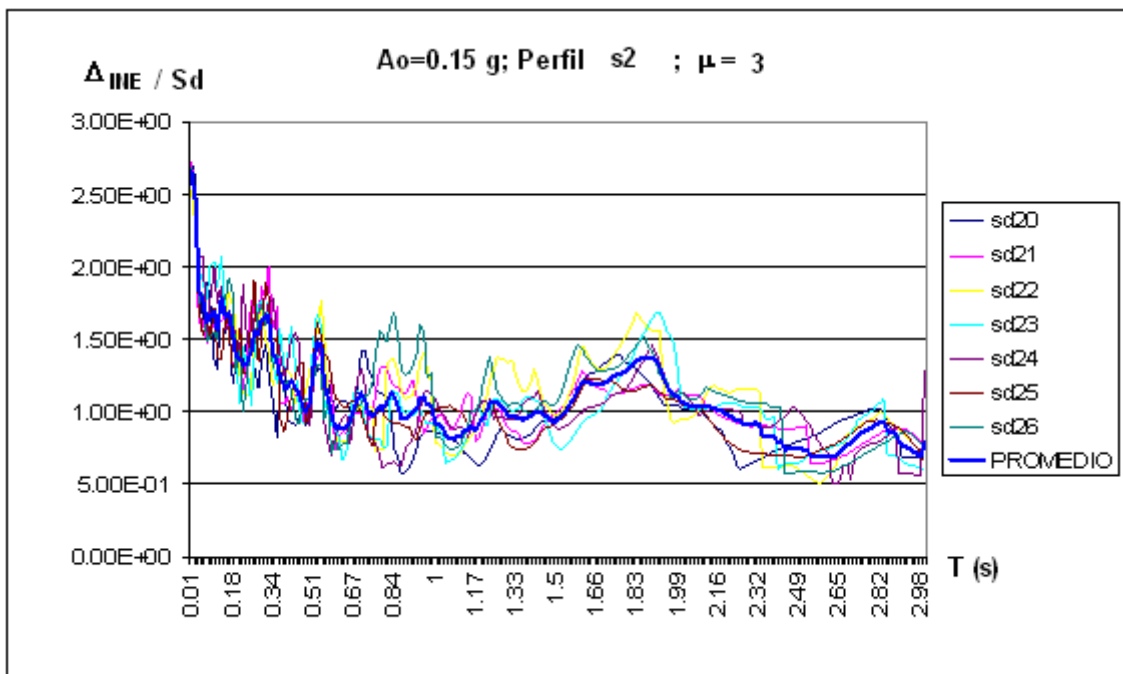


Figura 5.6 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo S2

En la fig. 5.6 se aprecia que para períodos mayores a 0.7, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

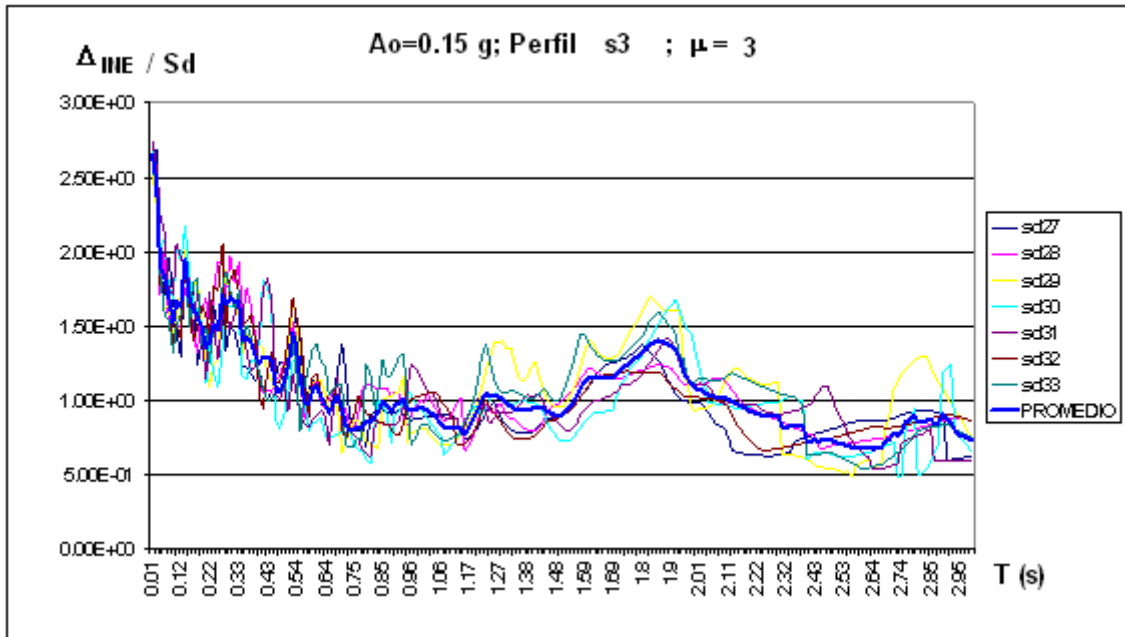


Figura 5.7 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo S3

En la fig. 5.7 se aprecia que para períodos mayores a 0.7, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

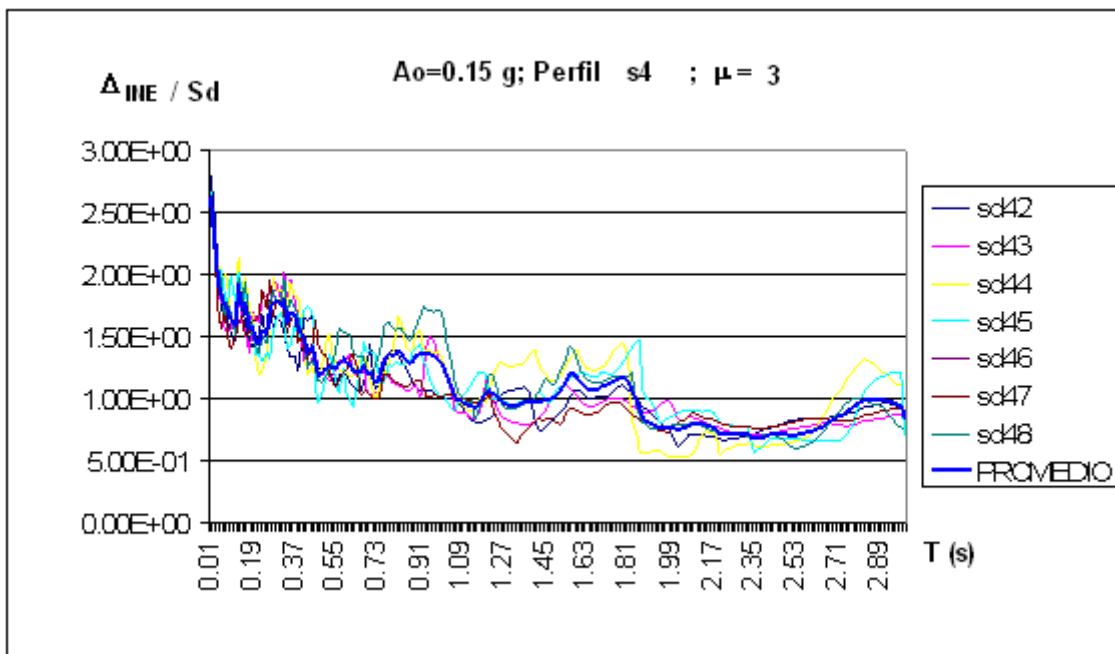


Figura 5.8 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 3 suelo S4

En la fig. 5.8 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

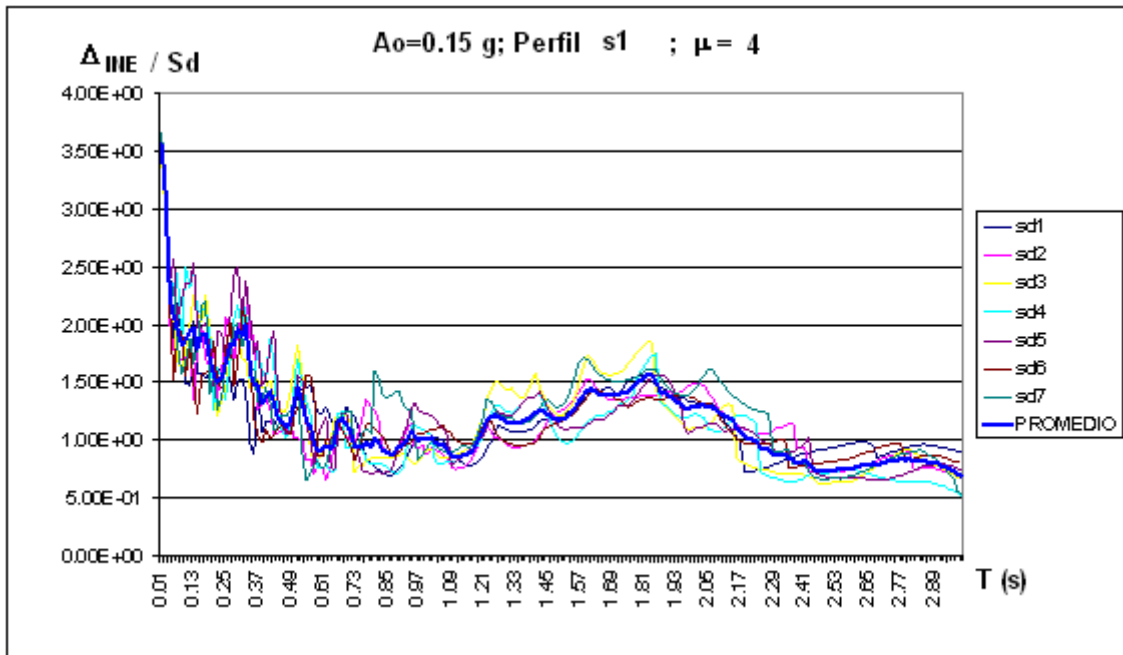


Figura 5.9 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo S1

En la fig. 5.9 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

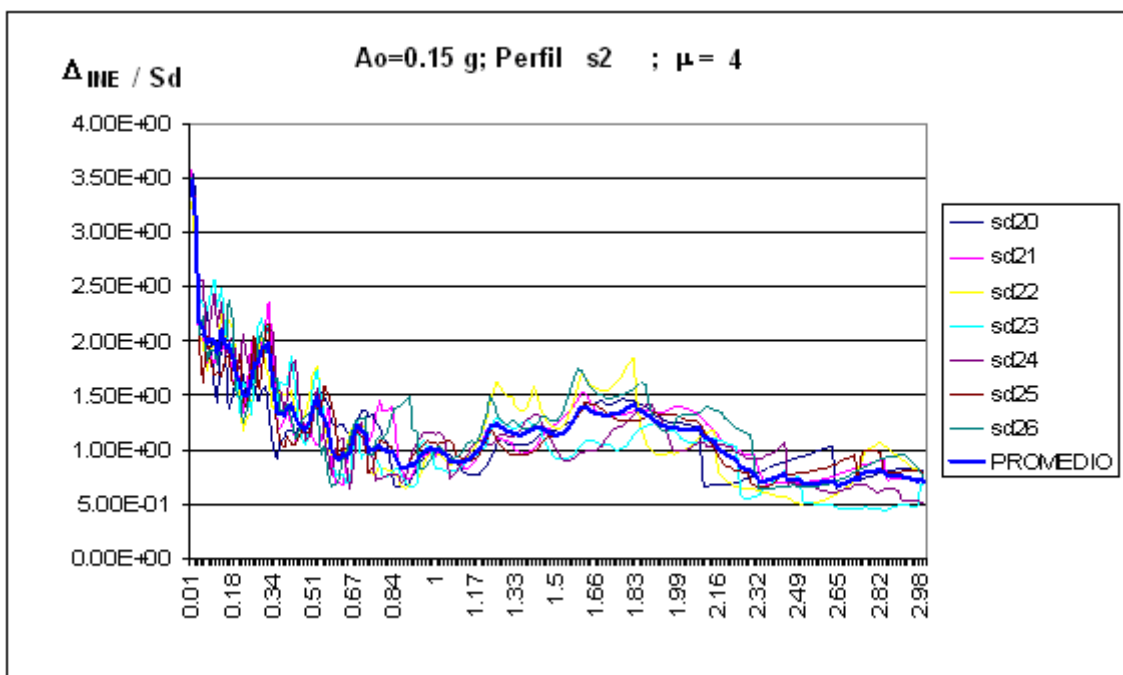


Figura 5.10 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo S2

En la fig. 5.10 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

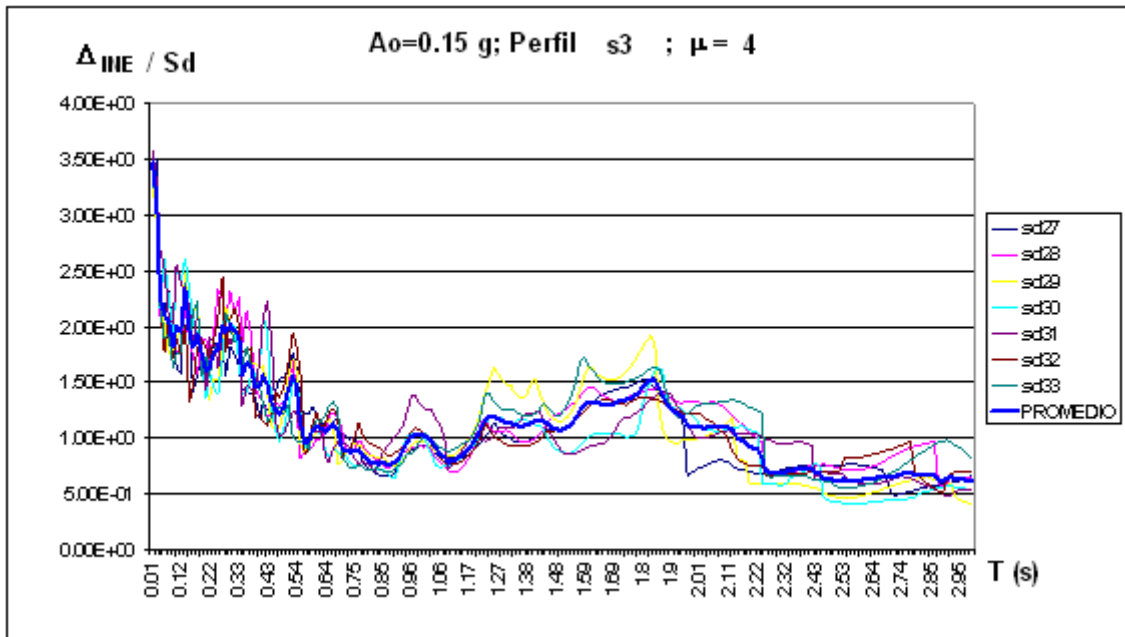


Figura 5.11 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo S3

En la fig. 5.11 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

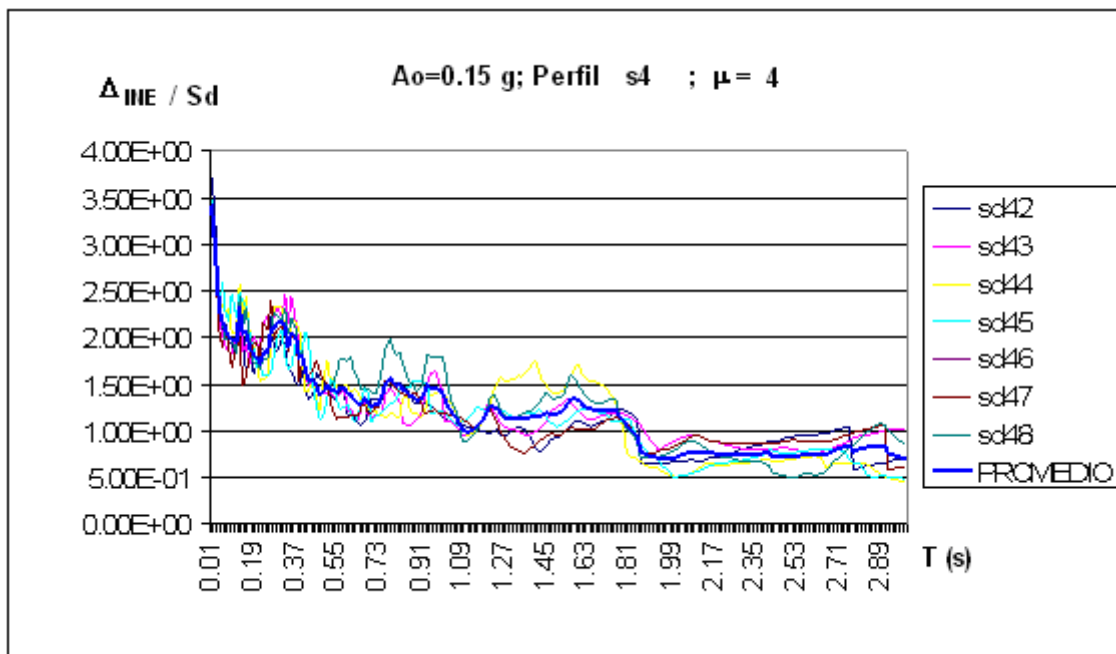


Figura 5.12 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.15g ductilidad 4 suelo S4

En la fig. 5.12 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

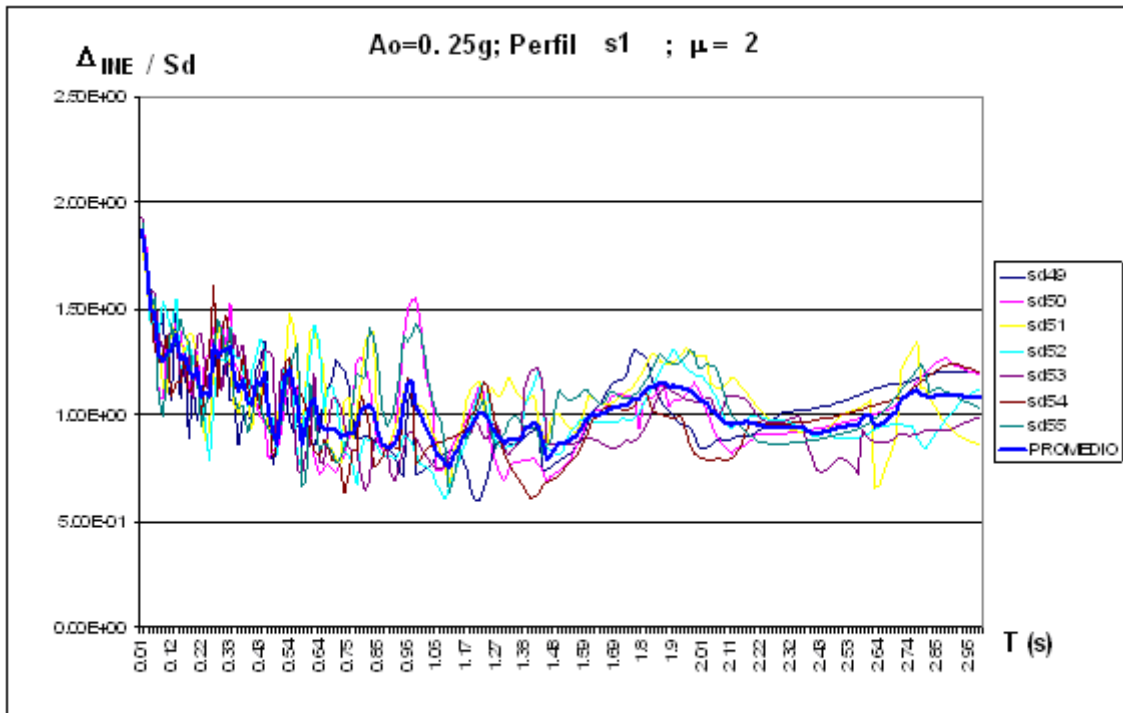


Figura 5.13 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo S1

En la fig. 5.13 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

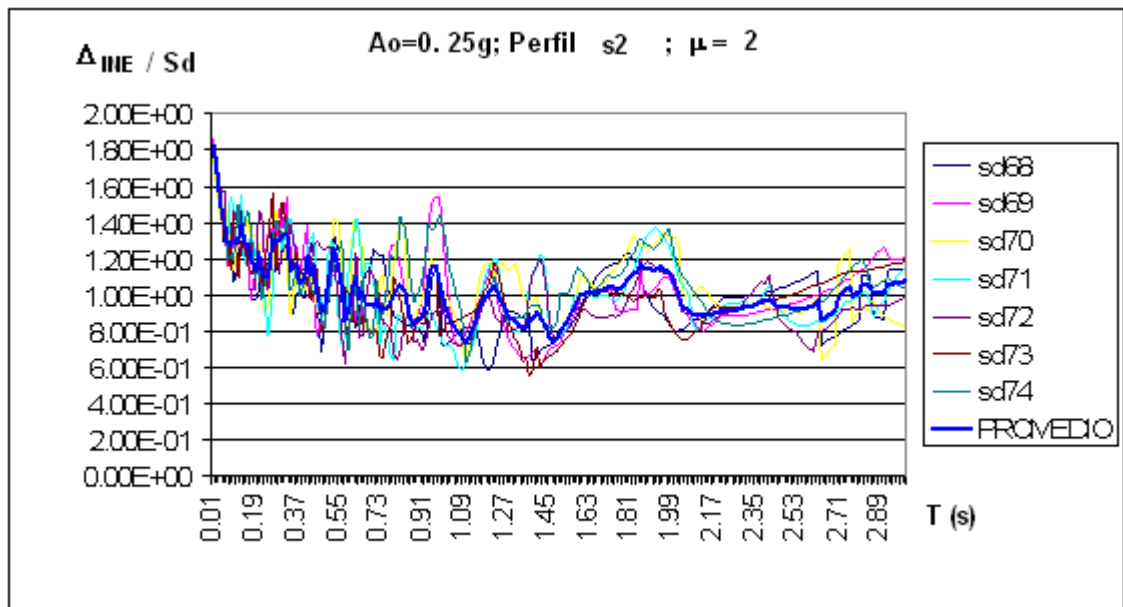


Figura 5.14 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo S2

En la fig. 5.14 l se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

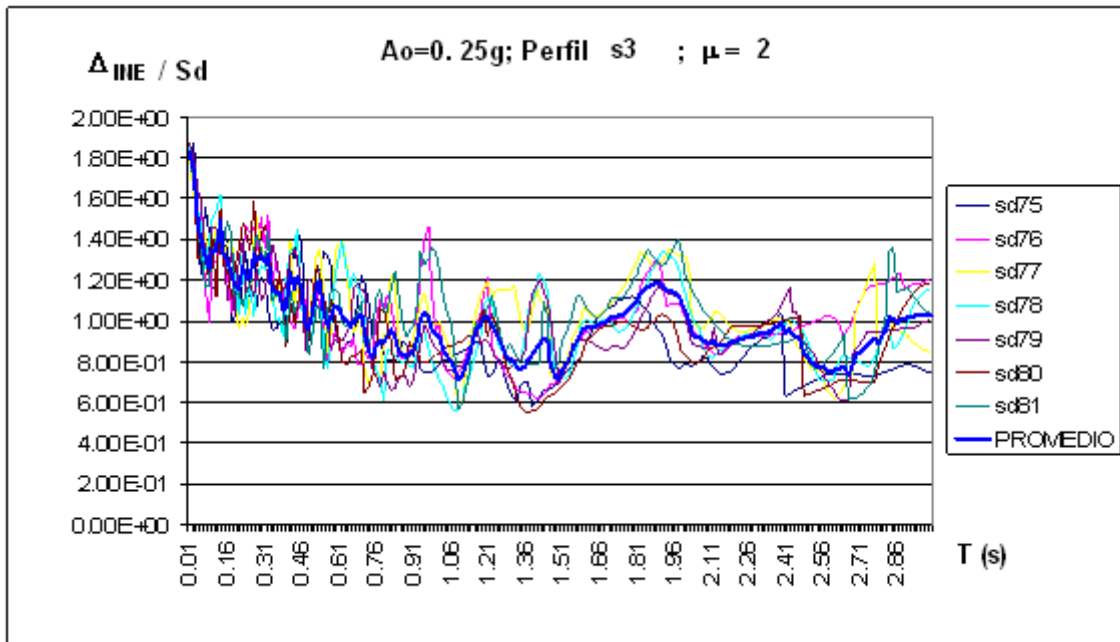


Figura 5.15 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo S3

En la fig. 5.15 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

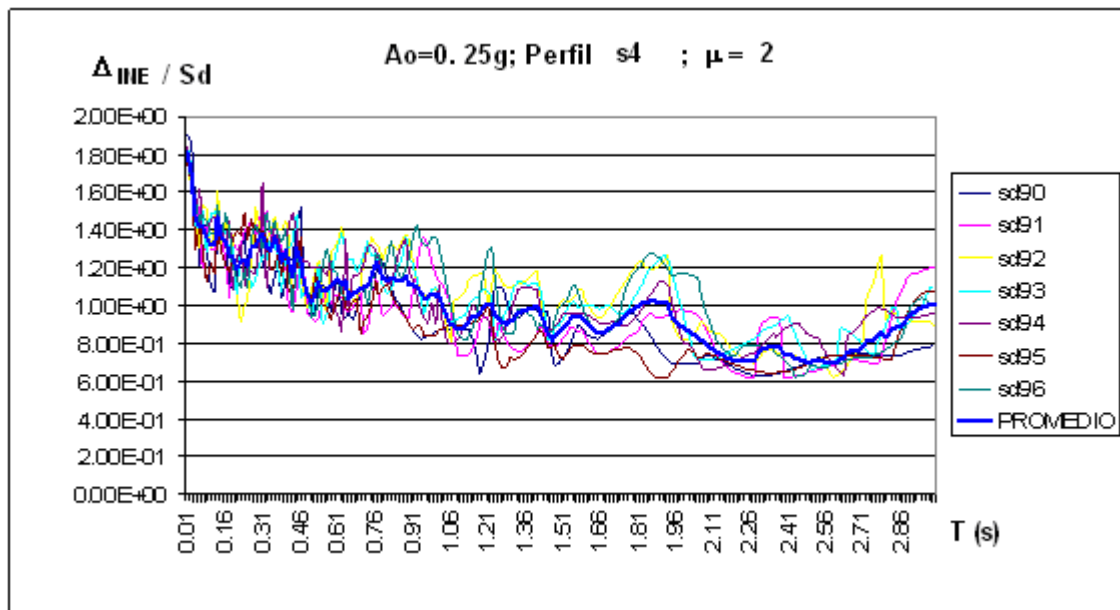


Figura 5.16 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 2 suelo S4

En la fig. 5.16 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.



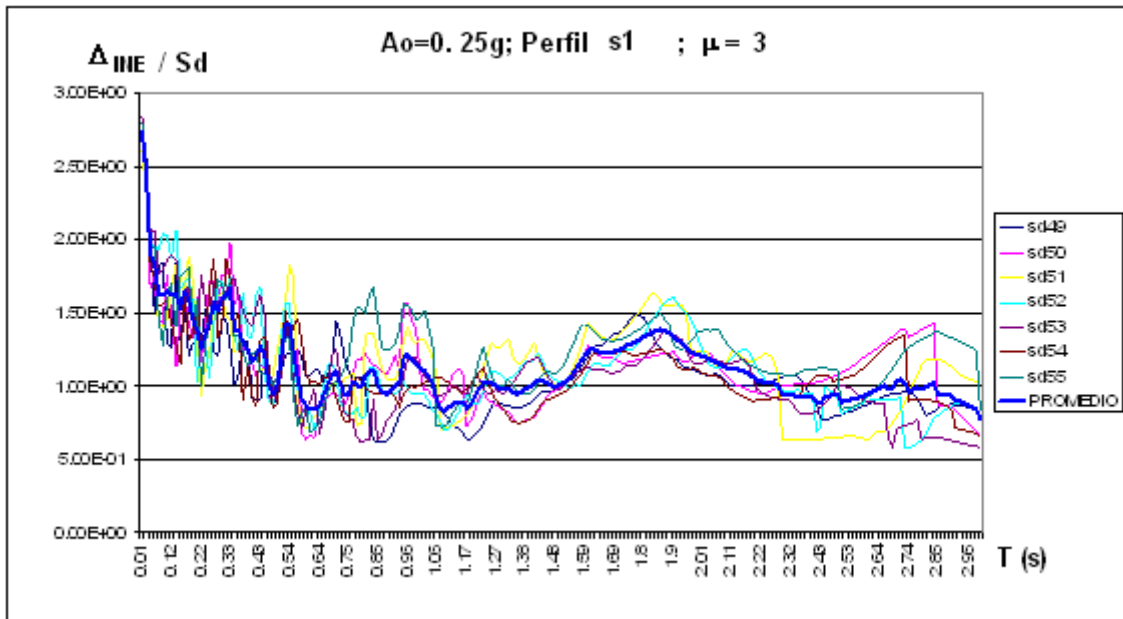


Figura 5.17 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo S1

En la fig. 5.17 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

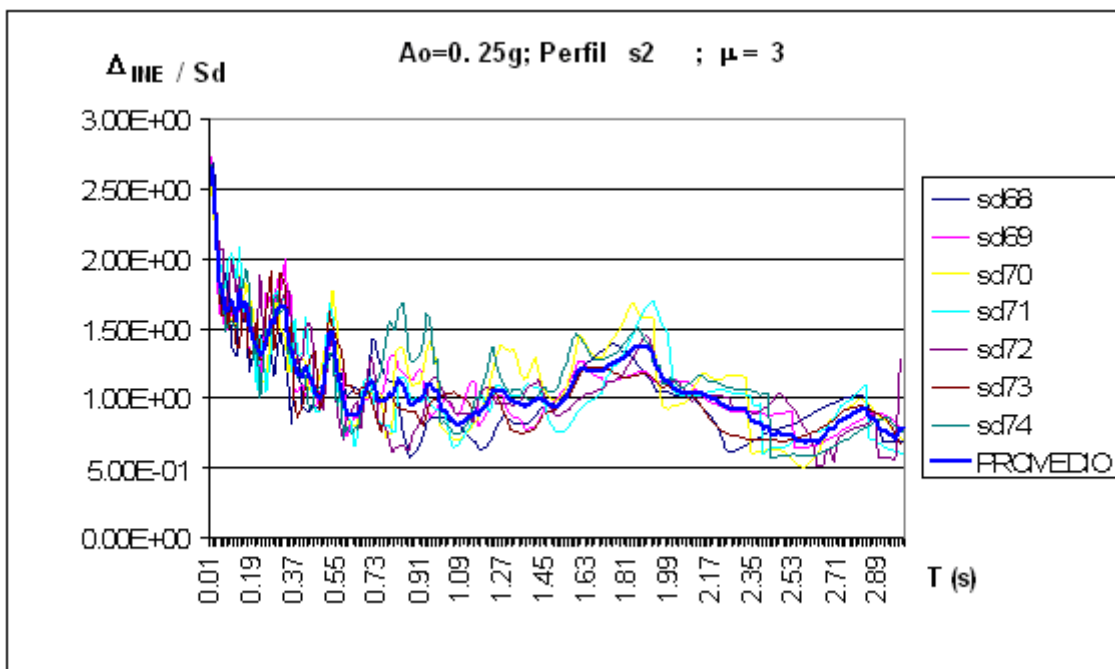


Figura 5.18 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo S2

En la fig. 5.18 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

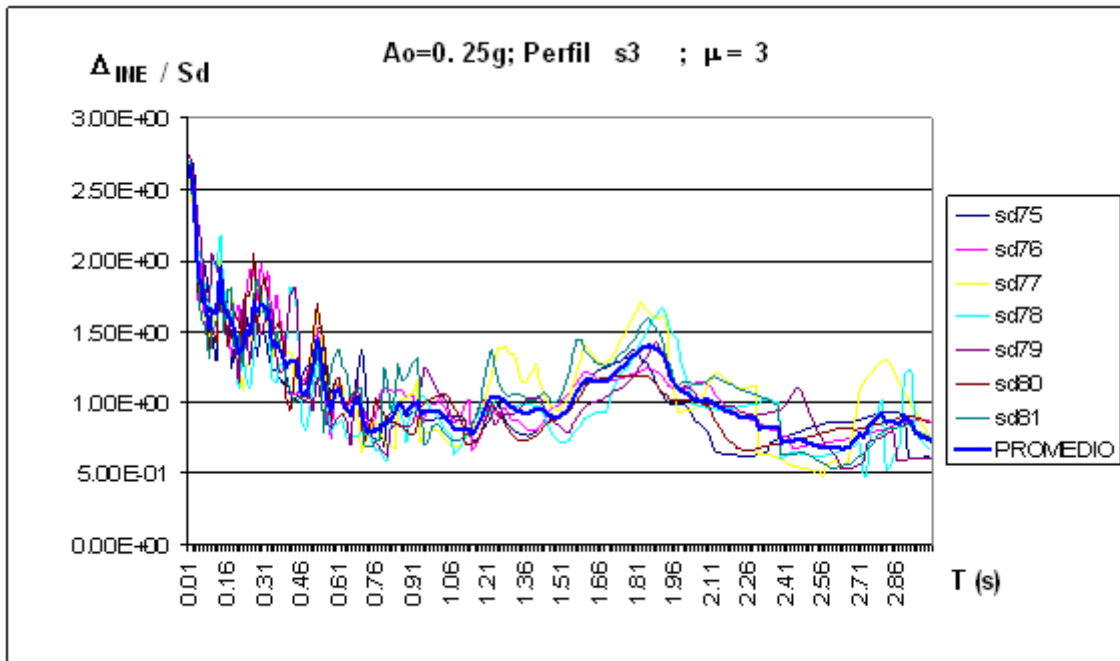


Figura 5.19 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo S3

En la fig. 5.19 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

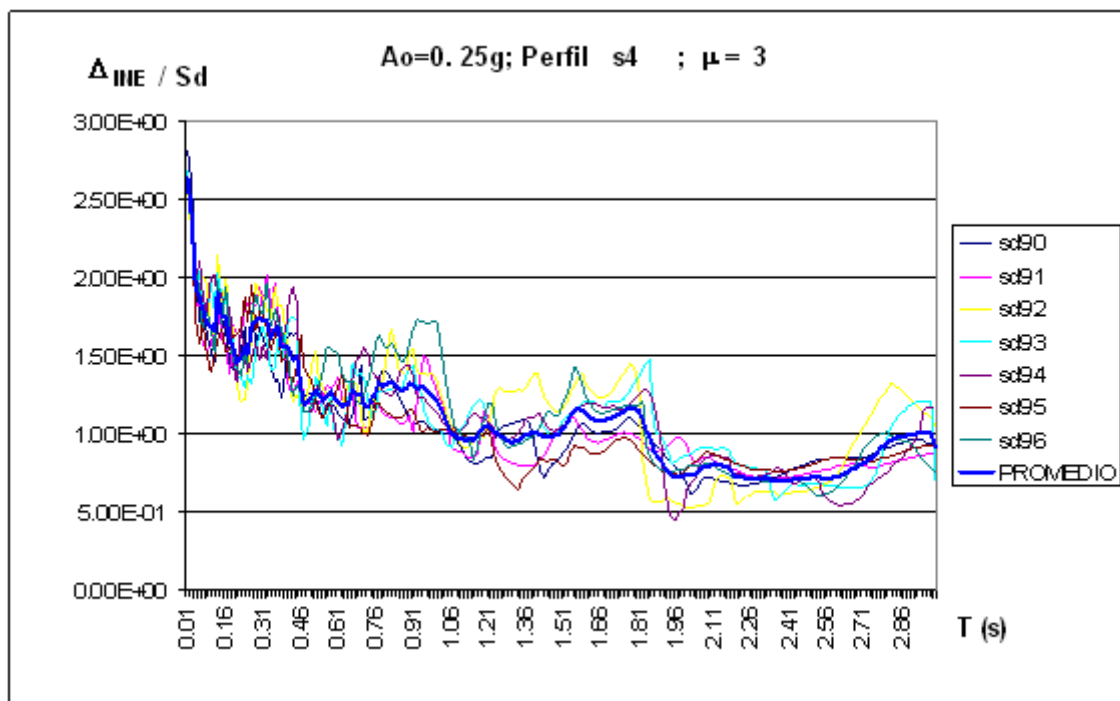


Figura 5.20 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 3 suelo S4

En la fig. 5.20 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

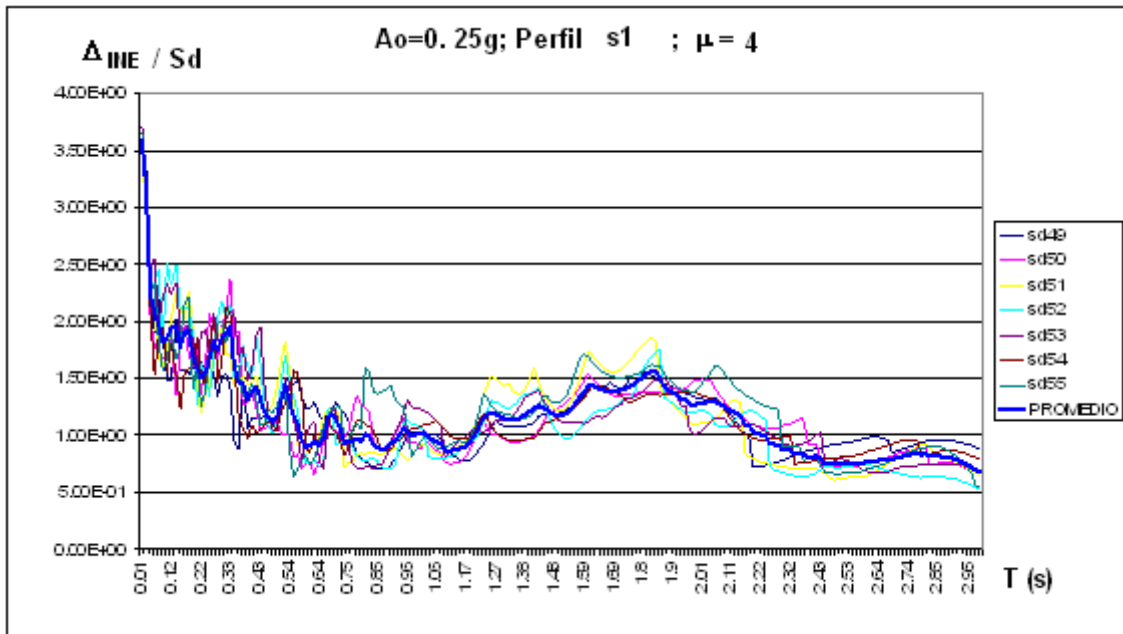


Figura 5.21 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo S1

En la fig. 5.21 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

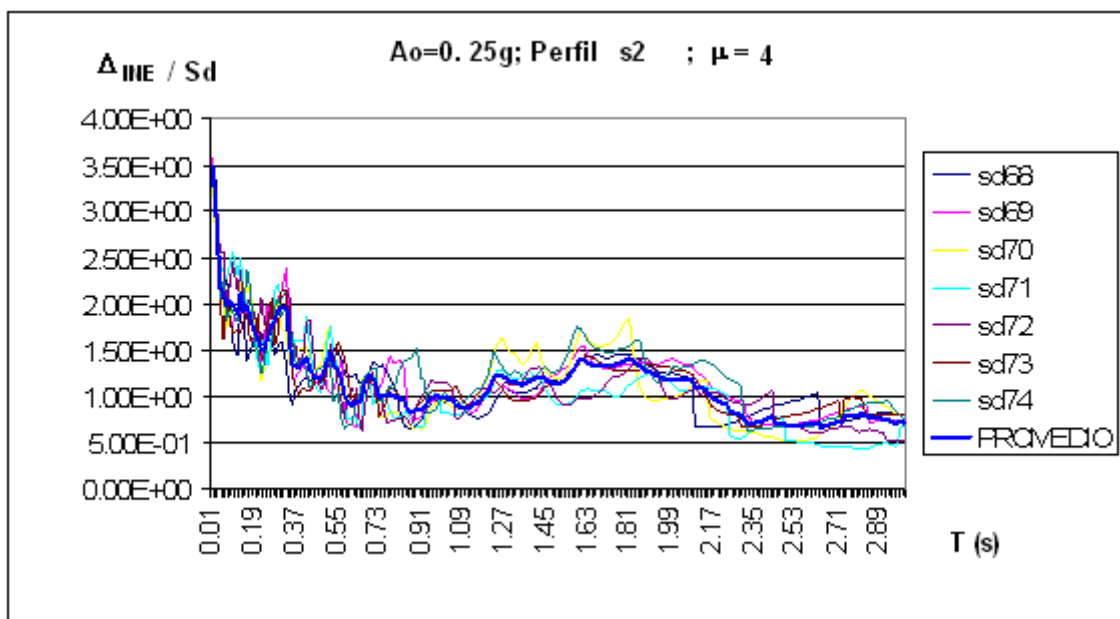


Figura 5.22 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo S2

En la fig. 5.22 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

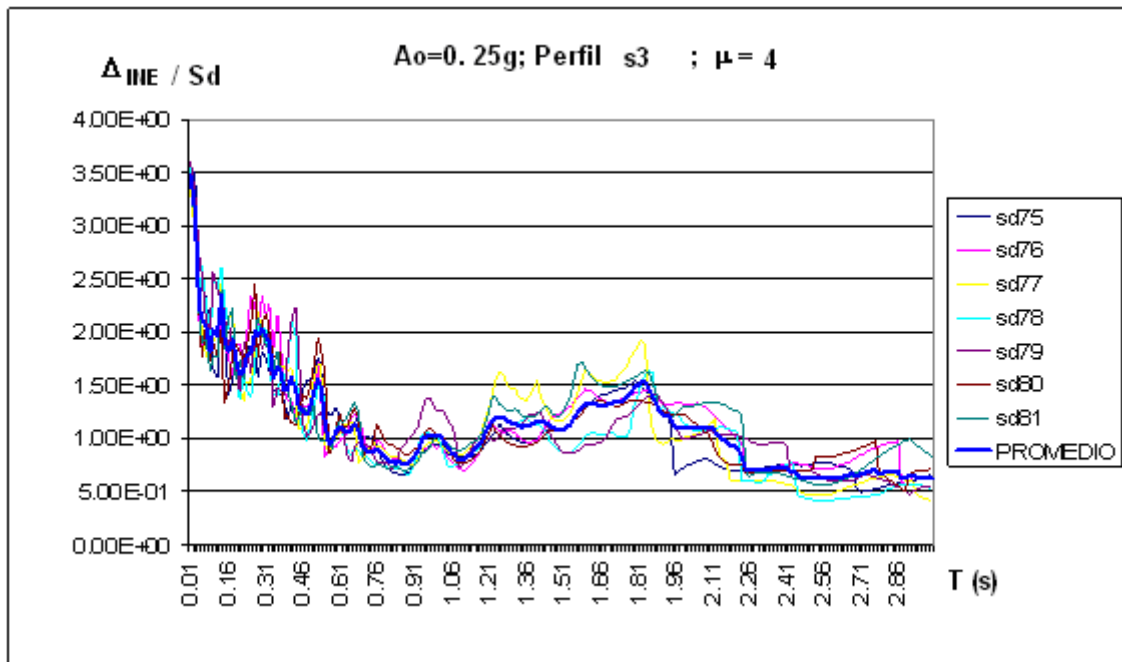


Figura 5.23 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo S3

En la fig. 5.23 se aprecia que para períodos mayores a 0.7, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

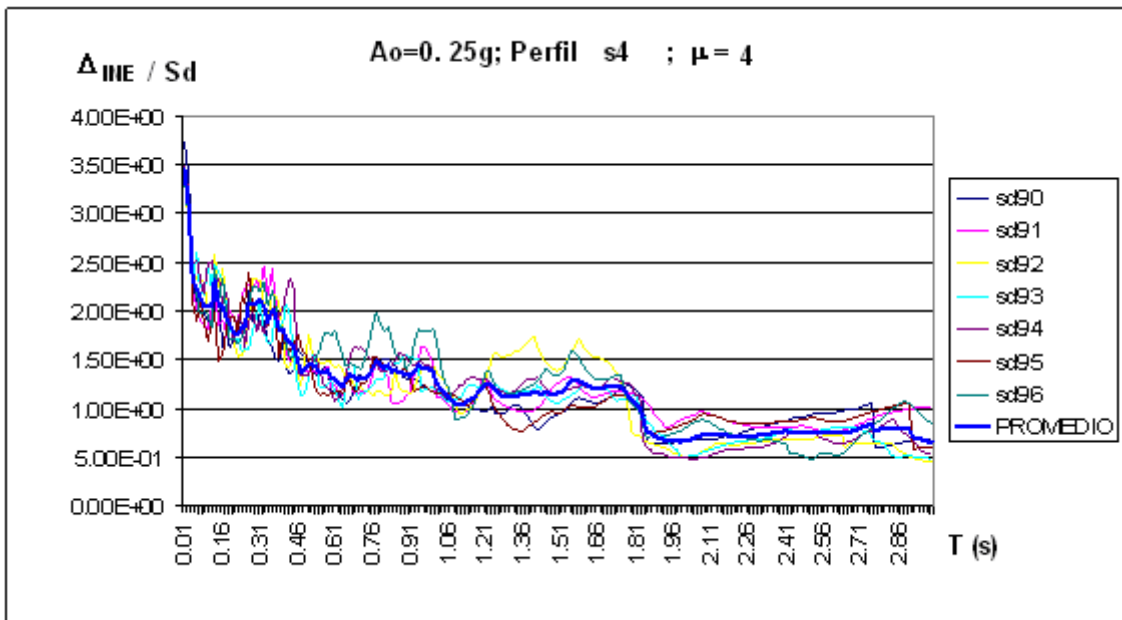


Figura 5.24 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo S4

En la fig. 5.24 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

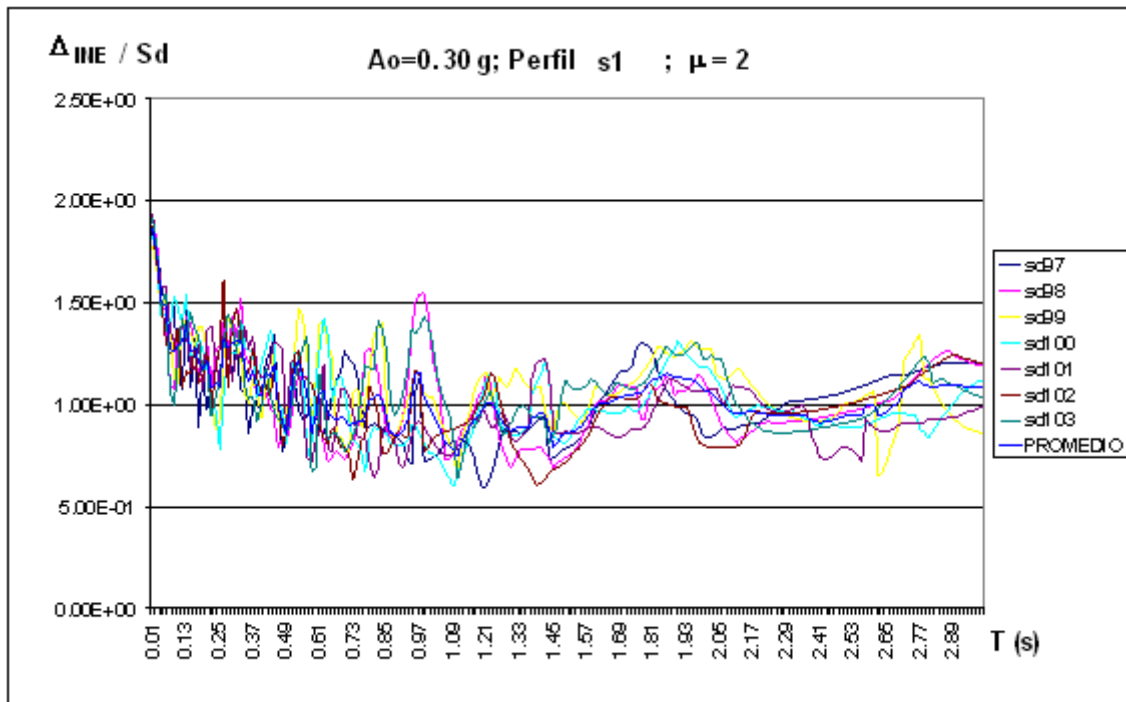


Figura 5.25 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.25g ductilidad 4 suelo S1

En la fig. 5.25 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

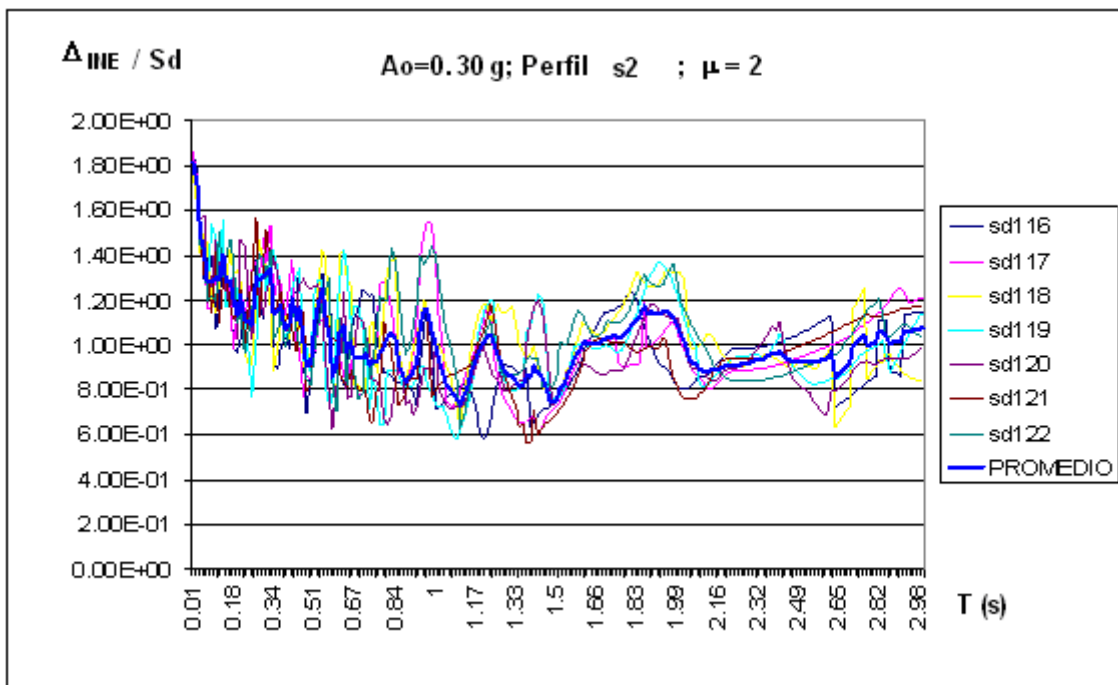


Figura 5.26 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo S2

En la fig. 5.26 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

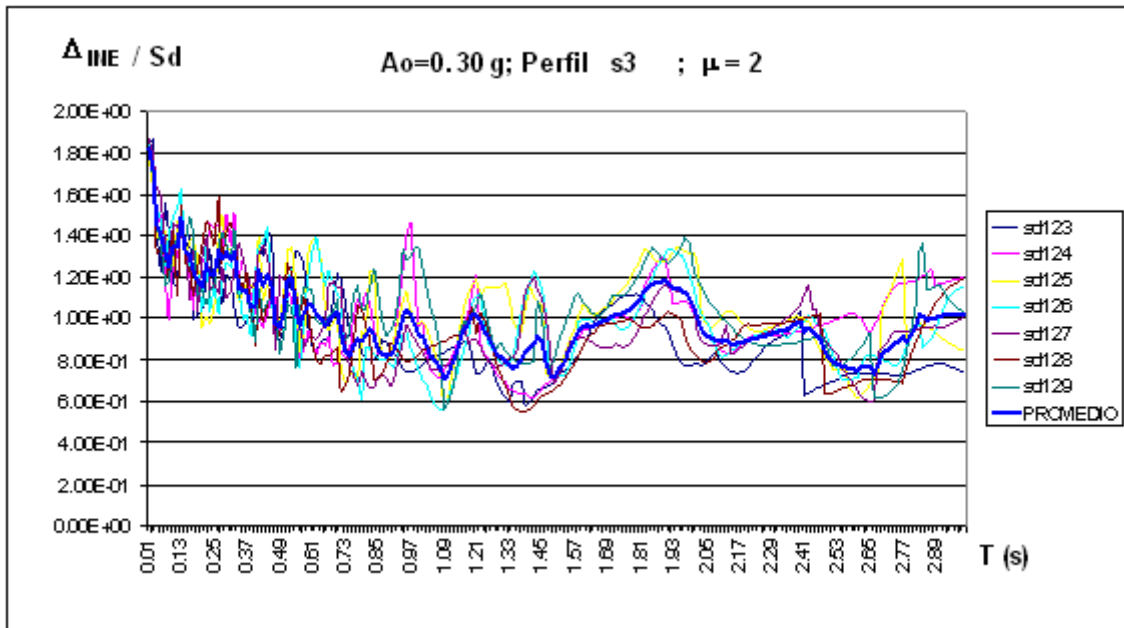


Figura 5.27 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo S3

En la fig. 5.27 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

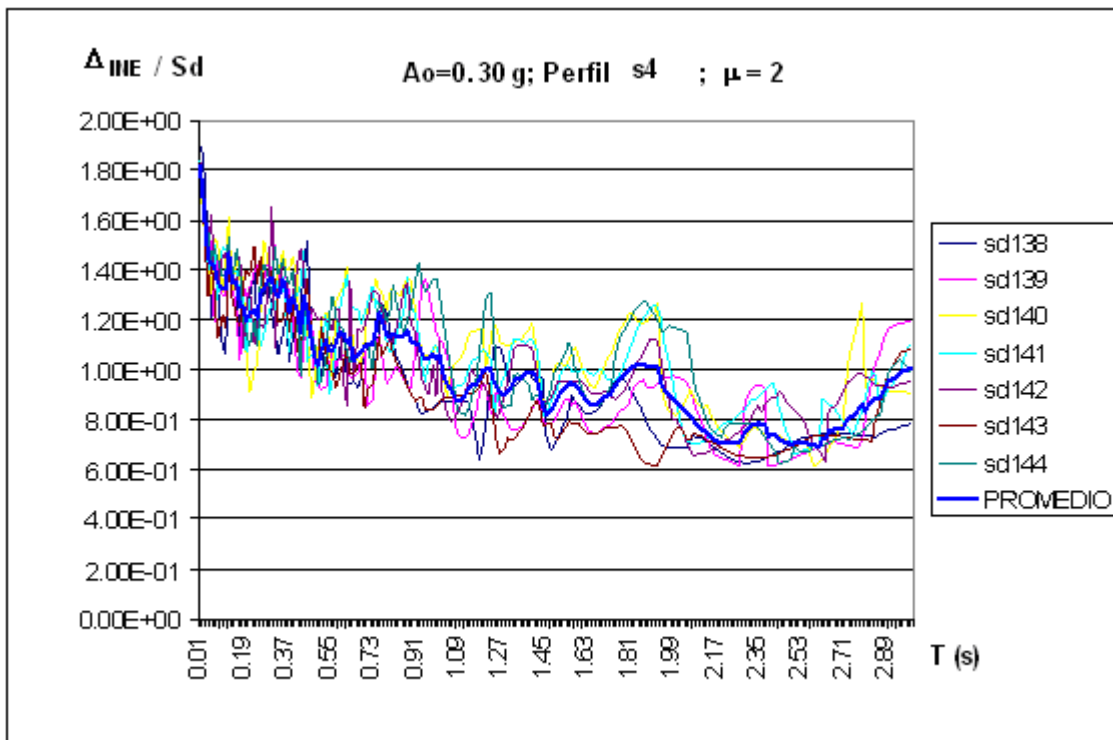


Figura 5.28 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 2 suelo S4

En la fig. 5.28 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

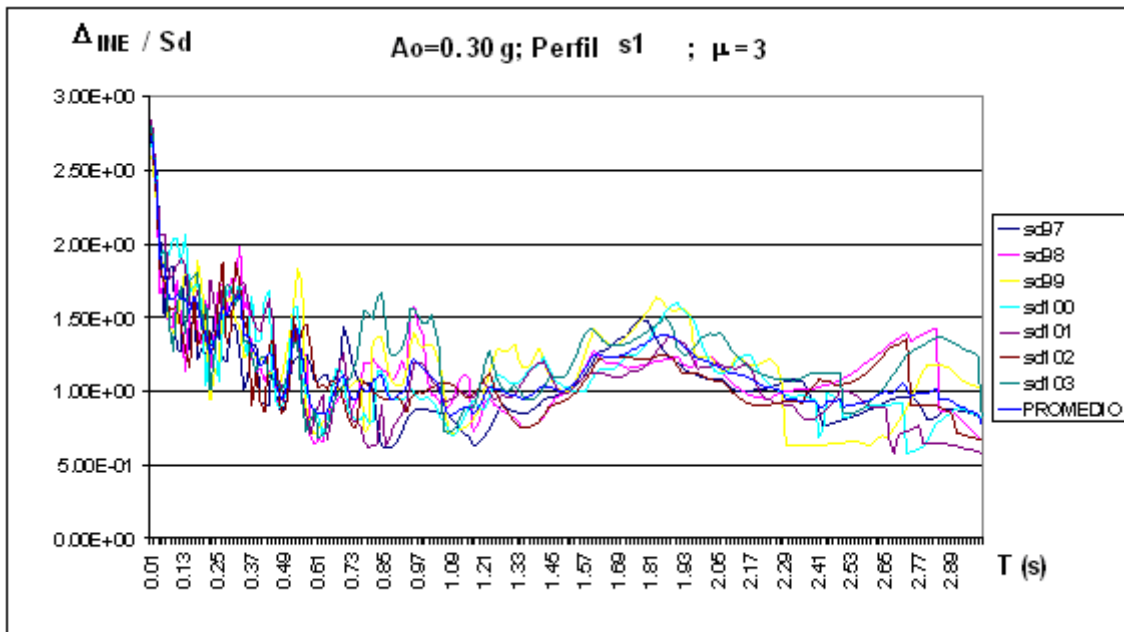


Figura 5.29 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo S1

En la fig. 5.29 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

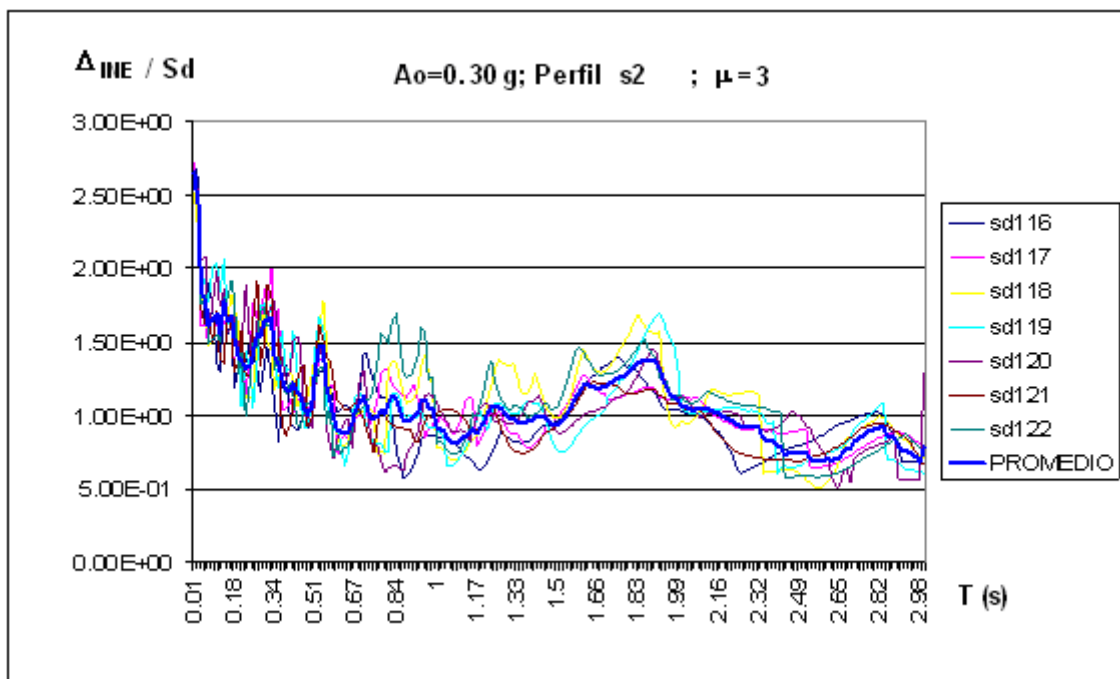


Figura 5.30 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo S2

En la fig. 5.30 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

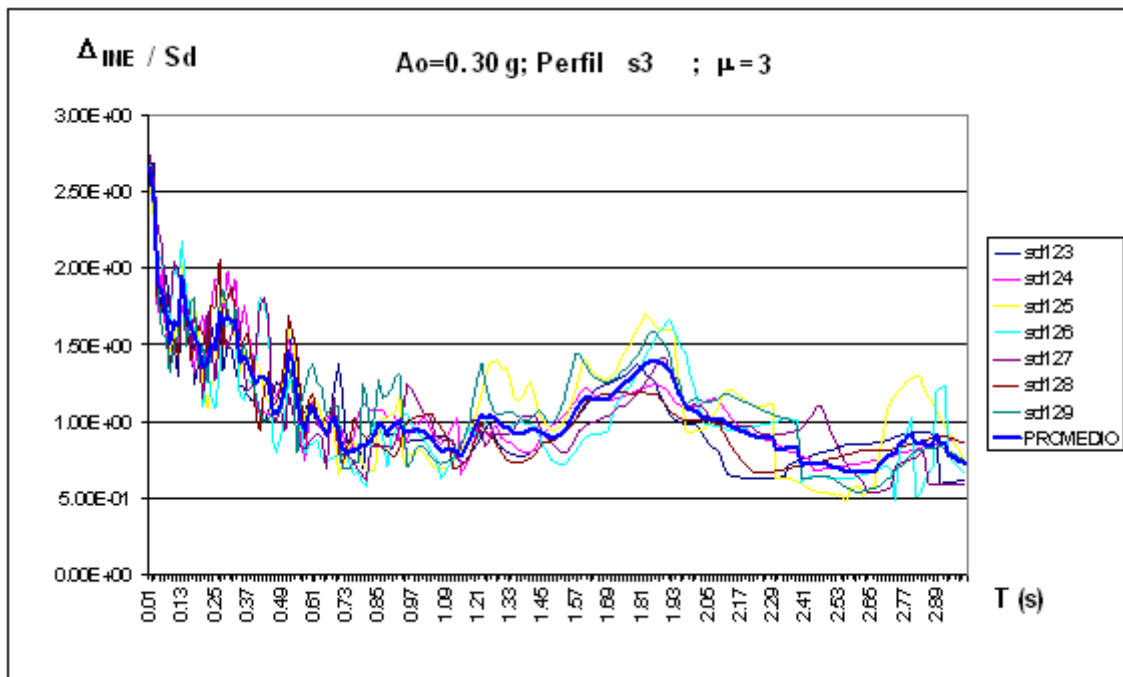


Figura 5.31 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo S3

En la fig. 5.31 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

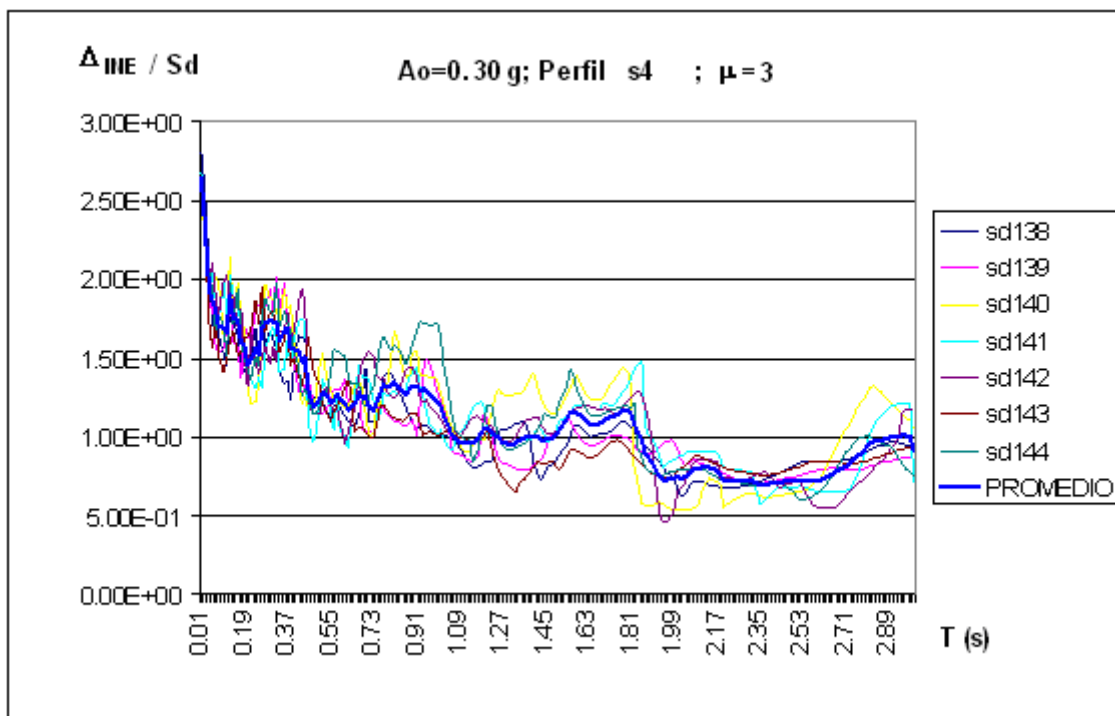


Figura 5.32 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 3 suelo S4

En la fig. 5.32 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.



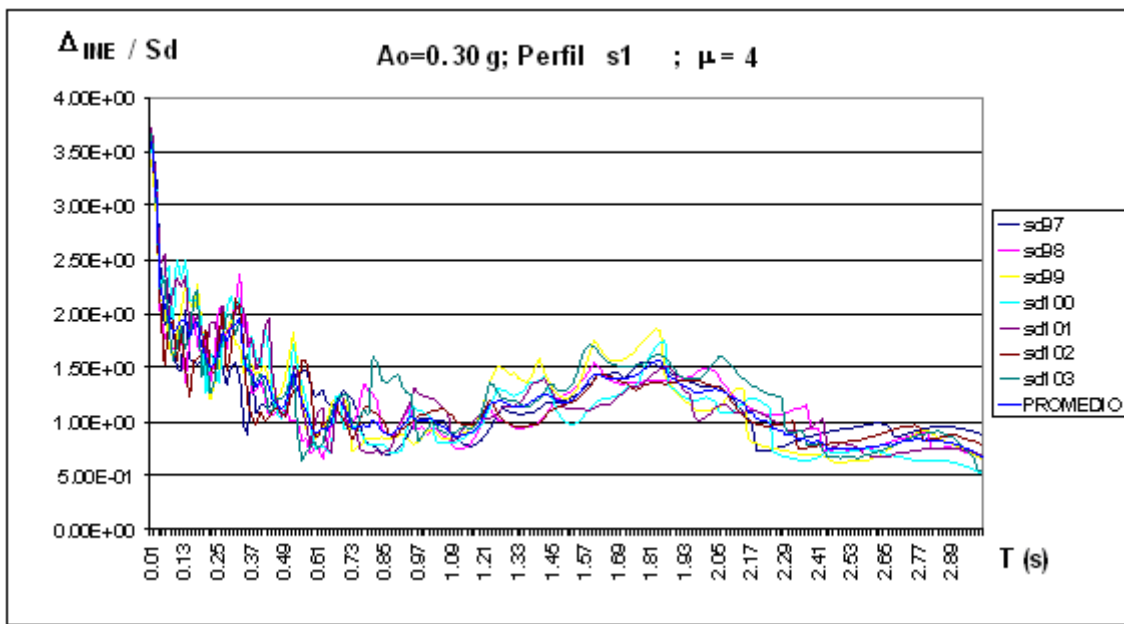


Figura 5.33 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo S1

En la fig. 5.33 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

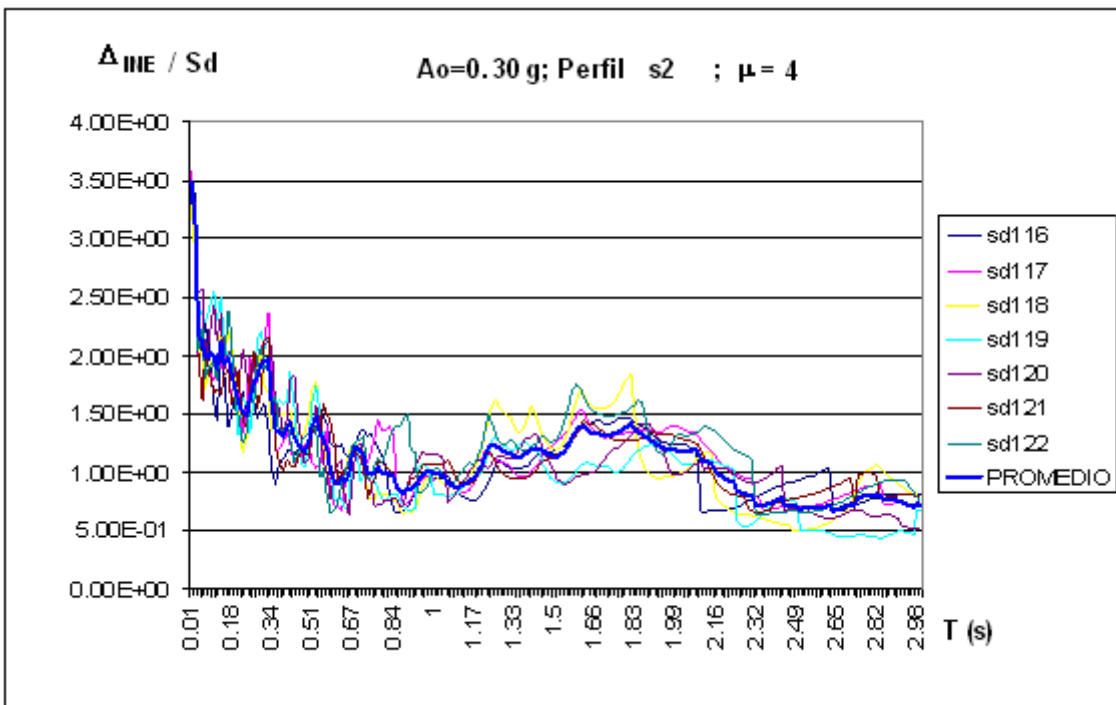


Figura 5.34 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo S2

En la fig. 5.34 se aprecia que para períodos mayores a 0.5, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

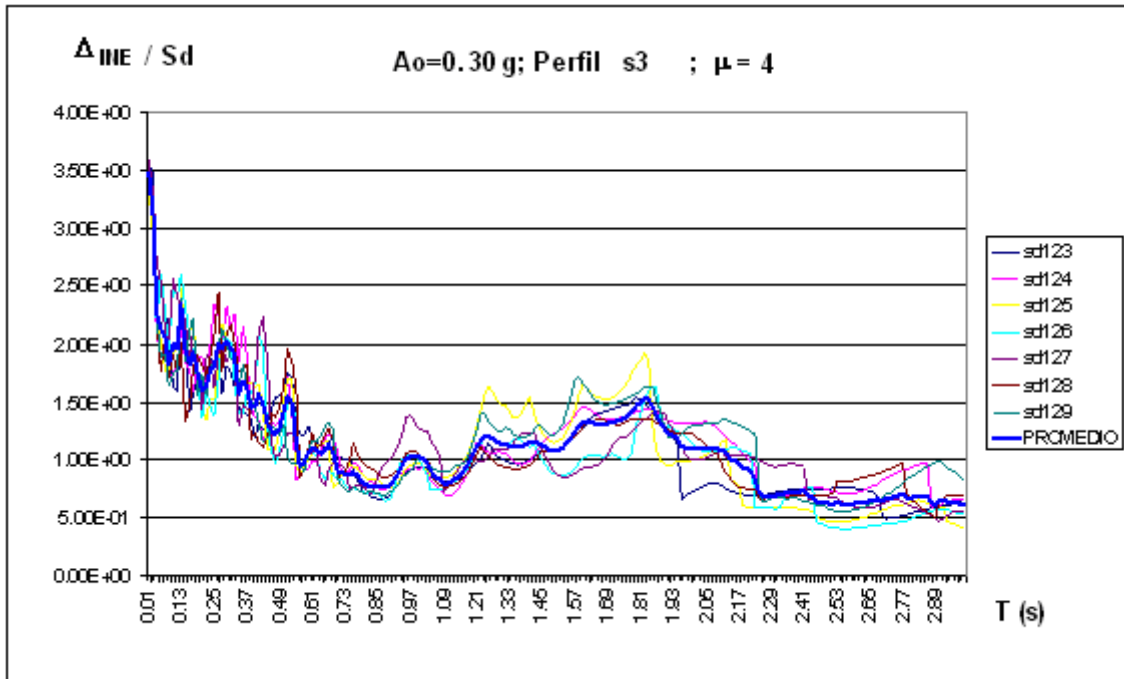


Figura 5.35 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo S3

En la fig. 5.35 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

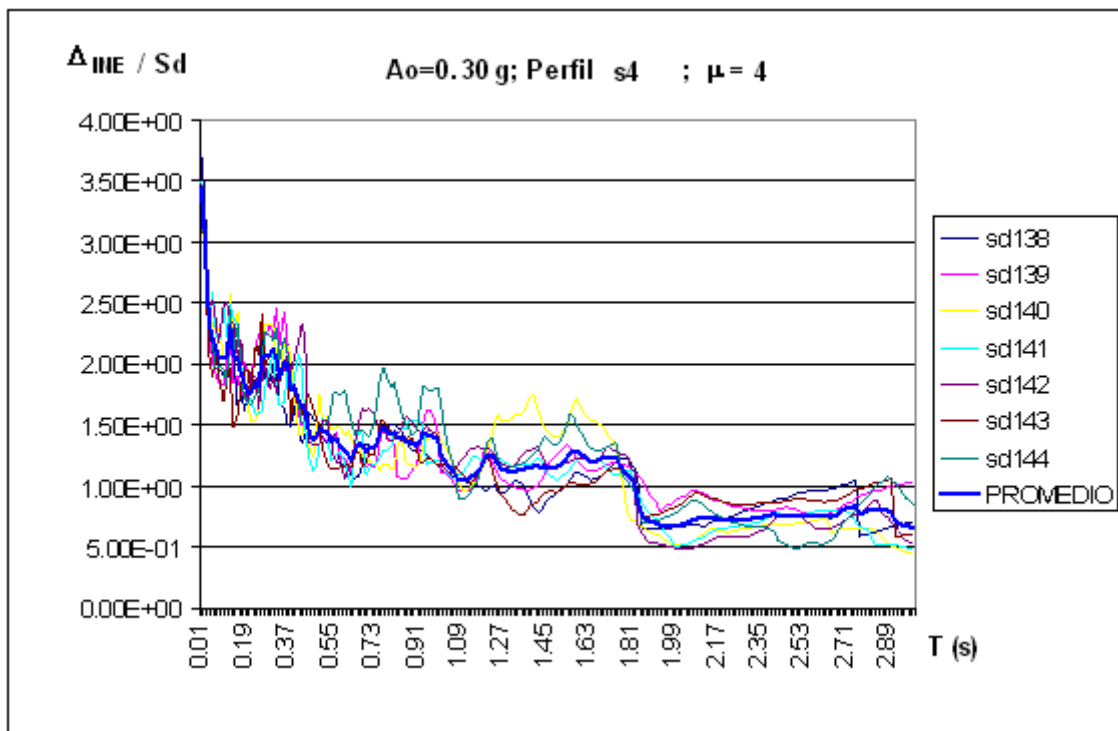


Figura 5.36 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.30g ductilidad 4 suelo S4

En la fig. 5.36 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

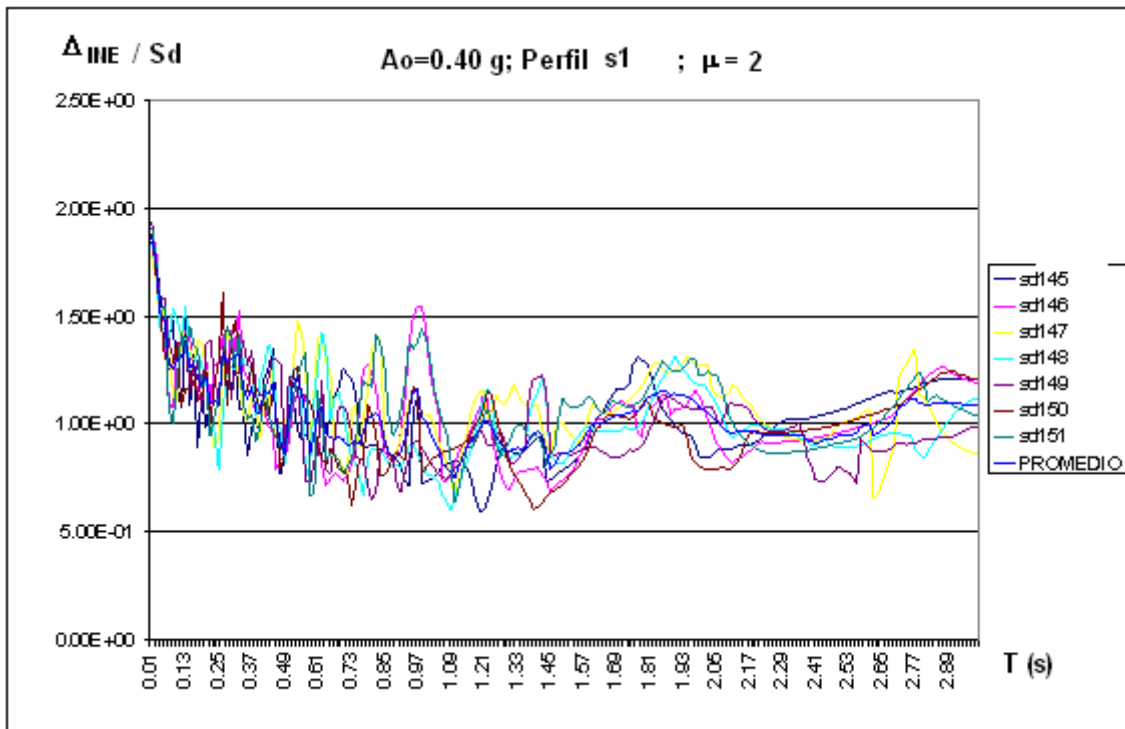


Figura 5.37 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo S1

En la fig. 5.37 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

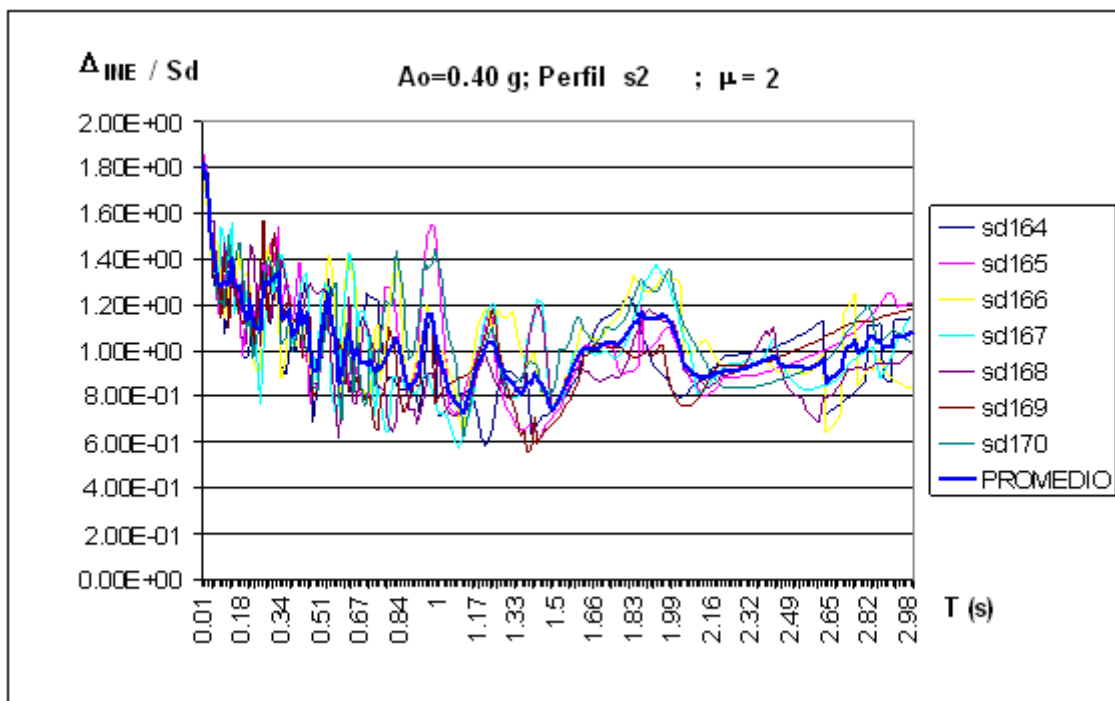


Figura 5.38 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo S2

En la fig. 5.38 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

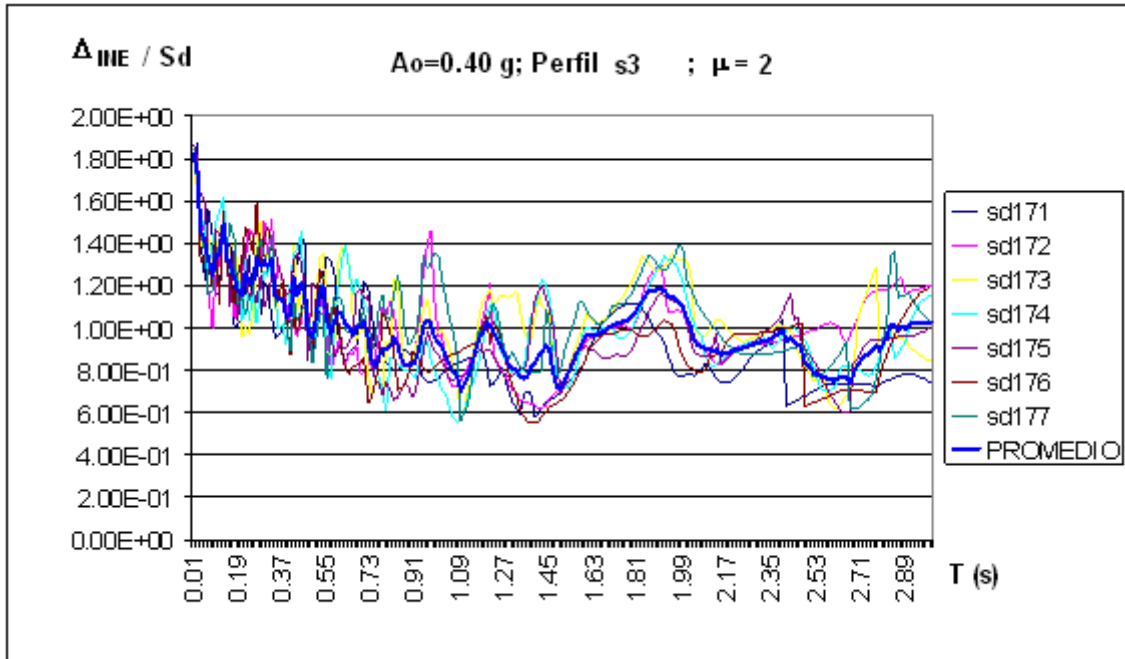


Figura 5.39 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo S3

En la fig. 5.39 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

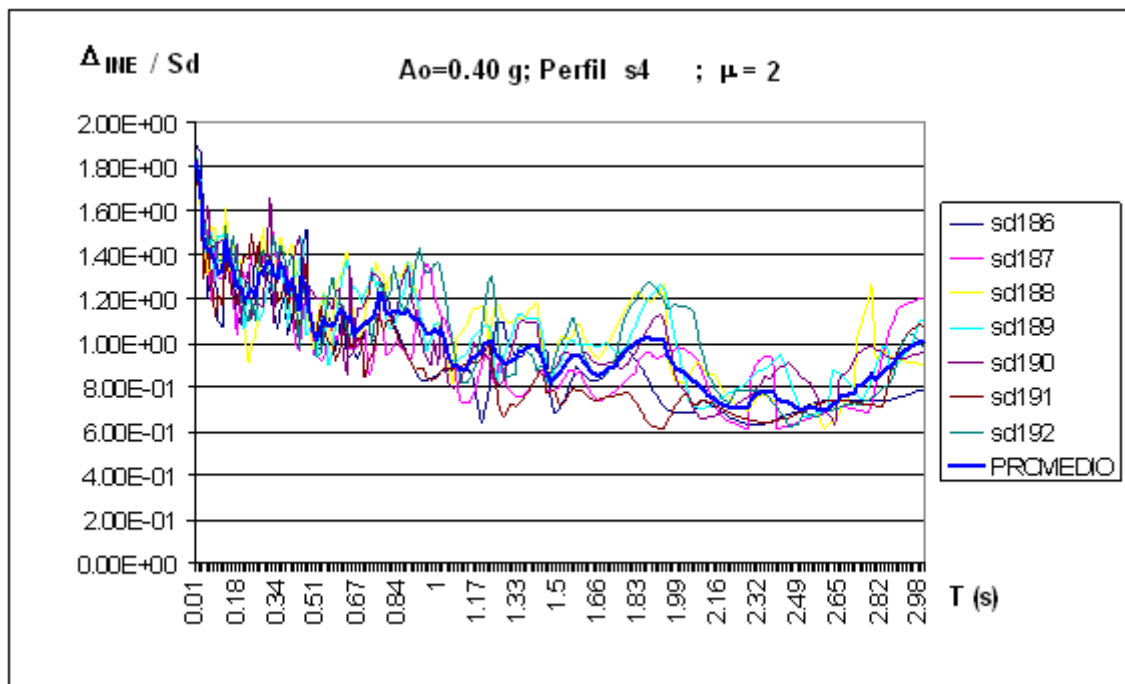


Figura 5.40 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 2 suelo S4

En la fig. 5.40 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

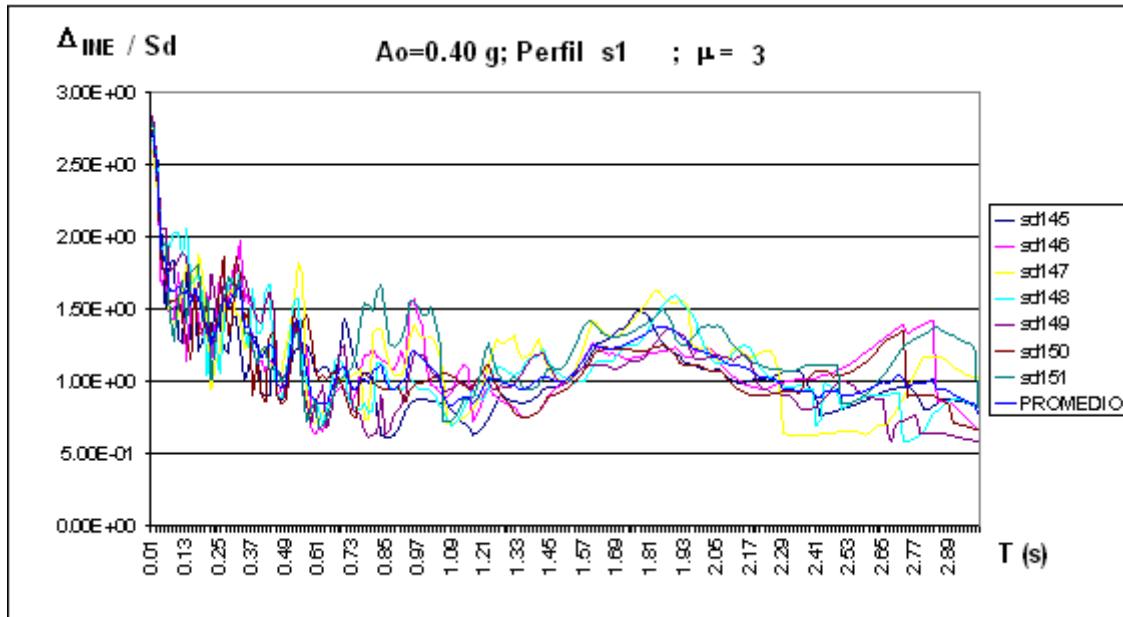


Figura 5.41 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo S1

En la fig. 5.41 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

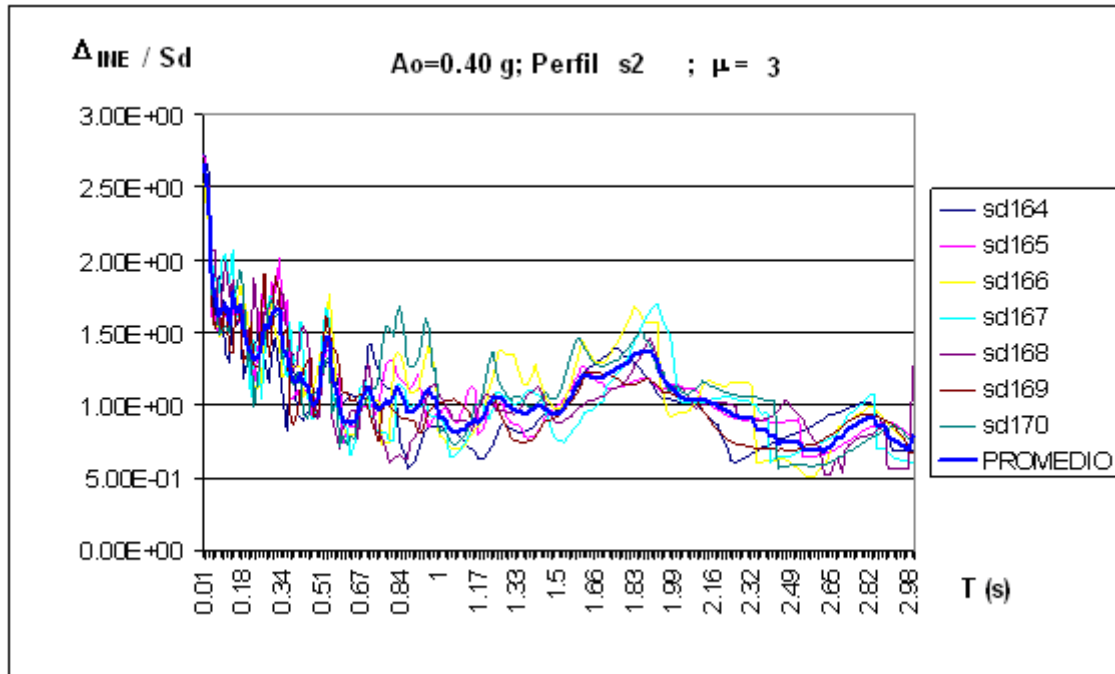


Figura 5.42 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo S2

En la fig. 5.42 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

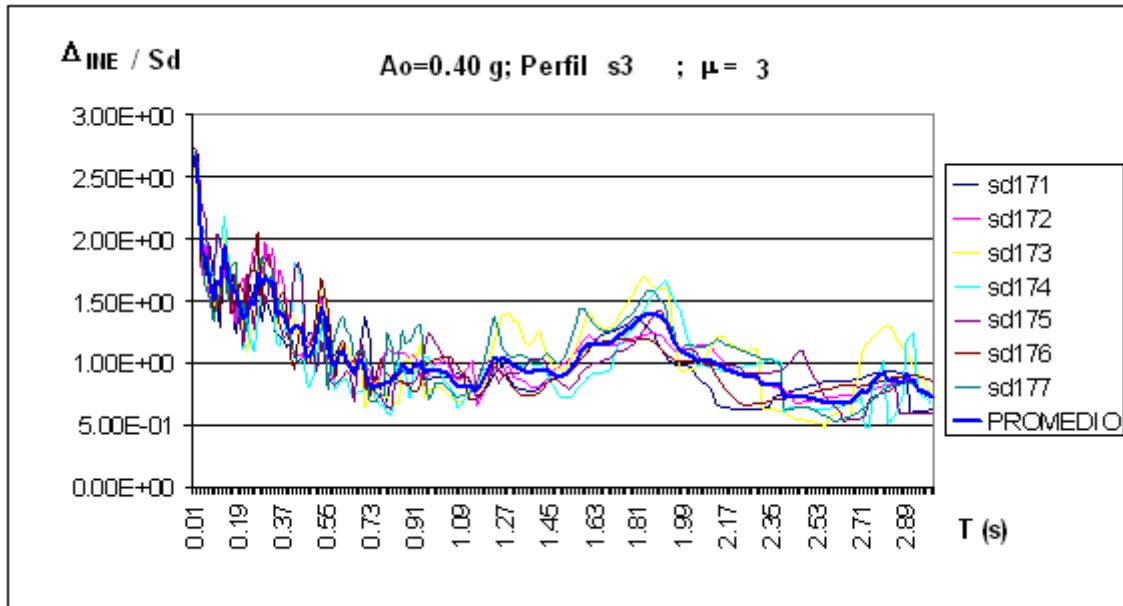


Figura 5.43 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo S3

En la fig. 5.43 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

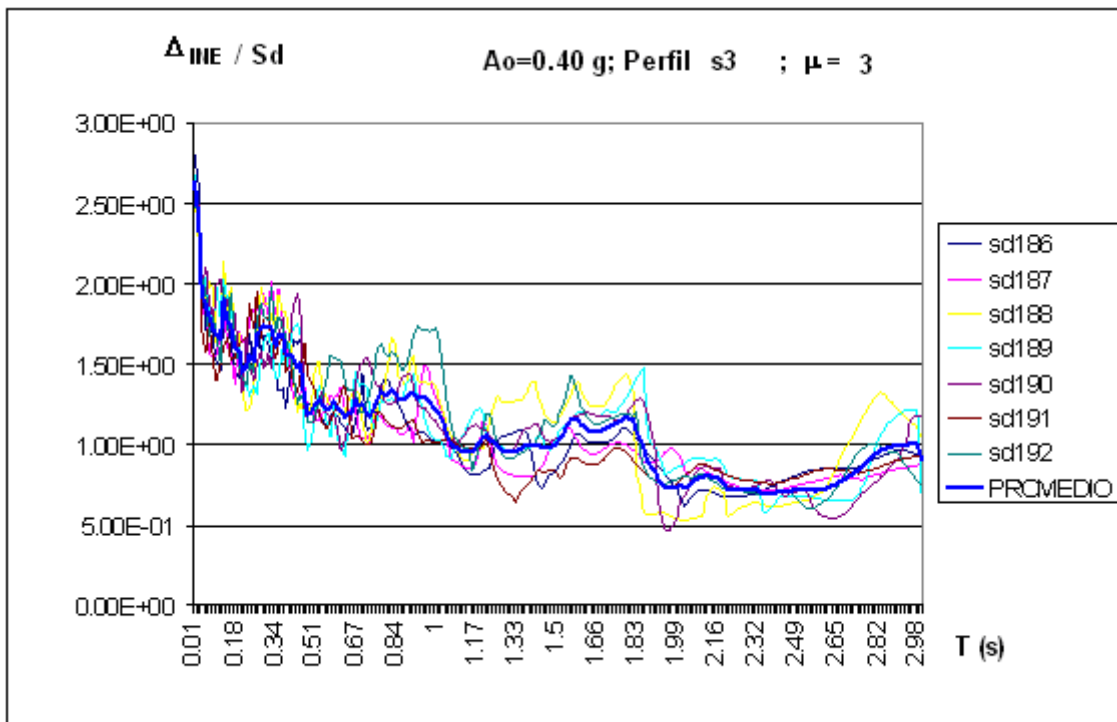


Figura 5.44 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 3 suelo S4

En la fig. 5.44 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

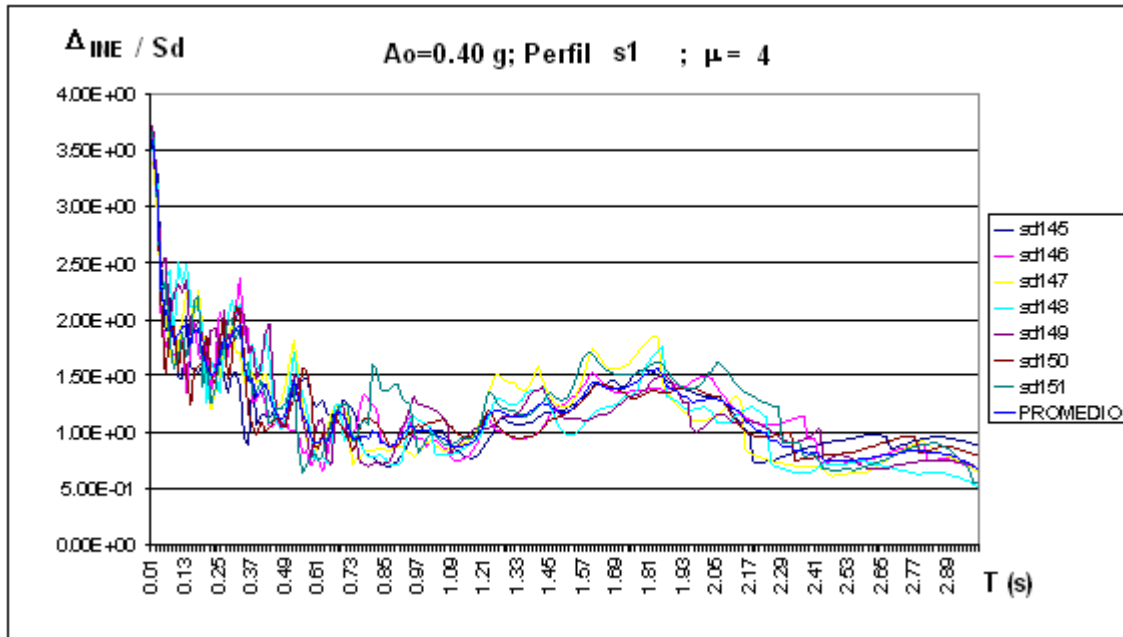


Figura 5.45 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo S1

En la fig. 5.45 se aprecia que para períodos mayores a 0.65, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

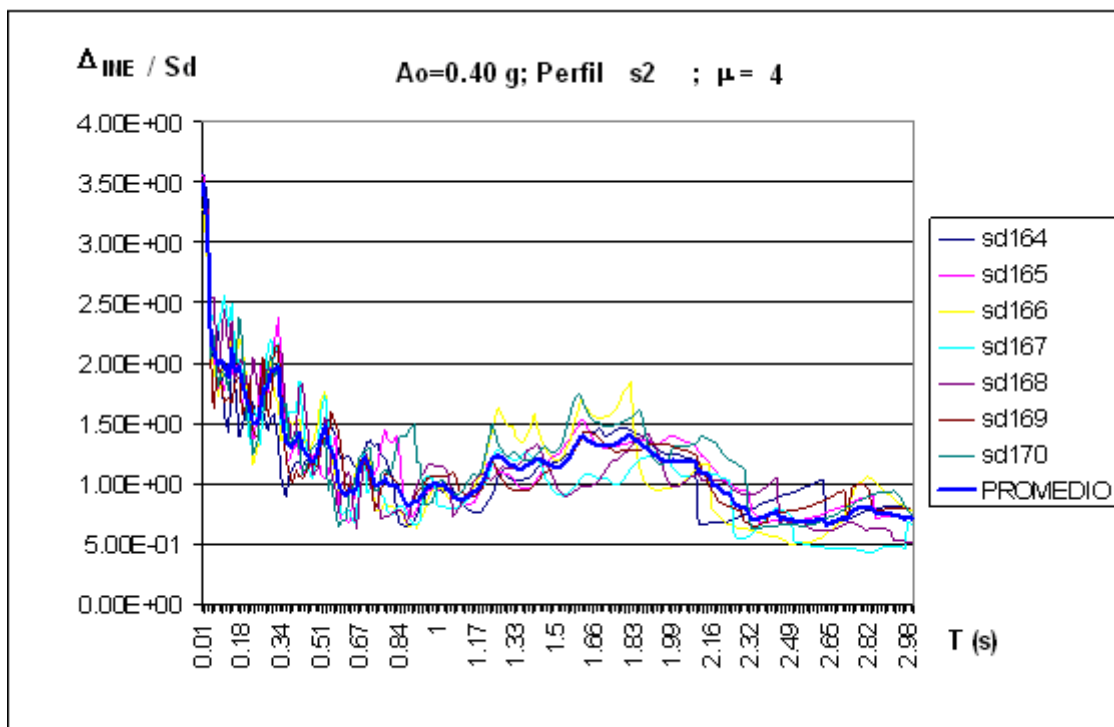


Figura 5.46 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo S2

En la fig. 5.46 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

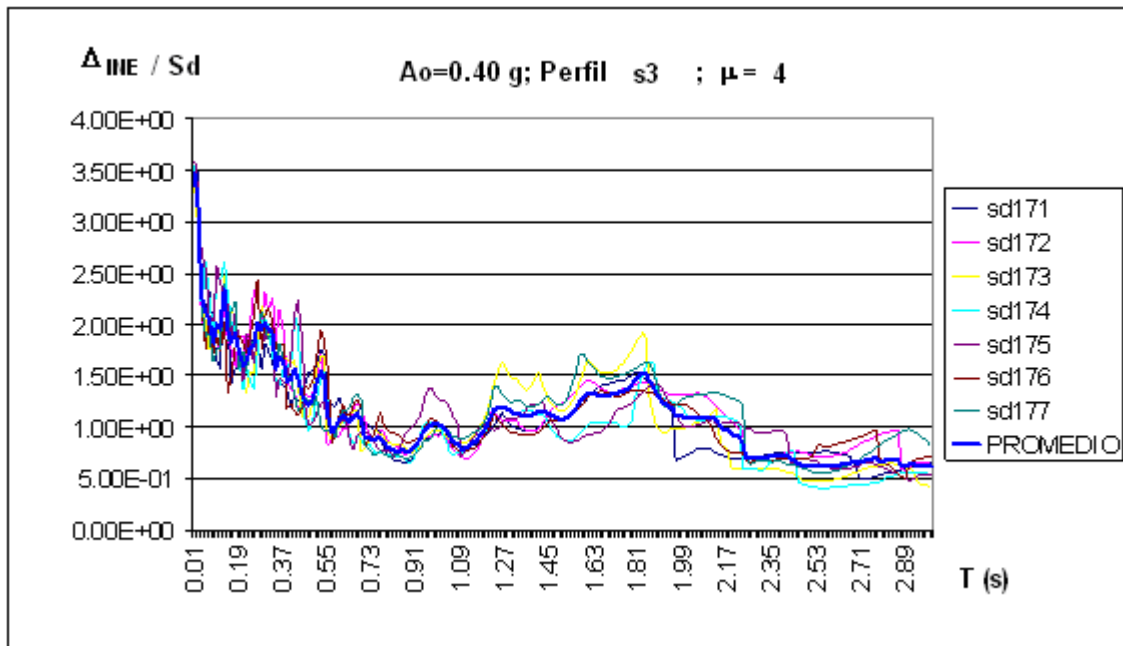


Figura 5.47 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo S3

En la fig. 5.47 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.

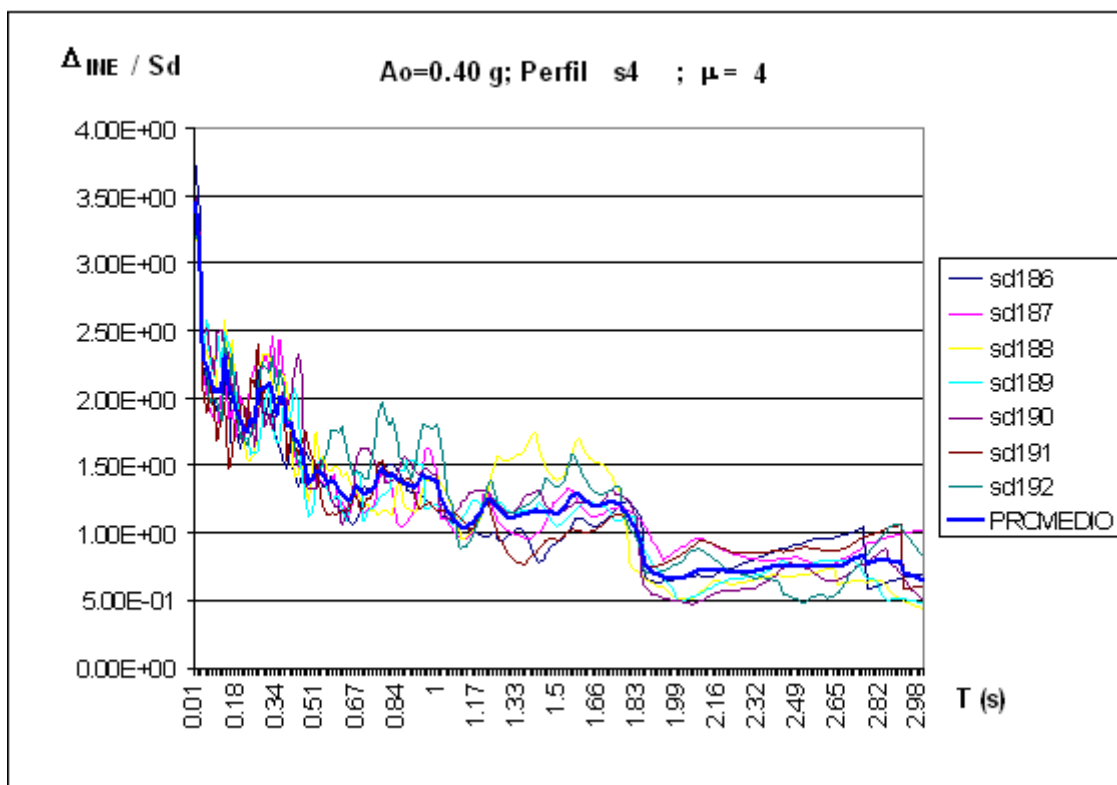


Figura 5.48 Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración 0.40g ductilidad 4 suelo S4

En la fig. 5.48 se aprecia que para períodos mayores a 1, la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiende a la unidad, y los períodos menores tienden a la ductilidad.



### 5.10 AJUSTE DE CURVAS

Una vez obtenidas las relaciones  $\Delta_{INE} / S_d$  para cada uno de los casos, se obtuvieron sus curvas de ajuste basándose en lineamientos propuestos por Chopra (2005).

Primero se coloca en el eje de las X los datos correspondientes a la relación del período  $T$  con respecto al período característico del suelo  $T_s$ , expresado en logaritmo en base 10, y en el eje de las Y los datos medios de la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  expresados en logaritmo en base 2. Hay que tomar en cuenta que los valores de  $T_s$  están expresados en la tabla 3.1 y dependen del tipo de suelo.

Como segundo punto se consideró una ecuación parecida a la de Chopra para ajustar las curvas obtenidas, introduciendo más variables como  $\lambda$ , que es un factor de traslación de coordenadas y  $\psi$  un factor de escala horizontal, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Log}_2 C_\mu = \text{Log}_{10} \left\{ 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \right\} \quad (5.2)$$

Cabe indicar que el  $C_u$  es el factor  $\beta_3$  indicado a inicios del capítulo V. y que

$$R_\mu = \frac{\mu}{C_\mu} \quad (5.3)$$

**Durante el estudio se pudo observar que la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  es la misma para el grupo de datos correspondientes a los sismos normalizados a 0.15 g.; 0.25 g.; 0.30 g.; y 0.40 g por lo cual se mostrará el ajuste de curvas para sismos sintéticos únicamente para la aceleración de suelo igual a 0.15g. y ductilidad de 2**

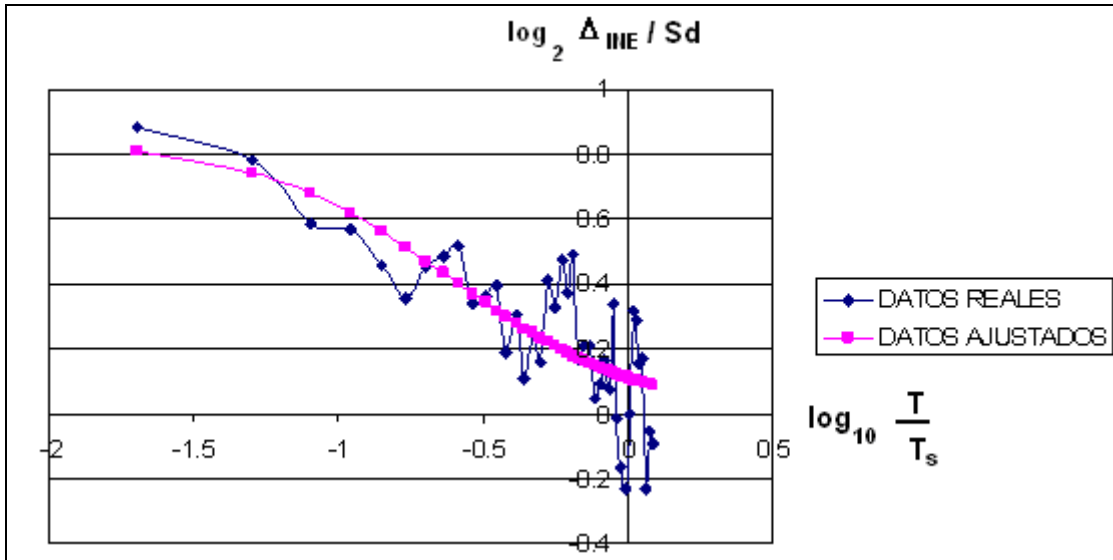


Figura 5.49 Valores medios y curva ajustada ductilidad 2 suelo S1

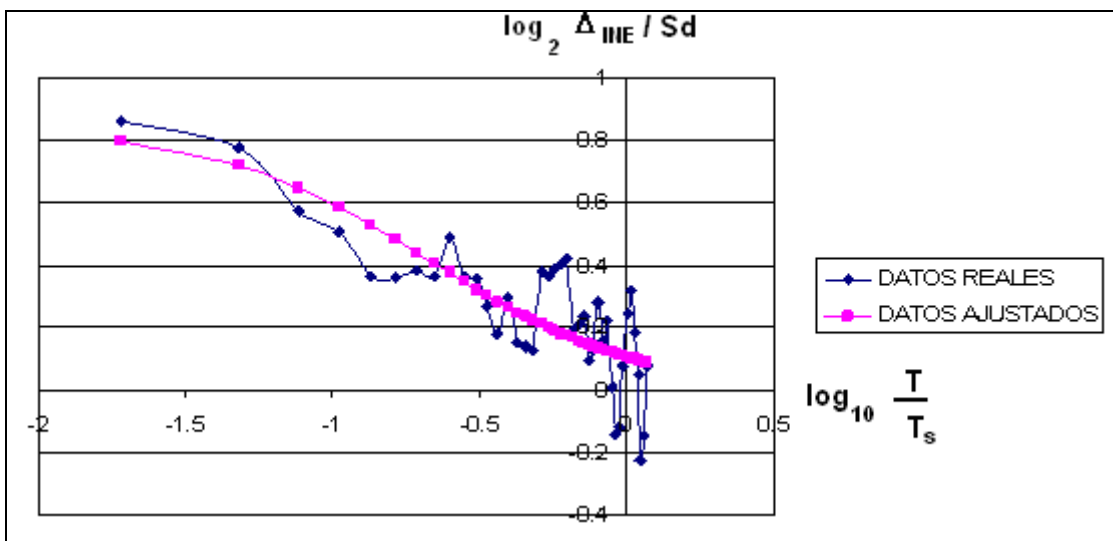


Figura 5.50 Valores medios y curva ajustada ductilidad 2 suelo S2

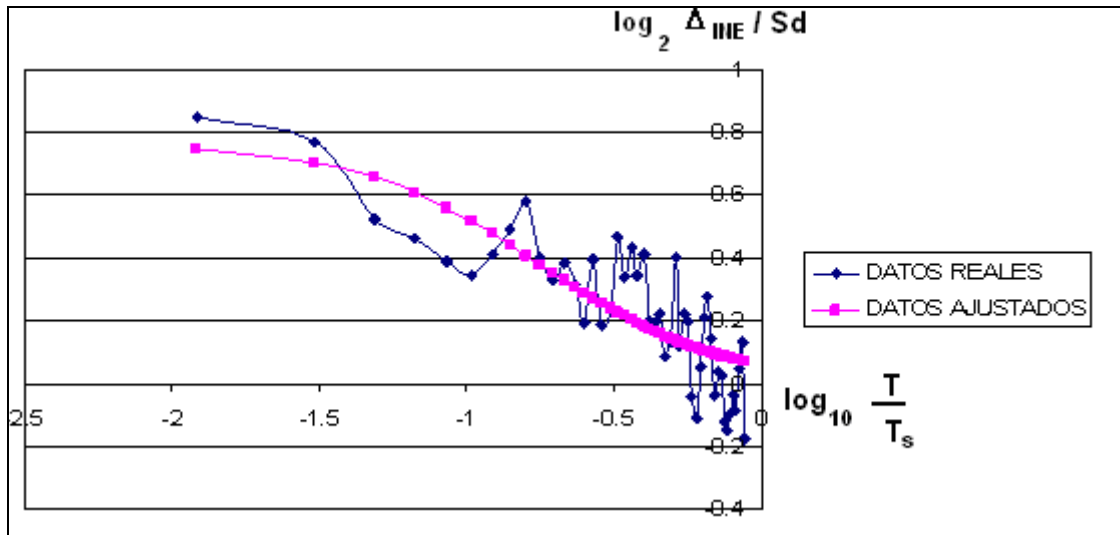


Figura 5.51 Valores medios y curva ajustada ductilidad 2 suelo S3

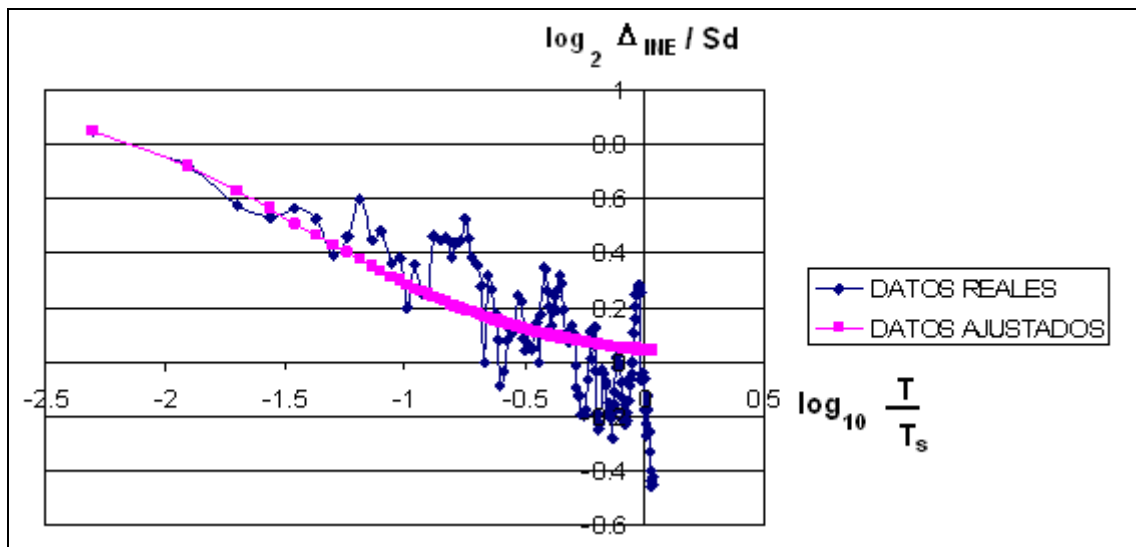


Figura 5.52 Valores medios y curva ajustada ductilidad 2 suelo S4

Ahora mostraremos un ajuste de curvas para sismos reales y su proceso de ajuste que es bastante bueno:

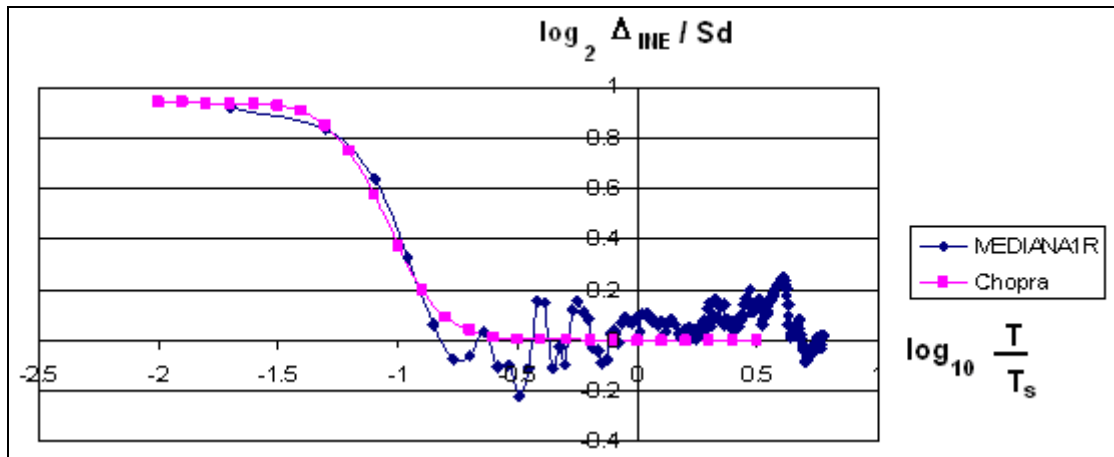


Figura 5.53 Valores medios y curva no ajustada ductilidad 2 suelo S1

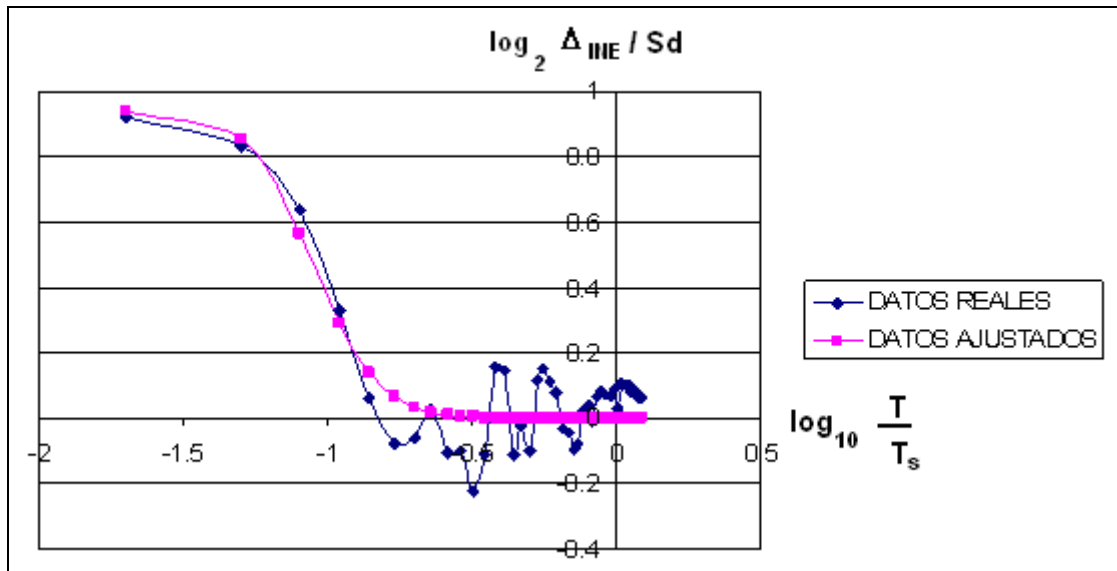


Figura 5.54 Valores medios y curva ajustada ductilidad 2 suelo S1

Tabla 5.1 Valore de ajuste sismos reales ductilidad 2 S1

a=	12.10
b=	-5.30
c=	0.00
d=	4.20
U=	2.00
λ=	0.13
ψ=	2.05

## 5.11 RESULTADOS

Los ajustes del resto de curvas se realizaron de igual manera a la mencionada en el punto anterior, claro esta tomando en cuenta detalles presentados por cada tipo de suelo y por cada ductilidad.

Cabe indicar que la ecuación 5.2, obtenida en el estudio, es valida siempre y cuando se trate de logaritmos, caso contrario se aplicará la siguiente fórmula equivalente:

$$C_{\mu} = \left\{ 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \right\}^{0.30103} \quad (5.4)$$

Ahora se presentarán los datos obtenidos en este estudio para cada tipo de suelos (reales y sintéticos), y para cada ductilidad.

Tabla 5.2 Resultado final de coeficientes.

<b>0.15 g - 0.25 g - 0.30 g - 0.40 g</b>						
		<b>DUCTILIDAD 2</b>				
	<b>PERFIL DE SUELO</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>λ</b>	<b>ψ</b>
Sintéticos	<b>S1</b>	0.36	-3.50	1.43	0.18	0.87
Reales	<b>S1</b>	12.10	-5.38	4.15	0.13	2.01
Sintéticos	<b>S2</b>	0.60	-2.90	1.31	0.18	0.82
Sintéticos	<b>S3</b>	3.40	-1.03	1.54	0.22	1.03
Reales	<b>S3</b>	33.03	-1.00	3.00	0.14	1.70
Sintéticos	<b>S4</b>	2.14	-1.40	1.15	0.14	1.75

		<b>DUCTILIDAD 3</b>				
	<b>PERFIL DE SUELO</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>λ</b>	<b>ψ</b>
Sintéticos	<b>S1</b>	1.05	-2.70	1.42	0.04	0.16
Reales	<b>S1</b>	0.09	-12.50	4.10	0.04	0.41
Sintéticos	<b>S2</b>	1.05	-1.15	1.41	0.06	0.50
Sintéticos	<b>S3</b>	2.80	-0.99	1.87	0.08	0.74
Reales	<b>S3</b>	7.96	-0.94	2.11	0.03	0.90
Sintéticos	<b>S4</b>	19.75	-0.08	1.41	0.07	0.34

		<b>DUCTILIDAD 4</b>				
	<b>PERFIL DE SUELO</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>λ</b>	<b>ψ</b>
Sintéticos	<b>S1</b>	1.20	-1.50	1.66	0.03	0.25
Reales	<b>S1</b>	0.05	-12.49	6.49	0.02	0.70
Sintéticos	<b>S2</b>	7.80	1.00	1.40	0.02	0.50
Sintéticos	<b>S3</b>	1.33	-0.20	1.43	0.02	1.01
Reales	<b>S3</b>	1.00	-4.00	3.20	0.01	0.68
Sintéticos	<b>S4</b>	0.25	-0.60	1.88	0.05	2.91

## 5.12 VALORES MEDIOS Y DESVIACIÓN ESTANDAR

En la figura 5.49 se presentan los valores medios que relaciona el máximo desplazamiento inelástico con relación al máximo desplazamiento elástico para una aceleración máxima de suelo de 0.15g, suelo s1 y ductilidades de 2, 3 y 4.

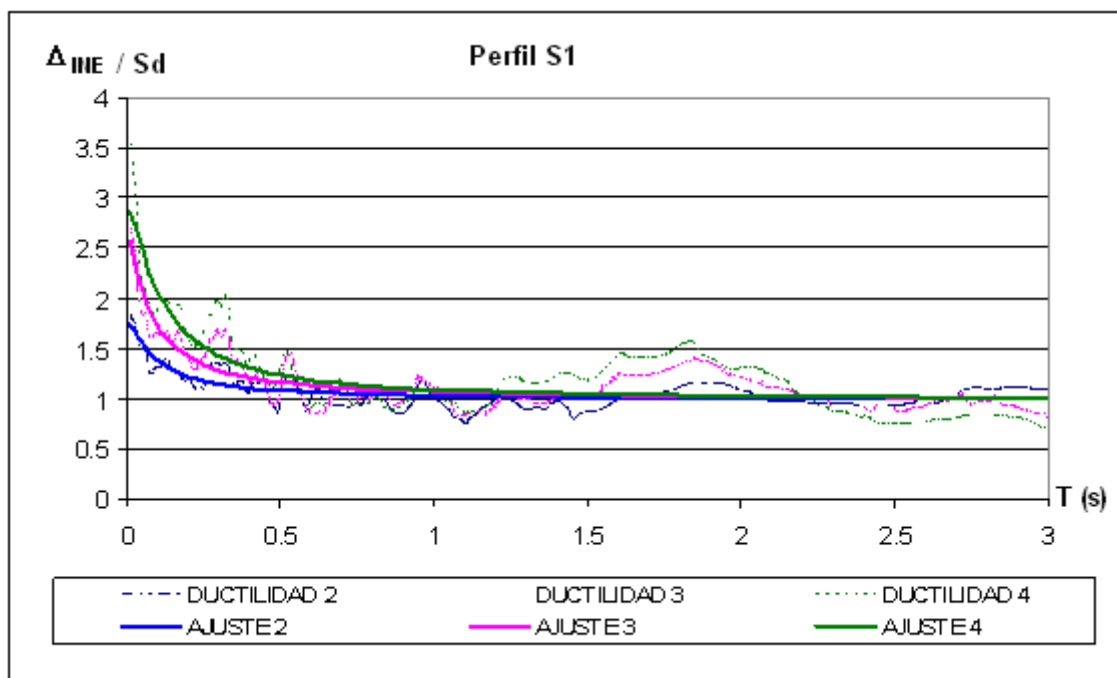


Figura 5.49 Valores medios para  $\alpha = 0$  S1, S2, S3

En la figura 5.49 se puede apreciar también que el ajuste con los datos obtenidos mediante la aplicación de la fórmula 5.3 son bastante buenos manteniendo a partir de 0.5s una tendencia a la unidad. Esta tendencia permanece casi igual para los suelos s2 y s3, no obstante podemos observar que en la figura 5.50 mostramos ara un perfil s4 donde vemos que existe un tramo donde la relación inelástico sobre elástico está bajo la unidad.

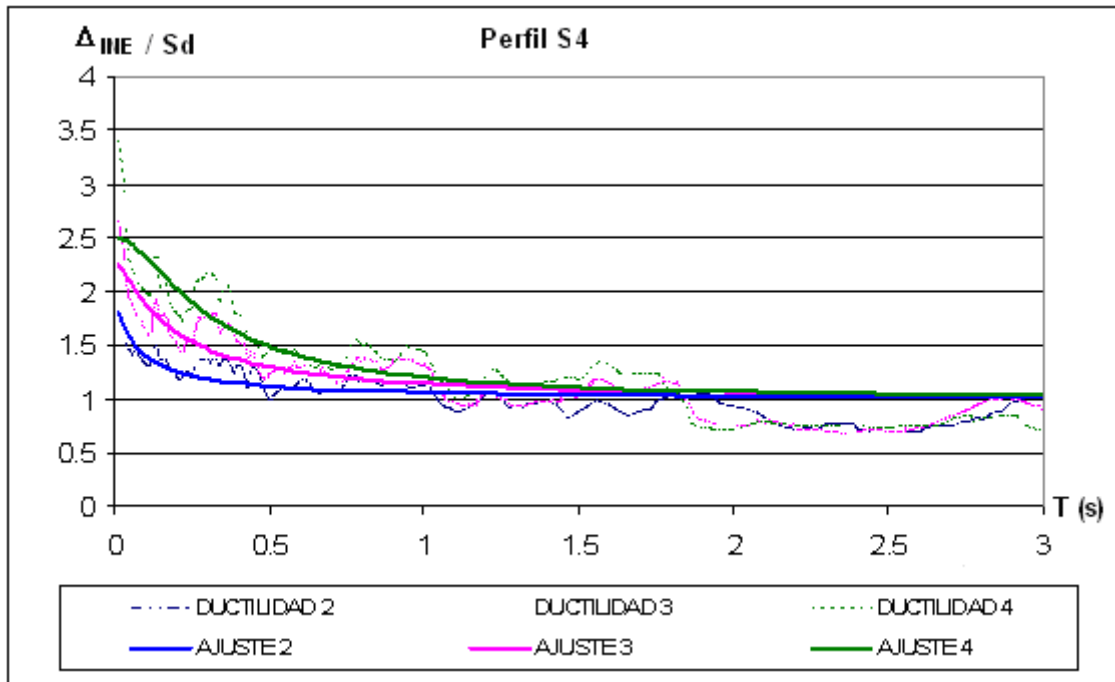


Figura 5.50 Valores medios para  $\alpha = 0$  S4

Las tendencias que se presentan, como era de esperarse, para las otras aceleraciones del suelo 0.25g, 0.30g, 0.40g son iguales.

En cuanto a la desviación estándar para ductilidad 2, 3 y 4 podemos observar en la figura 5.51 que se encuentra entre 0.1 y 0.2.

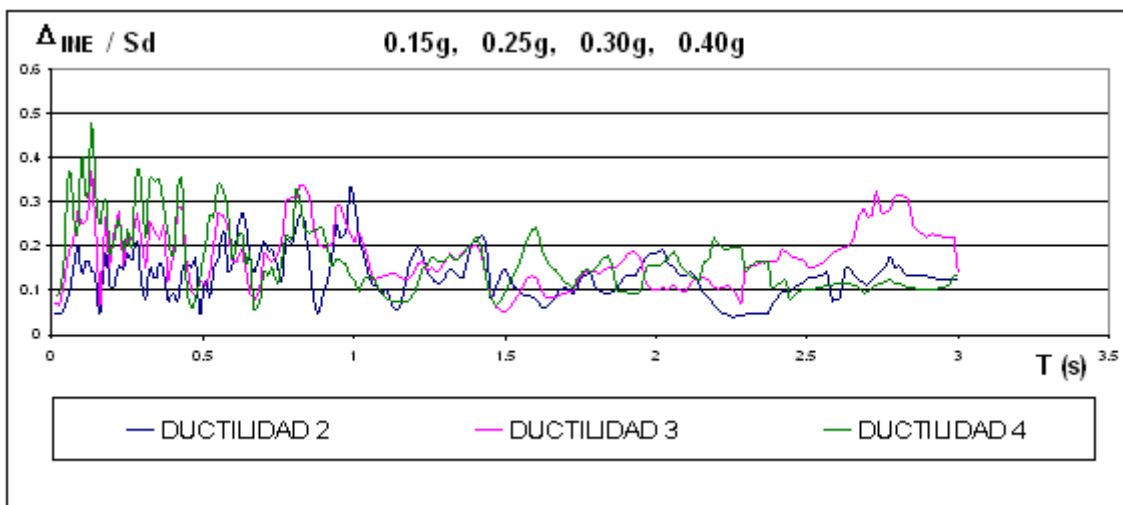


Figura 5.51 Valores de desviación estándar para  $\alpha = 0$

## **CAPITULO VI**

### **COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **RESUMEN**

Se inicia detallando el trabajo realizado y colocando conclusiones al mismo, además se coloca un ejemplo el con el cual nos podemos dar cuenta que los valores de  $R\mu$  para el Ecuador son elevados.

Se presenta también una comparación con los resultados obtenidos con otras tesis anteriores donde en la primera no se tomo en cuenta el tipo de suelo y en la segunda se uso un programa de “caja cerrada” para el ajuste de curvas, es decir que no se podía verificar que es lo que la máquina estaba haciendo.

Se concluye con observaciones generales en cuanto a la importancia de continuar con la investigación científica y un agradecimiento a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.



## 6.1 COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

El objetivo de esta tesis fue la de realizar un estudio del factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad  $R\mu$ , a partir de registros acelerográficos obtenidos mediante programas computacionales (sismos sintéticos), y registros reales proporcionados por la universidad Católica Santiago de Guayaquil (sismos reales), para diferentes tipologías de suelo s1, s2, s3, s4

Se utilizaron 112 acelerogramas sintéticos compatibles con los espectros del CEC 2000 para los cuatro tipos de suelo, y 80 acelerogramas reales con aceleraciones del suelo menores a 0.1g y enmarcados dentro de los cuatro tipos de suelo que presenta nuestro país.

A estos 192 acelerogramas se normalizaron para las diferentes aceleraciones del suelo solicitadas 0.15g, 0.25g, 0.30g, 0.40g

Luego con ayuda del programa DEGTRA, se obtuvo los espectros elásticos e inelásticos de cada acelerograma, obteniendo así la relación  $\Delta_{INE} / S_d$ , es decir el máximo desplazamiento inelástico sobre el máximo desplazamiento elástico, para finalmente mediante ajuste de curvas encontrar las que mejor se ajusten tomando en cuenta criterios actualizados y en estudio por Chopra en la Universidad de Berkeley en el 2005.

Es así que se logró obtener la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta_{INE}}{S_d} = C_\mu = \left\{ 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \right\}^{0.30103}$$

De donde

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_{\mu}}$$

Los coeficientes  $a, b, c, \lambda, \psi$  fueron indicados en la tabla 5.1.

A continuación se presenta un ejemplo del uso de la formula encontrada.

- Calcular el factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad  $R_{\mu}$ , de un edificio que tiene un período fundamental de 0.6, está ubicado en un suelo cohesivo duro y su ductilidad es de 4.

DESARROLLO:

Datos:

$$\mu = 4$$

$$T = 0.6 \text{ s.}$$

$$T_s = 0.50$$

Ahora se colocarán los valores encontrados en esta investigación:

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>λ</b>	<b>ψ</b>
0.36	-3.50	1.43	0.18	0.87

Reemplazando los datos:

$$C_{\mu} = \left\{ 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \right\}^{0.30103}$$

$$C_{\mu} = \left\{ 1 + \left[ 0,18 \left( \frac{0,36}{2^{-3,5}} \right) * \left( 0,87 \frac{0,6}{0,5} \right)^{1,43} \right]^{-1} \right\}^{0,30103}$$

$$C_{\mu} = 1,28$$

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_{\mu}}$$

$$R_{\mu} = \frac{2}{1,28}$$

$$R_{\mu} = 1,5600$$

Podemos observar que el valor que se debería usar es menor del que se plantearía normalmente, obteniendo así en el cálculo total de R mejores resultados, con lo cual este factor no se disminuiría tanto logrando estructuras mucho más seguras que las que se construyen actualmente con la aplicación del código.

Se realizaron cálculos con el resto de tipos de suelo obteniendo valores menores, para cuando el suelo es menos bueno, sacando como conclusión que si incide el tipo de suelo.

Cabe resaltar que hubo dos tesis que le antecedieron a esta, para la búsqueda de un acertado valor del factor  $R_{\mu}$ , la primera desarrollada a inicios del 2006 por Aguiar y Guerrero, quienes no consideraron el tipo de suelo, la segunda desarrollada por Aguiar y González (2006), quienes si consideraron tipo de suelo pero utilizaron pocos sismos y un programa computacional para el ajuste de curvas, con lo cual no se podía tener control sobre muchos criterios que se deben cumplir a la vez.

La tesis que se ha desarrollado presenta 192 sismos entre creados y reales, a la vez que para el ajuste de curvas plantea una alternativa en la que se tiene un total control, incluida la visualización de lo que se estaba haciendo, también se consideraron los

cuatro tipos de suelo con lo que a continuación se presenta una gráfica en la cual se muestra la diferencia de los tres estudios.

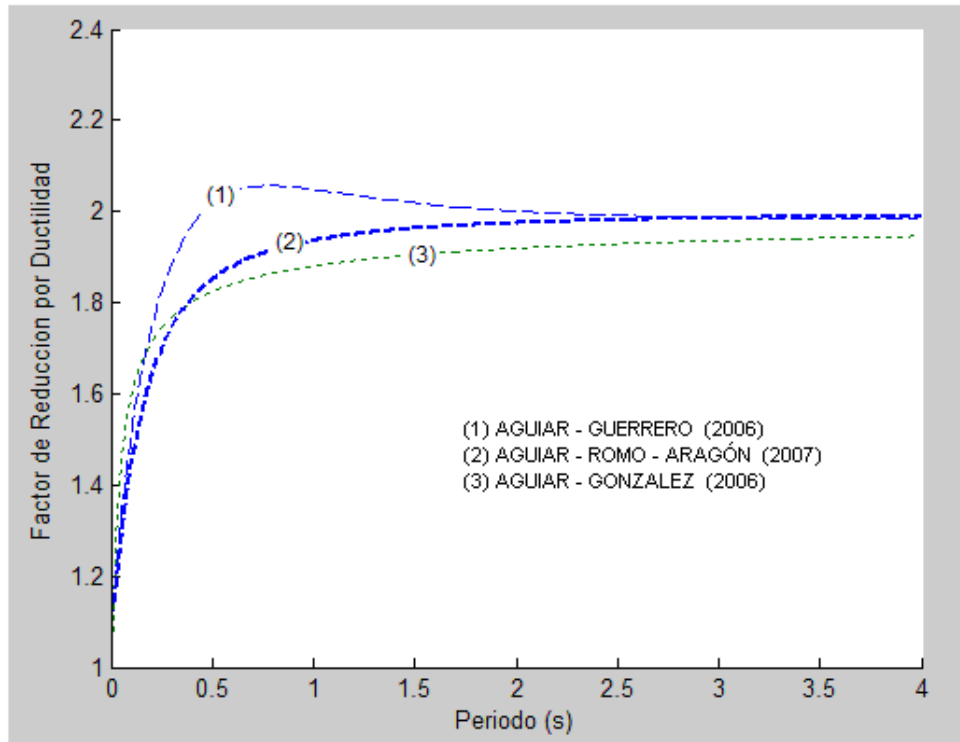


Figura 6.1 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S1

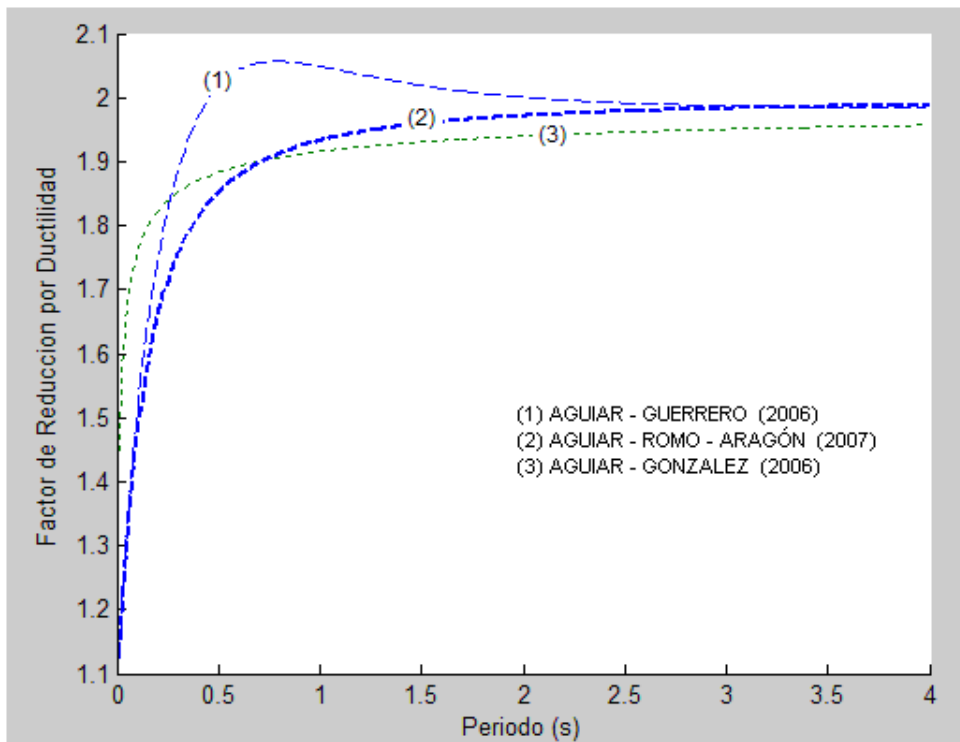


Figura 6.2 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S2

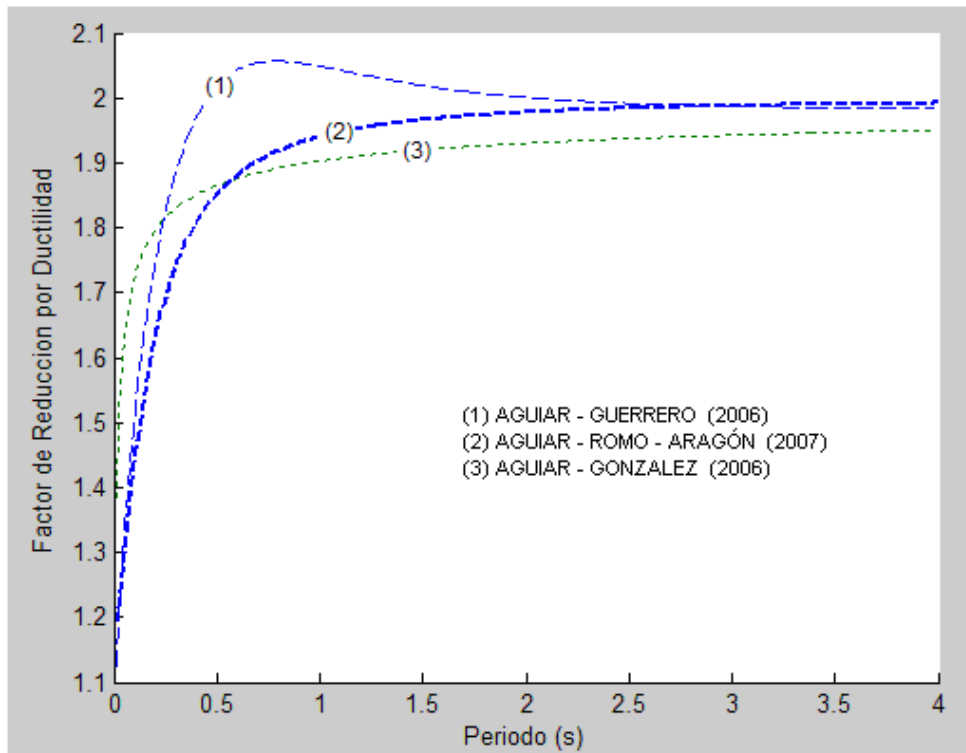


Figura 6.3 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S3

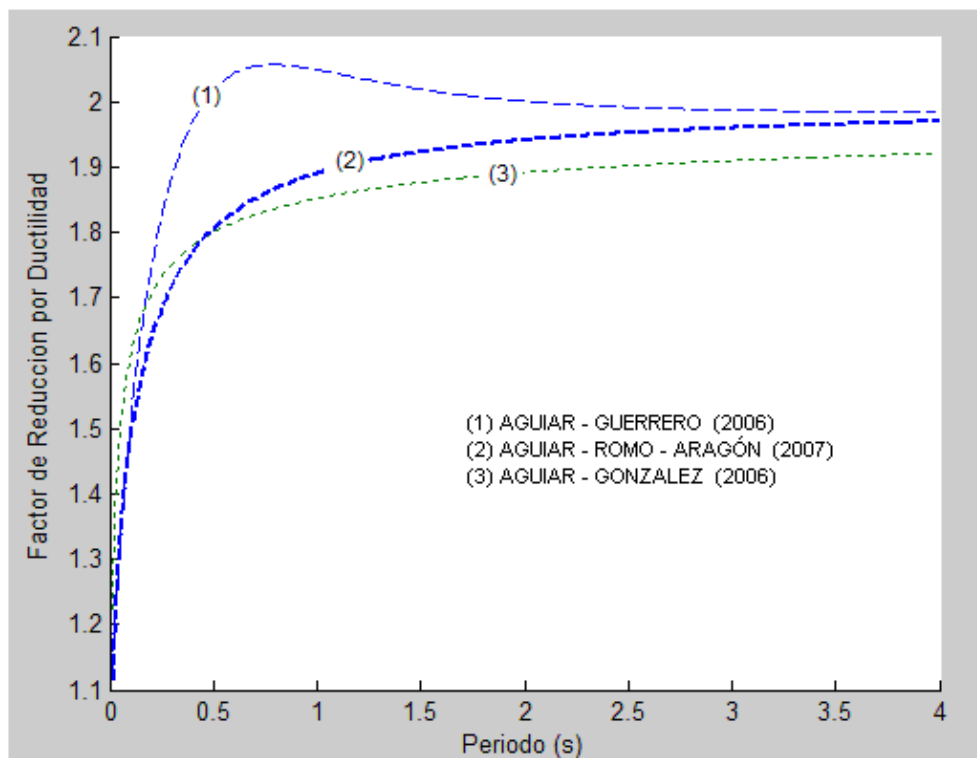


Figura 6.4 Variación  $R\mu$  para ductilidad 2 S4

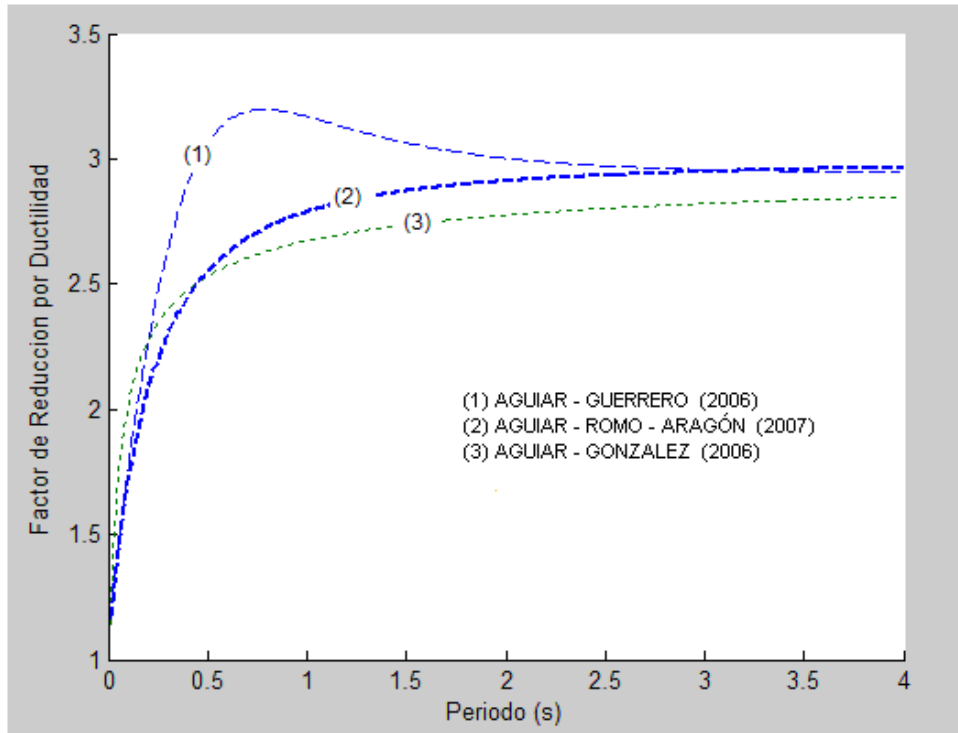


Figura 6.5 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S1

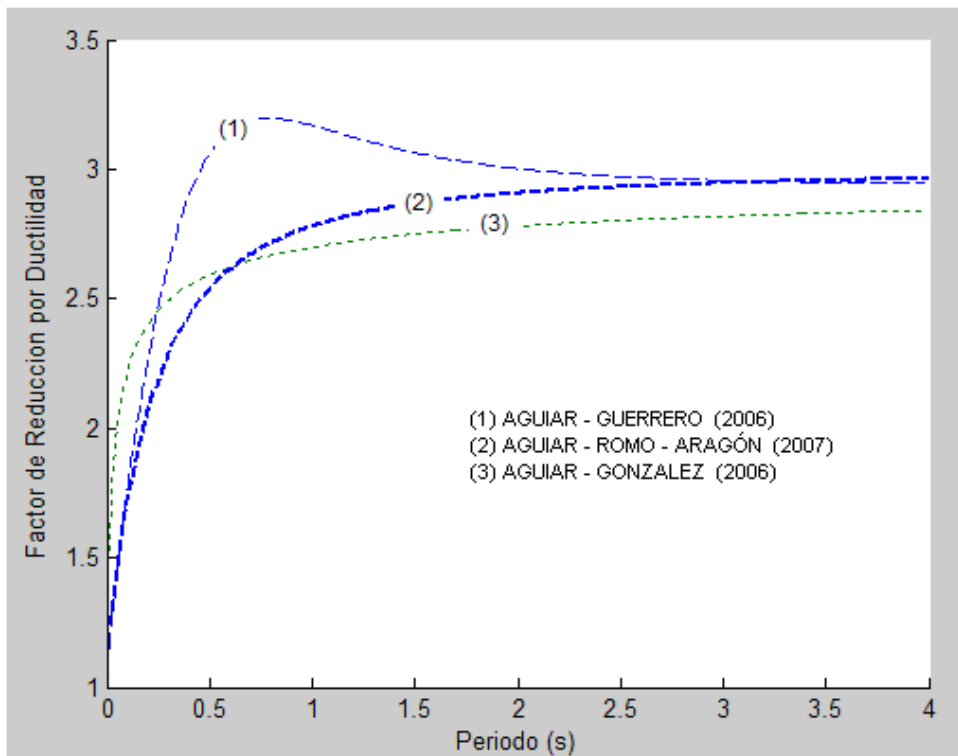


Figura 6.6 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S2

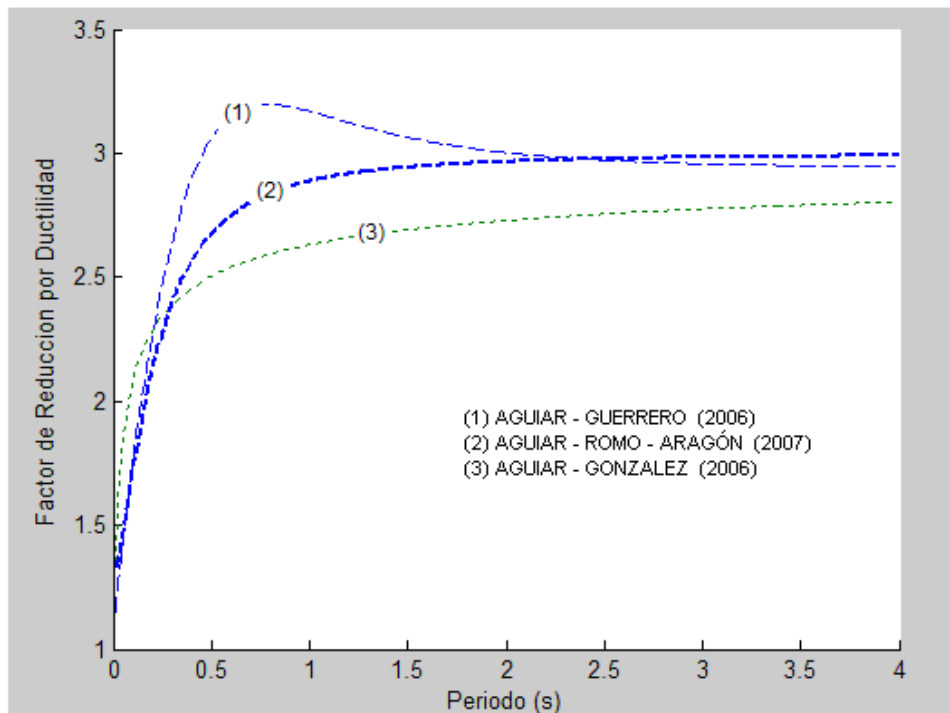


Figura 6.7 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S3

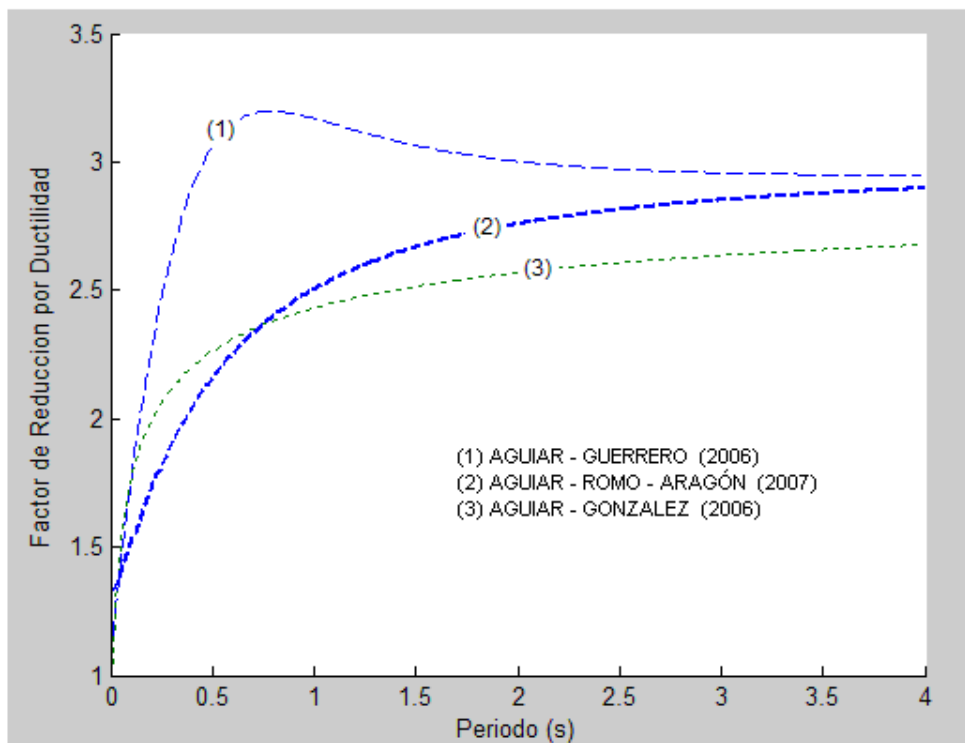


Figura 6.8 Variación  $R\mu$  para ductilidad 3 S4

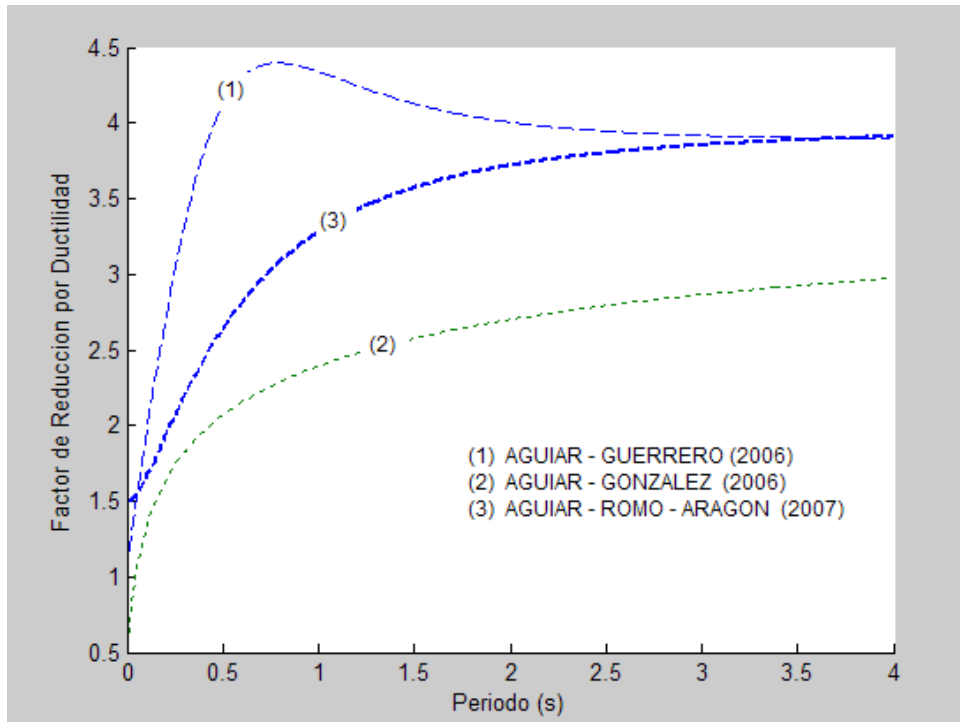


Figura 6.9 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S1

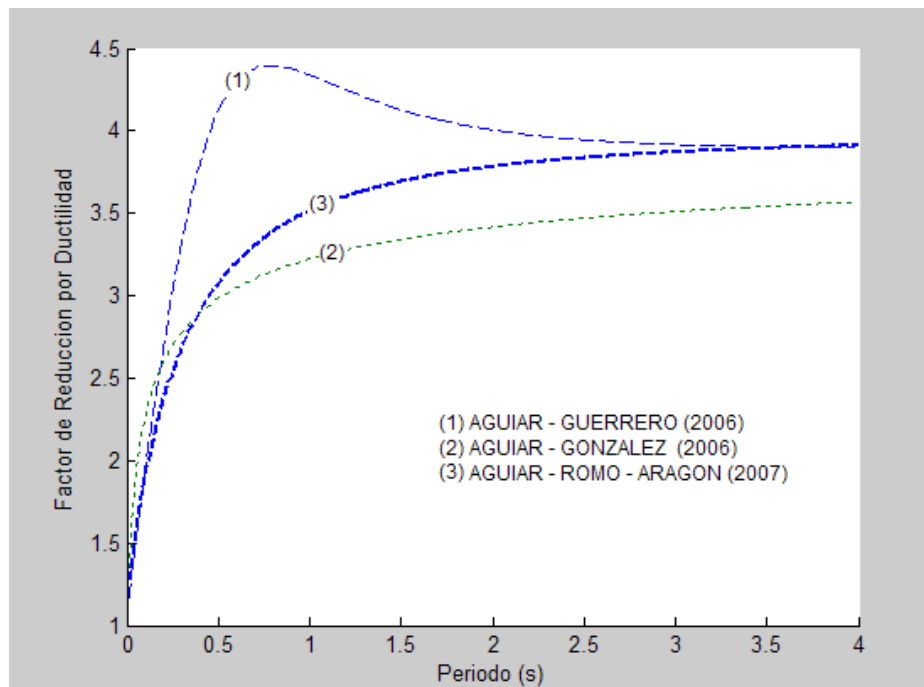


Figura 6.10 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S2



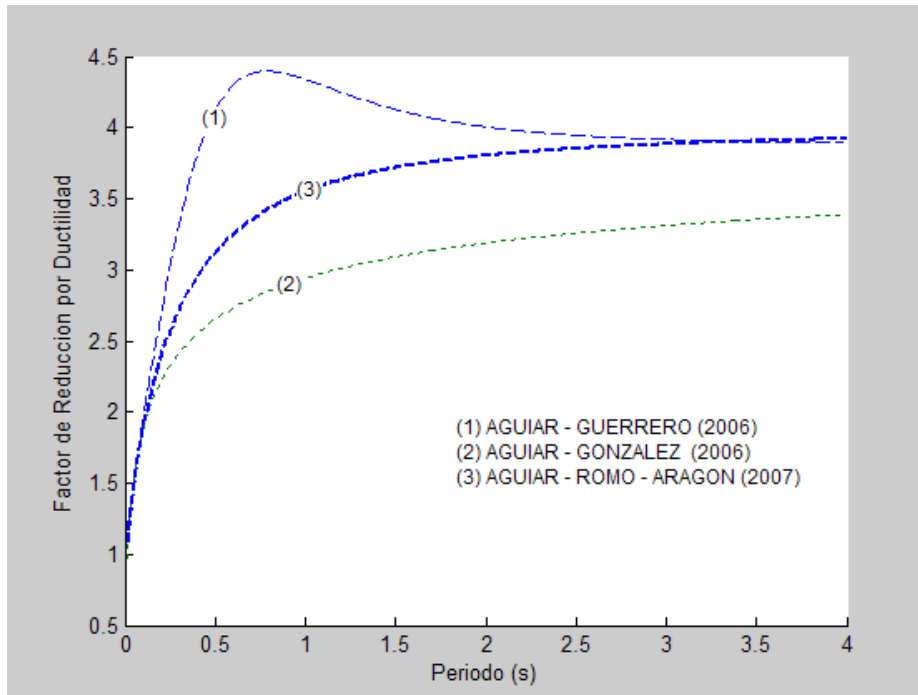


Figura 6.11 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S3

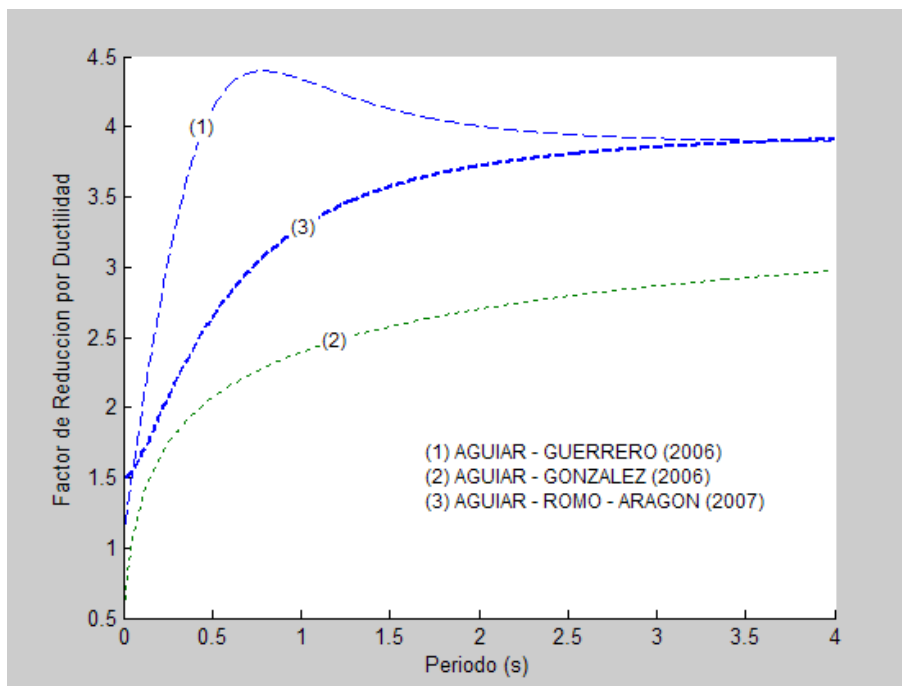


Figura 6.12 Variación  $R\mu$  para ductilidad 4 S4

Como se puede apreciar en las gráficas la curva (1) decae por lo tanto está mal eso no puede darse, la curva (3) en casi todos los gráficos inicia desde 0 y eso tampoco puede darse, sino que debe iniciar en 1, la propuesta de la curva (2) es la mejor cumple en la mayoría de gráficos con las notas propuestas.

Como conclusión se puede mencionar que esta relación es muy importante ya que no solo sirve para obtener el factor de reducción de las fuerzas sísmicas sino también para otro punto importante como es la evaluación rápida de la deriva máxima de piso, o sea para determinar la vulnerabilidad de las estructuras.

Es importante el reconocer y estar concientes de que nuestro país, por su ubicación geográfica, es uno de los más peligrosos en el campo de los movimientos telúricos, es por ello que nuestras edificaciones y construcciones en general, deberán brindar todas las seguridades posibles para evitar pérdidas materiales y humanas sobre todo; con el estudio presentado en esta tesis, estamos seguros que estamos ayudando a que factores que se presentan como simples números en el Código Ecuatoriano de la Construcción, dejen de serlo, y se los tome más seriamente por los constructores basándonos en estudios entendidos y explicados, pero sobre todo probados.

Nunca la investigación terminará, siempre existirán cosas nuevas que aprender, muchas que verificar y otras tantas que pulir.

Como recomendación principal se indicará que la información aquí obtenida no quede únicamente plasmada en unas hojas sino que se haga conocer a la gente, que se siga investigando y como dije anteriormente puliendo la información.

## RECONOCIMIENTO

La obtención de los acelerogramas reales fue muy complicado ya que inicialmente se solicito a la universidad de Cuenca, mismos que quisieron lucrar de la información, posteriormente se solicito a la universidad Politécnica Nacional, mismos que no quisieron apoyarnos con la información, entonces un agradecimiento enorme al Ing. Walter Mera profesor de la Universidad Santiago de Guayaquil, pues él ayudo con la información requerida.

## **ESTIMACIÓN DE DEMANDAS INELÁSTICAS DE DESPLAZAMIENTO EN OSCILADORES BILINEALES SUJETOS A MOVIMIENTOS SÍSMICOS EN ECUADOR**

**Roberto Aguiar, Eduardo Aragón, Marcelo Romo**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
raguiar@espe.edu.ec  
Quito-Ecuador

### **RESUMEN**

La relación entre el desplazamiento máximo inelástico con relación al desplazamiento máximo elástico en sistemas de un grado de libertad, es un parámetro que tiene gran utilidad en la evaluación rápida de la deriva máxima de piso, en el cálculo del factor de reducción de las fuerzas sísmicas con el cual se pasa del espectro elástico al inelástico y también para evaluar la respuesta dinámica en sistemas de múltiples grados de libertad.

En el presente trabajo se obtienen relaciones entre los desplazamientos máximos inelásticos con respecto a los desplazamientos máximos elásticos, considerando el tipo de suelo; en base 80 sismos registrados en el Ecuador y 112 sismos artificiales, los mismos que son compatibles con los espectros de diseño elástico del Código Ecuatoriano de la Construcción.

Previamente se presentan dos trabajos anteriores realizados en el Centro de Investigaciones Científicas de la Politécnica del Ejército sobre esta temática. En uno de ellos no se clasificaron los registros sísmicos de acuerdo al tipo de suelo y en el otro la base de datos fue pequeña.

Se detalla con bastante detenimiento la forma como se obtienen las curvas de ajuste y se comparan los resultados con los dos trabajos desarrollados anteriormente.

## ABSTRACT

The relationship between the maximum inelastic displacement and the maximum elastic displacement in single-degree of freedom systems is a very useful parameter for fast evaluation of story drift, to calculate the reduction factor for seismic forces switching from an elastic to an inelastic spectra, and to evaluate the dynamic response in multiple-degree of freedom systems.

Relationships between maximum inelastic and maximum elastic displacements are obtained in this work, taking into account different soil types. Eighty seisms registered in Ecuador and 112 artificial seisms were used, being compatible to the elastic spectra design provided by the Ecuadorean Code for Construction.

The results of two previous works on the same subject, done at the Research Center of the Polytechnic of the Army are also reported. In one of them the seisms were not classified according to the soil type, and in the other one the seism database was small.

The procedure to obtain curve fitting is thoroughly detailed, and the results obtained are compared to the two works developed previously.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen tres aplicaciones muy importantes de la relación entre el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico; la una es en la evaluación rápida de la deriva máxima de pisos en edificios de hormigón armado; otra en el cálculo del factor de reducción de las fuerzas sísmicas con el cual se pasa del espectro elástico al inelástico por comportamiento no lineal de la estructura y una tercera que no se comenta en este artículo para encontrar la respuesta no lineal en sistemas de múltiples grados de libertad, empleando espectros.

Existen algunas formulaciones para evaluar en forma rápida la deriva máxima de pisos, Gupta y Krawinkler (2000), Aguiar (2006) pero una de las primeras fue propuesta por Miranda (1997, 1999, 2001) y se la describe a continuación:

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

Donde  $\beta_1$  es el valor de paso de un sistema de un grado de libertad a un 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 entrepiso;  $S_a$  es la aceleración espectral elástica. El parámetro  $\beta_3$  es el que estamos analizando en este artículo y se define de la siguiente manera:

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

Donde  $\Delta_{INE}$  es el desplazamiento máximo inelástico y  $S_d$  es el desplazamiento máximo elástico, en un sistema de un grado de libertad.

La deriva máxima de piso es uno de los parámetros que mejor relaciona el daño que se espera en una estructura. Bertero *et al* (1991), Moehle (1992 y 1996), Rodríguez y Aristizabal (1999). La evaluación rápida de la deriva máxima de piso tiene una gran aplicación cuando se trata de definir las pólizas de seguro de viviendas.

La otra aplicación se había indicado es en la evaluación del factor de reducción de las fuerzas sísmicas  $R$  con el cual se pasa del espectro de diseño elástico al espectro de diseño inelástico. Existen varias formulaciones para este factor, una de ellas es la propuesta por Whittaker *et al* (1987, 1999) que se indica a continuación:

$$R = R_\mu R_S R_\xi \quad (3)$$

Siendo  $R_\mu$  es el factor de ductilidad,  $R_S$  es el factor de resistencia y  $R_\xi$  es el factor de amortiguamiento. La relación entre el desplazamiento máximo inelástico  $\Delta_{INE}$  con el desplazamiento máximo elástico  $S_d$ , el factor  $R_\mu$  y la ductilidad  $\mu$  viene dada por:

$$\Delta_{INE} = \frac{\mu}{R_\mu} S_d \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta_{INE}}{S_d} = \frac{\mu}{R_\mu} \quad (4)$$

De tal manera que el contar con ecuaciones para la relación  $\Delta_{INE}/S_d$  tiene su aplicación en el cálculo en forma indirecta del parámetro  $R_\mu$ . Es importante destacar que existen otras formulaciones para el factor de reducción  $R$  como la del ATC-1995 en que cambian el factor de amortiguamiento  $R_\xi$  de la ecuación (3) por el factor de redundancia  $R_R$ , quedando:

$$R = R_\mu R_S R_R \quad (5)$$

## 2. TRABAJOS REALIZADOS

En el Centro de Investigaciones Científicas de la Politécnica del Ejército se han realizado tres trabajos en los cuales se determina la relación  $\Delta_{INE} / S_d$ . El primero de ellos fue realizado por Aguiar y Guerrero (2006) trabajando con 63 acelerogramas registrados en Sur América los mismos que se indican en la tabla 1, son eventos cuya aceleración máxima del suelo es mayor a 0.1 g., siendo g la aceleración de la gravedad. En este trabajo a la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  se denominó  $\beta_3$ .

En las figuras 1 y 2 se indican las curvas de valores medios que se hallaron en el estudio para ductilidades de dos, tres y cuatro, trabajando con un modelo elasto perfectamente plástico y con un modelo bilineal en el cual la rama post fluencia tiene una pendiente  $\alpha$ . Siendo  $\alpha$  la relación entre la rigidez elástica y rigidez inelástica.

La figura 1 corresponde al modelo elasto perfectamente plástico en el cual  $\alpha = 0$  y la figura 2 para el modelo bilineal con  $\alpha = 0.05$ .

Para la determinación de las curvas que mejor se ajustan a los datos indicados se consideró la forma propuesta por Nassar y Krawinkler (1991) ecuaciones (6) y (7). Lógicamente que los coeficientes "a" y "b" de estas ecuaciones se determinaron en el estudio y son los que muestran en la tabla 2.

$$\beta_3 = \frac{\mu}{[c(\mu - 1) + 1]^{1/c}} \quad (6)$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (7)$$

**Tabla 1** Sismos considerados en el estudio realizado por Aguiar y Guerrero (2006)

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	ESTACION PARQUE DE LA RESERVA	PERU	31/05/1970	6.40	E-W	-104.8
07a	ESTACION PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	-192.5
07b	ESTACION PARQUE DE LA RESERVA	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	179.0
08a	ESTACION SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	E-W	192.3
08b	ESTACION SURCO	PERU	03/10/1974	6.20	N-S	-207.1
09a	ESTACION ZARATE	PERU	05/01/1974	6.60	E-W	-139.6
09b	ESTACION 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	ESTACIÓN DE PEREIRA(Mazda) RISARALDA(CMAZP)	COLOMBIA	19/02/1997	6.10	E-W	127.5



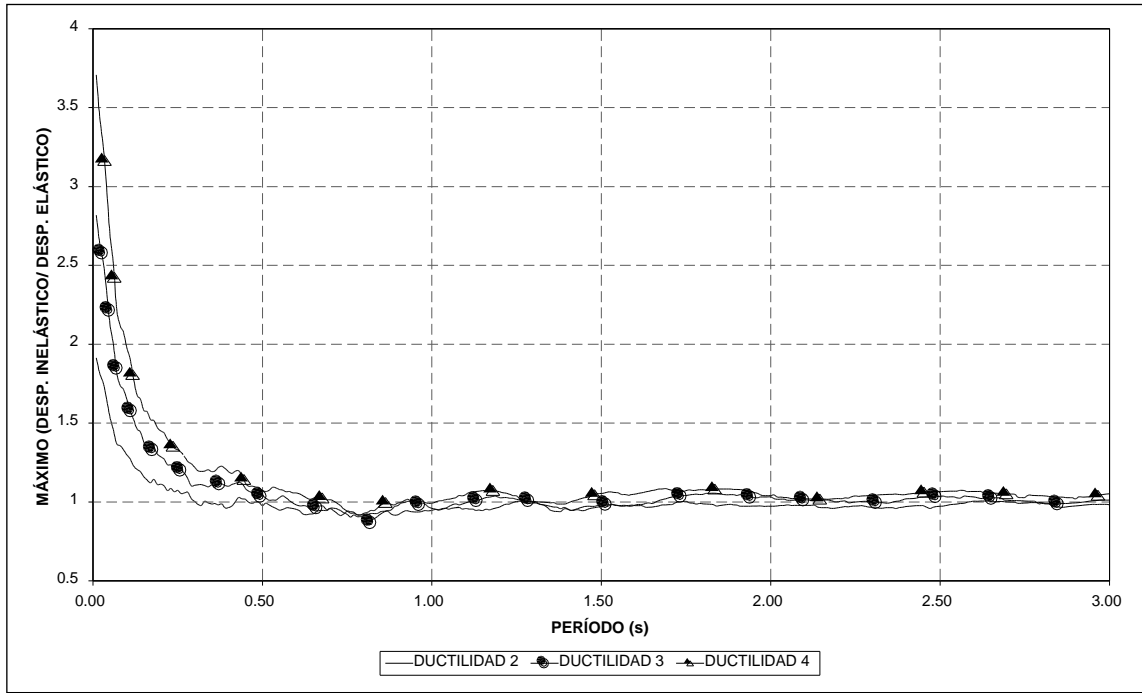


Figura 1 Valores medios de  $\beta_3$  para  $\alpha = 0$ .

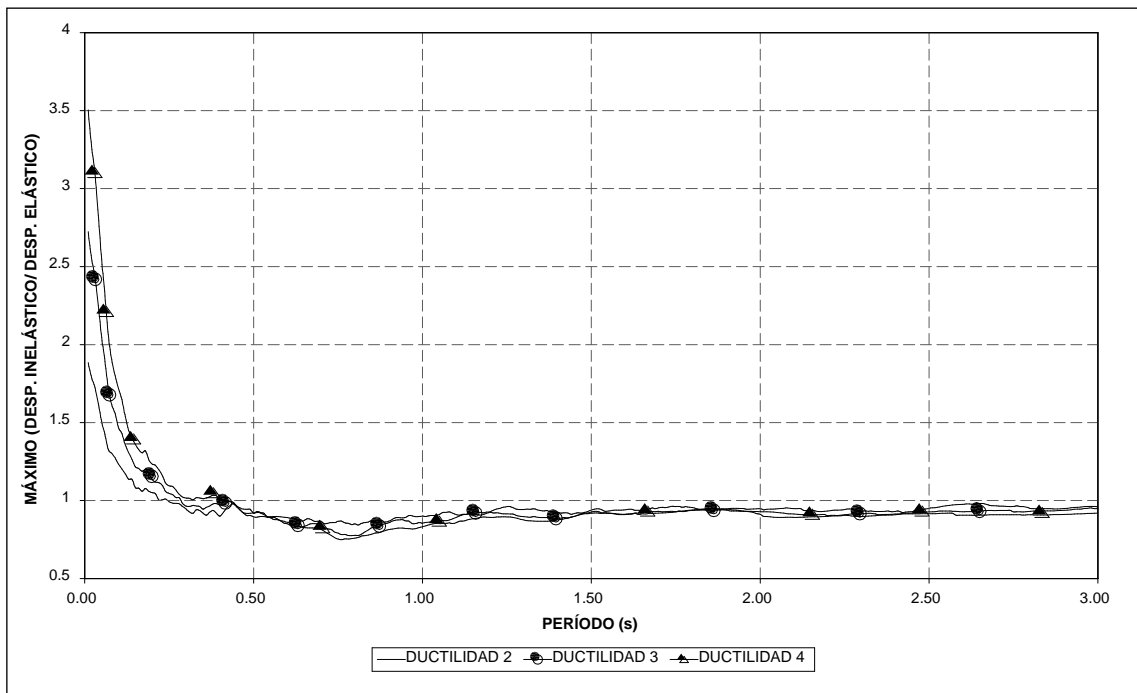


Figura 2 Valores medios de  $\beta_3$  para  $\alpha = 0.05$

**Tabla 2** Valores de “a” y “b” encontrados por Aguiar y Guerrero (2006)

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

Los valores encontrados en el estudio por Aguiar y Guerrero (2006) fueron comparados con los obtenidos por Miranda (2000) quien trabajó con 263 acelerogramas registrados en suelo firme en los Estados Unidos de Norte América, la ecuación a la que llega, luego de trabajar con un modelo elasto perfectamente plástico, es:

$$\beta_3 = \left[ 1 + \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right) \exp(-12 T \mu^{-0.8}) \right]^{-1} \quad (8)$$

También se la comparó con la ecuación propuesta por Nassar y Krawinkler (1991) los valores de “a” y “b” que ellos encontraron se indican en la tabla 3 y fueron hallados en base a 15 sismos registrados en California en suelo firme y aluvial.

**Tabla 3** Valores de “a” y “b” encontrados por Nassar y Krawinkler

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

En la figura 3 se presentan tres gráficos para ductilidades de 2, 3 y 4. En cada uno de ellos se indican los valores medios obtenidos con los sismos de la tabla 1, las curvas que se obtienen con las ecuaciones de ajuste de Aguiar y Guerrero (2006), Miranda (2000) y Nassar y Krawinkler (1991). Se aprecia que existe una muy buena aproximación a pesar de que Aguiar y Guerrero (2006) trabajaron con sismos registrados en Sur América y los otros investigadores con sismos registrados en los Estados Unidos de Norte América; de tal manera que se podría indicar que la ubicación geográfica de los sismos no influye en la relación  $\Delta_{INE} / S_d$ .

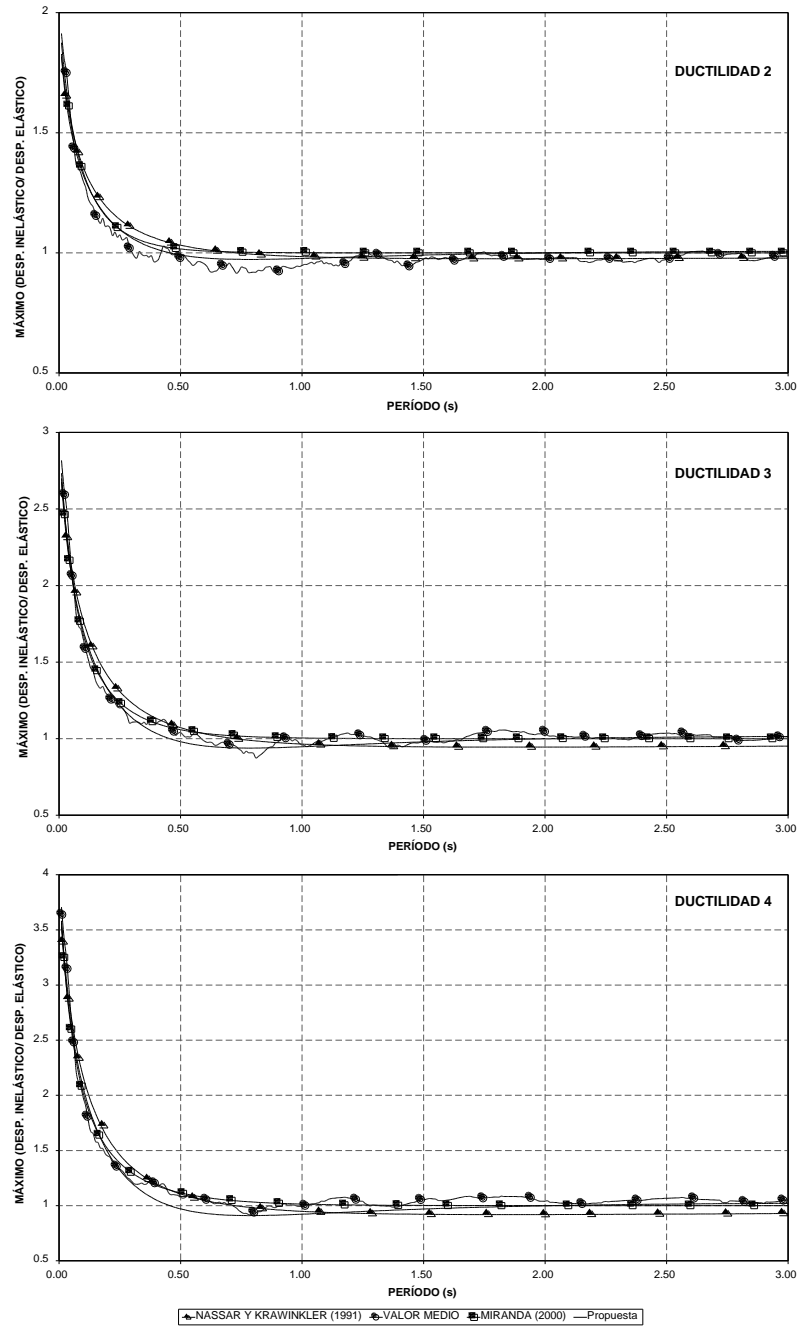
Los registros de la tabla 1 en un buen porcentaje fueron registrados en suelo firme por este motivo es que existe una buena correlación con los otros trabajos ya que fueron en suelo similar.

### 3. INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO

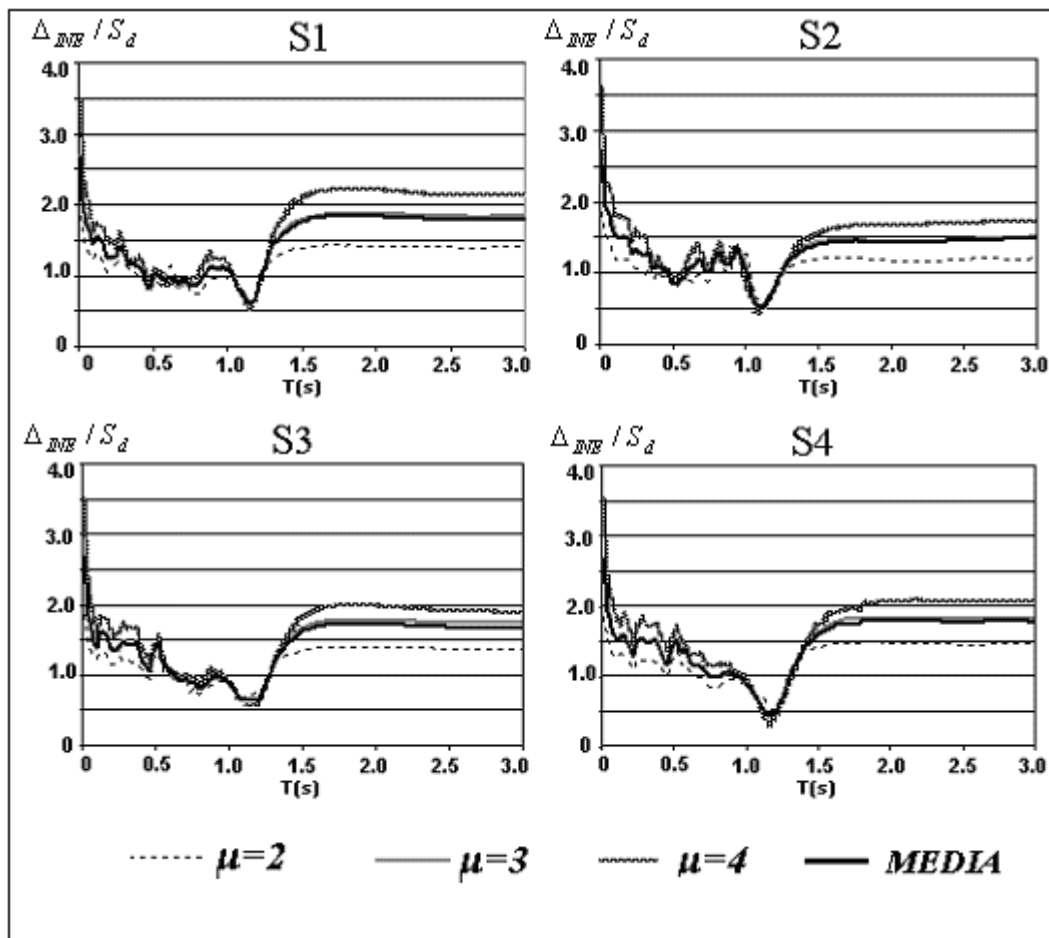
El tipo de suelo tiene influencia en la determinación del parámetro  $\beta_3$  como lo han demostrado Ordaz y Pérez (1999) , Ruiz-García y Miranda (2003) , Chopra (2005), entre otros. Lamentablemente en América del Sur no se dispone de suficientes registros sísmicos, en función del tipo de suelo.

Al no disponer de registros sísmicos se decidió como, segundo trabajo de investigación, generar registros ratificales en función del tipo de suelo y determinar la relación entre el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico.

Aguiar y González (2006) generaron 28 acelerogramas sintéticos los mismos que son compatibles con los espectros del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 para los cuatro perfiles de suelo. Se generaron registros con una aceleración máxima del suelo igual al 40% de la aceleración de la gravedad, la duración de los eventos fue variando desde 20 s., hasta 50 s.



**Figura 3** Valores medios de  $\beta_3$  y ecuaciones de Miranda, Nassar y Krawinkler, y propuesta por Aguiar y Guerrero (2006) para  $\alpha = 0$



**Figura 4** Valores medios de  $\beta_3$  encontrados por Aguiar y González (2006)

En la figura 4 se presentan los valores medios de la relación  $\Delta_{INE}/S_d$  encontrados por Aguiar y González para los cuatro perfiles de suelo del CEC-2000. En forma general se puede indicar que el perfil S1 corresponde a un suelo firme de gran resistencia a la compresión; por el contrario el perfil S4 corresponde a un suelo muy blando. El perfil S2 a un suelo de dureza intermedia y el S3 a un suelo blando.

Para cada perfil de suelo se tienen cuatro curvas para ductilidades de 2, 3 y 4, y la curva de valores medios. En base a estas curvas se halló la ecuación de ajuste la misma que está definida por:

$$\beta_3 = 1 + \left[ \left( \frac{a}{\mu^b} + c \right) \left( \frac{T}{T_s} \right)^d \right]^{-1} \tag{9}$$

Donde los coeficientes “a”, “b”, “c” y “d” fueron obtenidos del ajuste para cada tipo de suelo y están indicados en la tabla 4;  $T_s$  es el período característico del suelo

que se considero igual al valor donde empieza la rama descendente del espectro del CEC-2000, los valores están indicados en la última columna de la tabla 4.

**Tabla 4** Valores encontrados para hallar  $\beta_3$ . Aguiar y González (2006)

<b>Perfil de Suelo</b>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$T_s$
<b>S1</b>	30.00	1.34	-1.49	0.60	0.50
<b>S2</b>	71.80	2.00	-1.50	0.50	0.52
<b>S3</b>	81.04	2.00	-2.55	0.50	0.82
<b>S4</b>	86.00	2.10	-2.60	0.48	2.00

#### 4. REGISTROS SISMICOS

Para el tercer trabajo desarrollado en el CEINCI se generaron 112 acelerogramas artificiales; 28 con aceleraciones máximas del suelo igual a 0.15 g; igual cantidad de acelerogramas se obtuvieron para 0.25 g; 0.30 g., y 0.40 g. Las aceleraciones máximas del suelo corresponden a las cuatro zonas sísmicas del Ecuador.

De los 28 acelerogramas artificiales generados para cada una de las zonas sísmicas, se obtuvieron 7 acelerogramas para cada uno de los cuatro tipos de suelo estipulados en el CEC-2000.

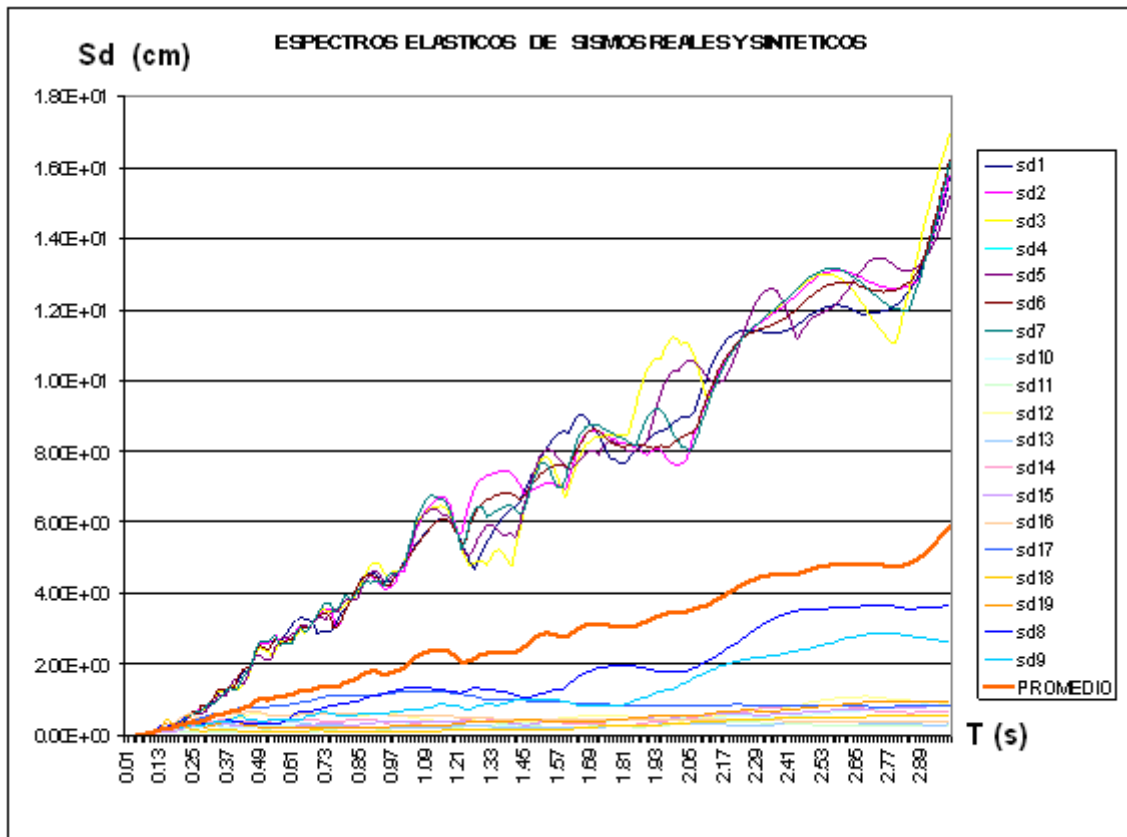
Los datos más relevantes de los sismos reales con los cuales se trabajó se indican en la tabla 5, se aprecia que son sismos de baja magnitud y con aceleraciones máximas del suelo menores a 0.1 g., por lo que se procedió a normalizar estos registros a las aceleraciones máximas de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador. Se destaca que todos registros indicados en la tabla 5 fueron obtenidos en la ciudad de Guayaquil.

**Tabla 5** Datos de los acelerogramas utilizados en el estudio.

ESTACIÓN	PERFIL DE SUELO	FECHA	COMP.	MAGNITUD	LATIT.	LONG.	PROFUNDIDAD (Km.)	ACELERACIÓN PICO (cm./s <sup>2</sup> )	DISTANCIA FOCAL (a.m.)
U. CATOLICA	S1	11/06/91	N - S E - W	5,4 mb	-3,1636	-79,3767	113,80	4,274	166,96
U. CATOLICA	S1	30/05/90	N - S E - W	4,5 mb	-2,2288	-79,9963	4,87	3,401	13,47
U. CATOLICA	S1	21/11/91	N - S E - W	4,2 mb	-2,3130	-80,1520	62,00	3,693	69,83
U. CATOLICA	S1	21/11/91	N - S E - W	4,1 mb	-1,9000	-79,7900	10,00	1,816	35,49
U. CATOLICA	S1	25/04/96	N - S E - W	5,2 mb	-9,7060	-80,1890	36,00	8,218	835,71
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	26/04/93	N - S E - W	Registrado	?	?	?	10,994	
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	06/01/95	N - S E - W	5,4 mb	-1,9005	-78,0854	180,58	4,520	271,60
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	25/01/94	N - S E - W	4,8 mb	-1,7022	-78,2391	198,64	2,723	275,63
BARRIO DEL CENTENARIO	S3	08/08/93	N - S E - W	?	?	?	?	2,939	
COL. ING. CIVILES	S1	11/06/91	N - S E - W	5,4 mb	-3,1636	-79,3767	113,80	27,699	166,96

## 5. ESPECTROS ELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTOS

Se han agrupado los registros sísmicos por aceleración máxima del suelo y por el perfil de suelo. Así por ejemplo para los registros con aceleración máxima del suelo igual a 0.15 g., y para un perfil de suelo S1, se tienen 12 acelerogramas reales y 7 acelerogramas sintéticos. Existe una diferencia marcada en la forma de los espectros de los sismos reales y de los sismos sintéticos como se aprecia en la figura 5. Los espectros de los sismos sintéticos se hallan agrupados en la parte superior y los espectros de los sismos reales en la parte inferior. Los espectros sintéticos están identificados de Sd1 a Sd7.



**Figura 5** Espectros elásticos de desplazamiento con los registros de 015 g., en suelo S1

El valor medio de los espectros de desplazamiento, tanto de los sismos reales como de los sismos artificiales se indica en la figura 5, con línea más gruesa.

## 6. ESPECTROS INELÁSTICOS DE DESPLAZAMIENTOS

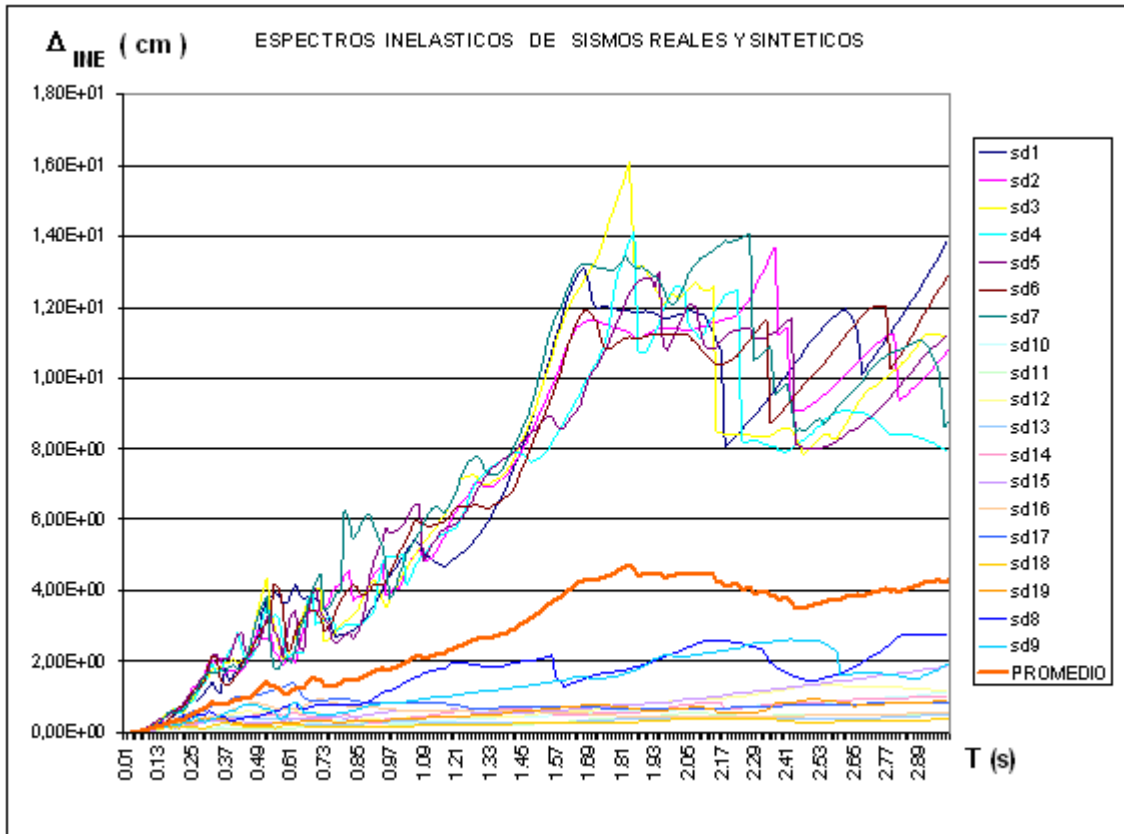
En la figura 6 se presentan los espectros inelásticos de desplazamientos, para los registros con aceleraciones máximas del suelo igual a 0.15 g., sobre un perfil de suelo S1, para una ductilidad de 4. El comportamiento es similar al de la figura 5, en el sentido de que los espectros correspondientes a los sismos reales normalizados tienen valores bajos y están agrupados. En cambio los espectros de los registros artificiales tienen valores altos y están agrupados. Con línea gruesa se indica en la figura 6 la curva de valores promedios.

Este comportamiento de que se agrupan los espectros de los registros artificiales y de los sismos normalizados, se observó en todos los grupos de datos. No es



únicamente con los registros cuya aceleración máxima del suelo es 0.15 g., sino con los de 0.25 g., 0.30 g., y 0.4 g.

Los espectros inelásticos se obtuvieron para un modelo elasto perfectamente plástico, es decir para  $\alpha = 0$ .



**Figura 6** Espectros inelásticos de desplazamiento con los registros de 015 g., en suelo S1, para ductilidad de 4.

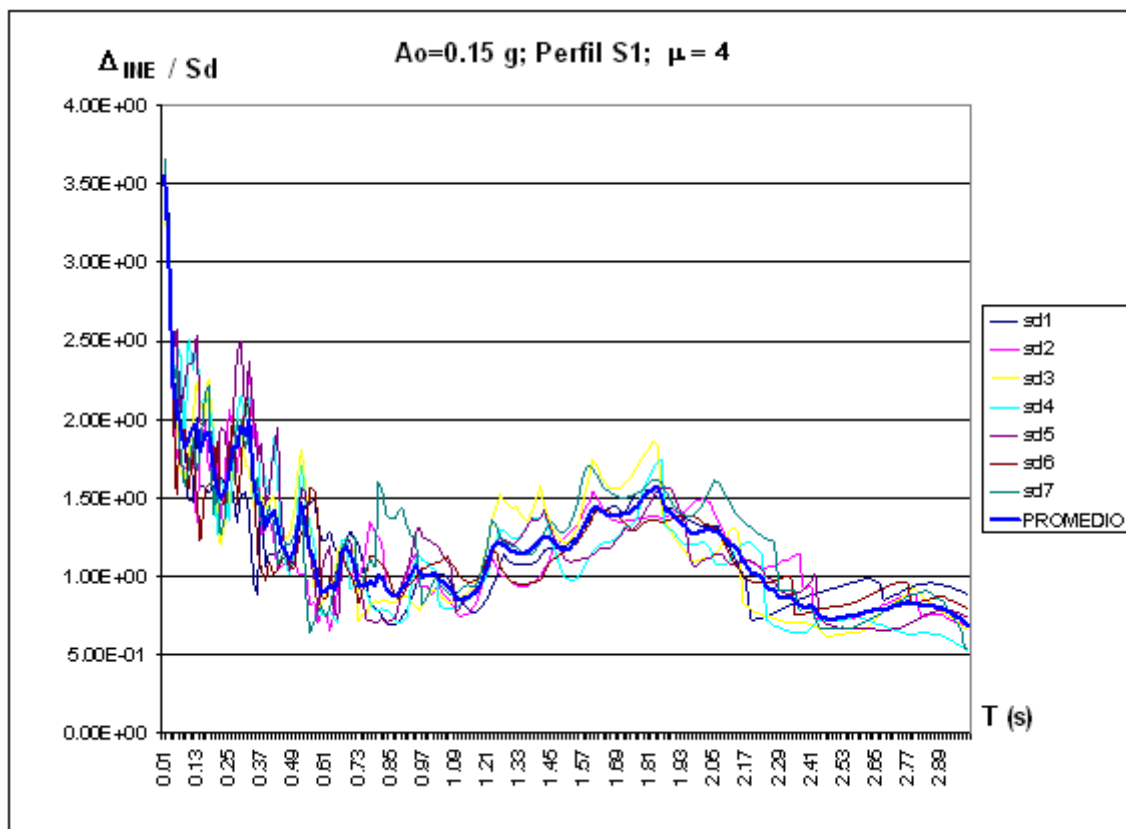
## 7. RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTOS NO LINEAL Y LINEAL

Al tener una marcada diferencia en la forma de los espectros elásticos e inelásticos de los sismos reales y de los sismos sintéticos. Es conveniente no agrupar los datos y trabajar por separado la relación  $\Delta_{INE} / S_d$ .

Con los espectros de respuesta elástica y con los espectros de respuesta inelásticos para ductilidades de 2, 3 y 4. Se procedió a encontrar la relación entre el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico

$\Delta_{INE} / S_d$ , para cada una de las aceleraciones máximas del suelo y para cada una de las ductilidades. Así por ejemplo en la figura 7 se presenta esta relación para los registros cuya aceleración máxima del suelo es 0.15 g., en un perfil de suelo S1 y para ductilidad de 4 pero con los registros de los sismos artificiales. Con línea más gruesa se ha indicado la curva de valores medios, en la cual se aprecia que aproximadamente para valores menores a 0.6 s., la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  tiene valores mayores a la unidad y que para cuando el período tiende a cero está relación tiende a la ductilidad. La curva de valores medios con la que se trabaja es aquella en la cual la probabilidad de excedencia de los datos es del 50%.

En la figura 8 se presenta la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para ductilidades de 2, 3 y 4. Para cada uno de los cuatro perfiles de suelo del CEC-2000, obtenidas con registros artificiales cuya aceleración máxima del suelo en roca es 0.15 g.



**Figura 7** Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para registros con aceleración máxima del suelo 0.15 g., en perfil de suelo S1 y para una ductilidad de 4. Obtenido con sismos artificiales.

## 8. AJUSTE DE CURVAS

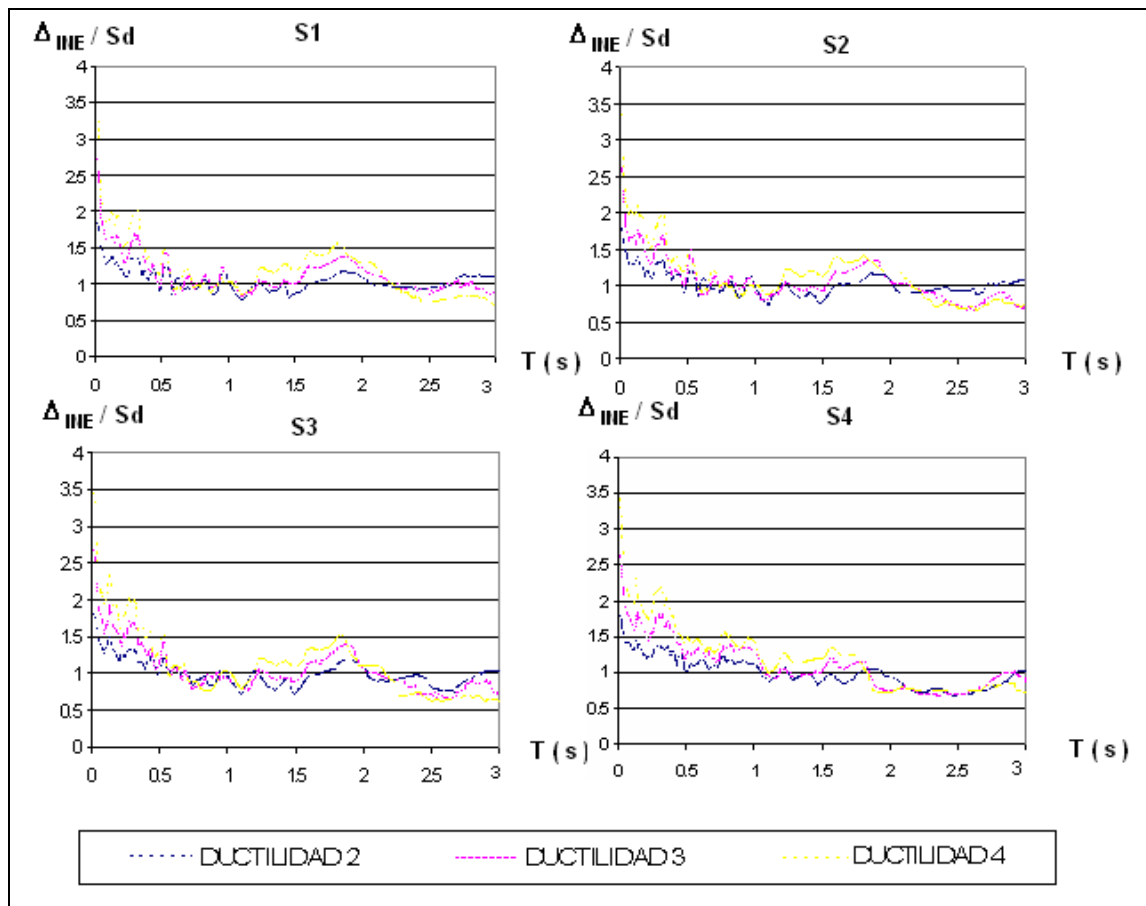
Se detalla la forma como se obtuvo la curva de ajuste en base a los resultados encontrados para un perfil de suelo S1, para una ductilidad de 4 y para una aceleración máxima del suelo de 0.15 g. Se destaca que se siguen los lineamientos generales propuestos por Chopra (2005).

La figura 7 se presenta nuevamente en la figura 9 pero en el eje de las X, se coloca el logaritmo en base 10 de la relación del período  $T$  con respecto al período característico del suelo  $T_s$ , y en el eje de las Y, se coloca el logaritmo en base 2 de la relación  $\Delta_{INE} / S_d$ . Para el perfil de suelo S1 se consideró  $T_s = 0.5$  s.

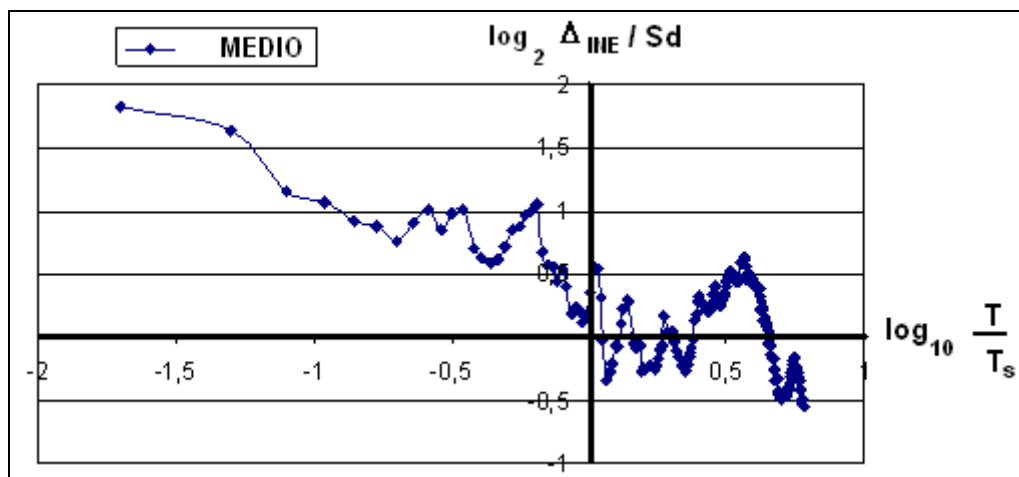
En la figura 9 con línea un poco más gruesa se han dibujado los ejes de coordenadas. Se desea ahora encontrar una curva que mejor se ajuste a los puntos indicados para lo cual como punto de partida se considera que esta tiene la siguiente forma:

$$C_\mu = \frac{\Delta_{INE}}{S_d} = \frac{\mu}{R_\mu} = 1 + \left[ \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \quad (10)$$

En lugar de denominarle  $\beta_3$  se lo ha llamado  $C_\mu$ . Con esta acotación se describe la ecuación (10). Las dos primeras igualdades ya fueron indicadas restando manifestar que los coeficientes “a”, “b” y “c” se deben determinar del ajuste. Para los datos del suelo S1 y  $\mu=4$  que se está analizando los coeficientes son:  $a=1.30$ ;  $b=-1.50$ ;  $c=1.76$ . Con estos valores en la figura 10 se indica la curva de valores medios y la curva que se obtiene del ajuste con la forma de la ecuación (10).



**Figura 8** Relación  $\Delta_{INE} / S_d$  encontrada en perfiles de suelo S1 a S4.

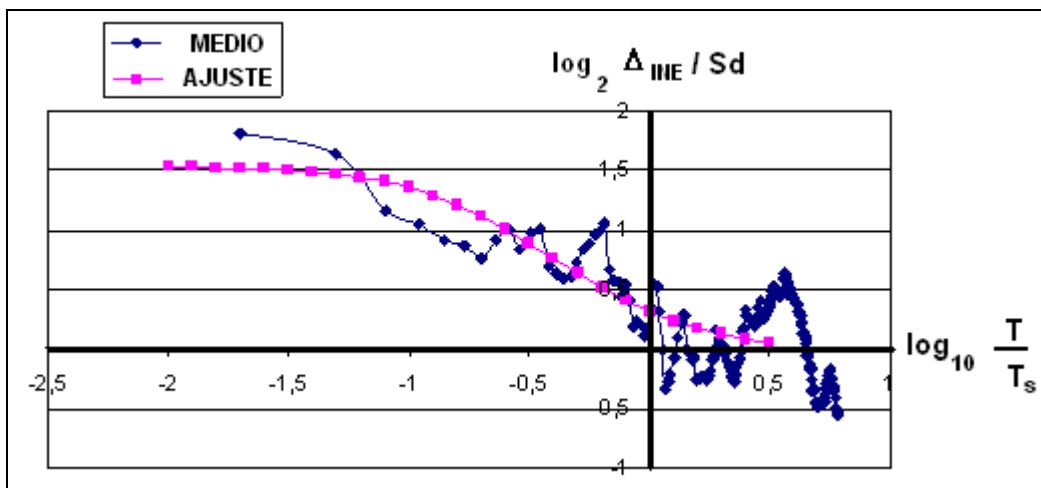


**Figura 9** Relación logarítmica de la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  en función de  $T/T_s$ . Acelerogramas sintéticos.

Se observa en la figura 10 que la curva obtenida con la ecuación ( 10 ) tiene un desfase hacia la izquierda con relación a la curva de valores medios. Para corregir este problema se complementa la ecuación de ajuste, quedando de la siguiente forma:

$$C_{\mu} = 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \tag{11}$$

Donde  $\lambda$  es un factor de traslación de coordenadas y  $\psi$  es un factor de escala horizontal. En la figura 10 se aprecia que la rama horizontal inicial es más grande que la rama horizontal de los valores medios para que estas dos rectas sean aproximadamente iguales se ha introducido el factor  $\psi$ .



**Figura 10** Valores medios y curva preliminar ajustada. Acelerogramas sintéticos.

Para un perfil de suelo S1 y para una ductilidad de 4. Los coeficientes y factores que se obtienen del ajuste son los siguientes:

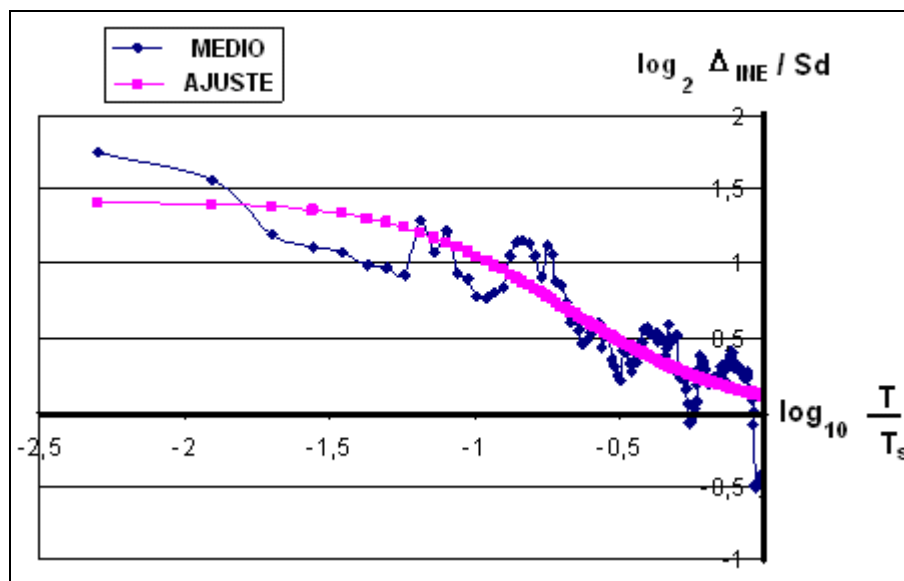
$$a = 1.30; \quad b = -1.50; \quad c = 1.76; \quad \lambda = 0.03; \quad \psi = 0.25$$

En la figura 11 se muestra la curva de valores medios y la curva de ajuste obtenida con la ecuación ( 11 ) para valores en los cuales la relación  $\Delta_{III E} / S_d$  es mayor a la unidad, se aprecia que con la inclusión de los factores  $\lambda$  y  $\psi$  se tiene un muy buen ajuste. Para el lado derecho la tendencia del ajuste es hacia la unidad.

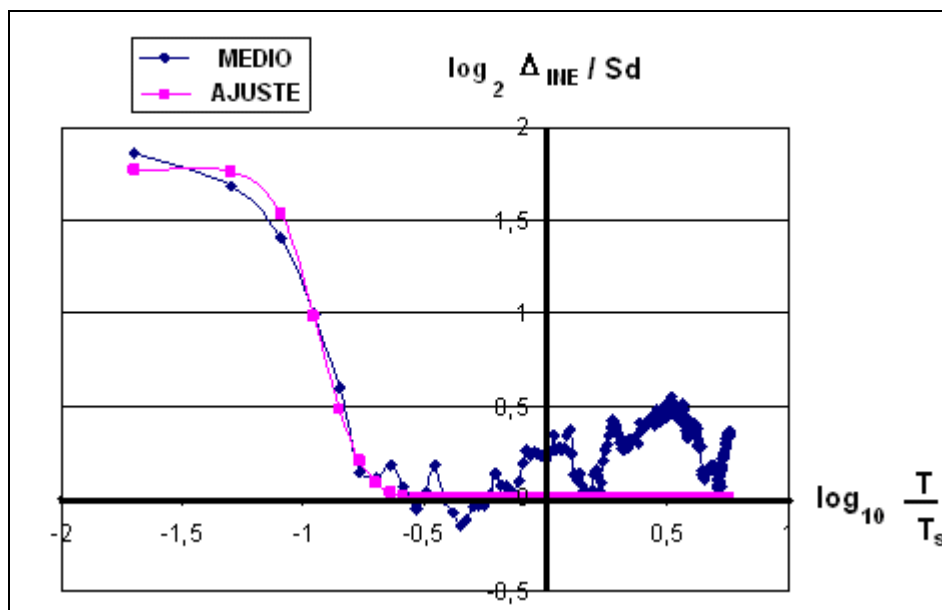
Al trabajar con los acelerogramas reales normalizados a 0.15 g., que son las curvas que se vienen presentando se obtiene un mejor ajuste como se observa en la figura 12. Los coeficientes para este caso, son:

$$a = 0.05; \quad b = -12.50; \quad c = 6.49; \quad \lambda = 0.02; \quad \psi = 0.70$$

Se observó en el estudio que la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  es la misma para el grupo de datos correspondientes a los sismos normalizados a 0.15 g.; 0.25 g.; 0.30 g.; y 0.40 g. Esto talvez se deba a que se trabajan con registros artificiales y con registros de sismos reales muy bajos que han sido normalizados. Como las relaciones son las mismas para las diferentes aceleraciones máximas del suelo, en lo posterior no se hace referencia a la aceleración máxima del suelo en roca.



**Figura 11** Valores medios y curva ajustada. Acelerogramas sintéticos.



**Figura 12** Valores medios y curva ajustada. Acelerogramas reales.

## 9. RESULTADOS

Se ha explicado con detalle la forma como se obtuvo la ecuación de ajuste para el grupo de datos correspondiente a un perfil de suelo S1 y para una ductilidad de 4. En forma similar se procedió con los restantes perfiles de suelo y ductilidades.

El ajuste con la ecuación ( 11 ) es valida siempre y cuando se tenga en el eje de las X, logaritmo de base 10 de la relación  $T/T_s$  y en el eje de las Y logaritmo en base 2 de la relación  $\Delta_{INE}/S_d$ . Cuando se trabaja con ejes normales, que no sean logarítmicos la ecuación ( 11 ) se convierte en:

$$C_{\mu} = \left\{ 1 + \left[ \lambda \left( \frac{a}{\mu^b} \right) * \left( \psi \frac{T}{T_s} \right)^c \right]^{-1} \right\}^{0.30103} \quad ( 12 )$$

Con esta aclaración los resultados obtenidos se resumen en la tabla 6. Únicamente para los sismos sintéticos.

**Tabla 6** Valores obtenidos en el estudio para diferentes tipos de suelo y ductilidades.

<b>Ductilidad 2</b>					
<b>Perfil de Suelo</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>C</b>	$\lambda$	$\psi$
<b>S1</b>	0.35	-3.50	1.40	0.17	0.87
<b>S2</b>	0.60	-2.90	1.31	0.17	0.82
<b>S3</b>	3.40	-1.00	1.50	0.21	1.00
<b>S4</b>	2.10	-1.40	1.00	0.12	1.70
<b>Ductilidad 3</b>					
<b>S1</b>	1.00	-2.70	1.40	0.04	0.15
<b>S2</b>	1.00	-1.20	1.40	0.05	0.49
<b>S3</b>	3.00	-1.00	1.80	0.07	0.73
<b>S4</b>	15.00	-0.08	1.40	0.07	0.30
<b>Ductilidad 4</b>					
<b>S1</b>	1.30	-1.50	1.76	0.03	0.25
<b>S2</b>	7.80	1.00	1.40	0.02	0.50
<b>S3</b>	1.30	-0.20	1.41	0.01	0.93
<b>S4</b>	0.23	-0.60	1.80	0.04	2.91

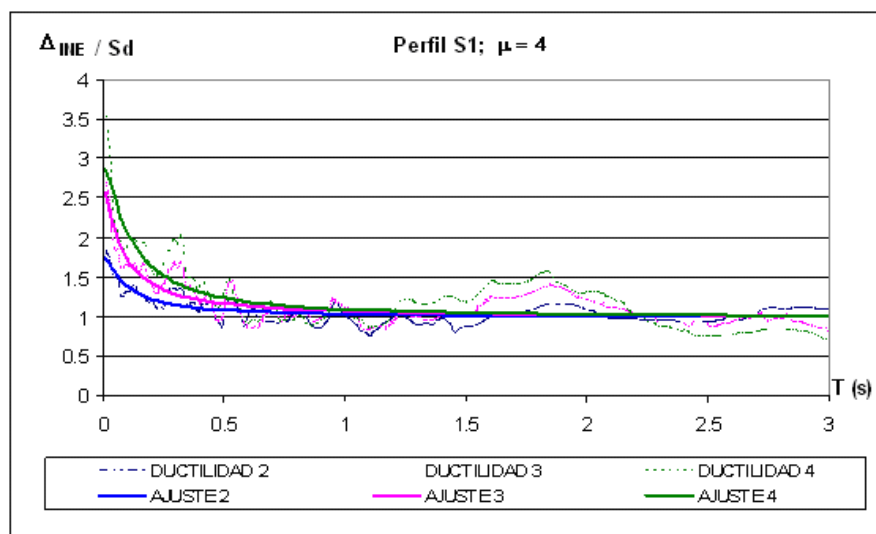
En la figura 13 se presentan los valores medios encontrados en el estudio, que corresponde a la figura 8 y las curvas de ajuste que se hallan con la ecuación ( 12 ) y los

datos de la tabla 6, para un perfil de suelo S1. Se aprecia que existe una buena correlación especialmente para períodos menores a 1.5 s. Entre 1.5 s., y 2.0 s., el ajuste no es tan bueno pero el criterio del ajuste es que las curvas tiendan a la unidad lo que implica el cumplimiento de la regla de igual desplazamiento. El comportamiento de los suelos S2 y S3, es similar a la del suelo S1.

La figura 14 es similar a la figura 13 pero con los datos correspondientes al perfil de suelo S4. En este caso, para valores de período comprendidos entre 2.0 y 2.7 s. se tiene que la relación  $\Delta_{NE} / S_d$  es menor que la unidad, para los restantes valores el ajuste es bastante satisfactorio.

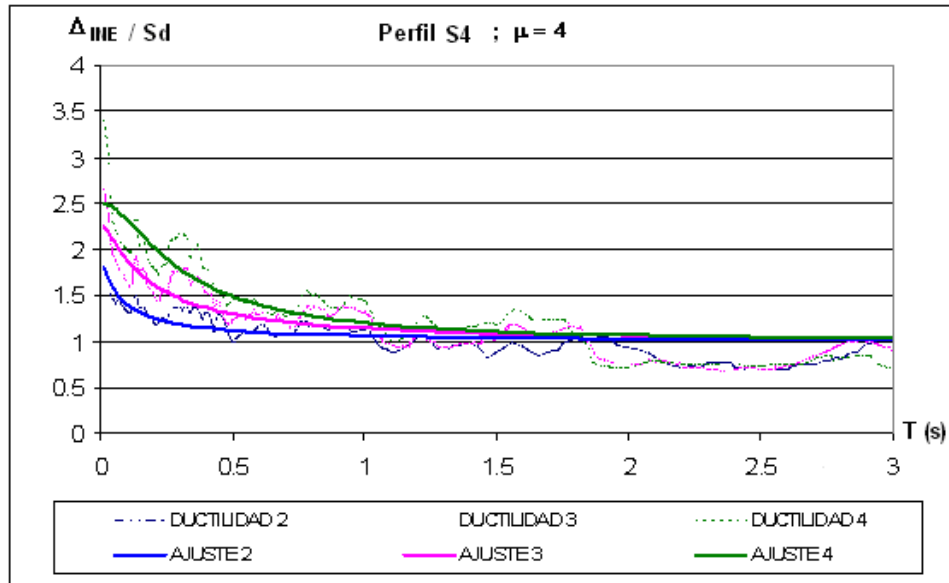
## 10. COMPARACIÓN DE CURVAS DE AJUSTE

Interesa comparar las curvas que se hallan con las ecuaciones propuestas por Aguiar y Guerrero; Aguiar y González y las encontradas en este estudio para los diferentes perfiles de suelo. En la figura 15 se presenta esta comparación para un suelo S2 y ductilidad 4. Se aprecia que los valores obtenidos con la ecuación de Aguiar y Guerrero reporta valores muy bajos. Los valores que se hallan con las ecuaciones de Aguiar y González son bastante parecidos a las encontradas en el presente estudio pero ahora la curva decae en forma más uniforme en la zona de períodos cortos.



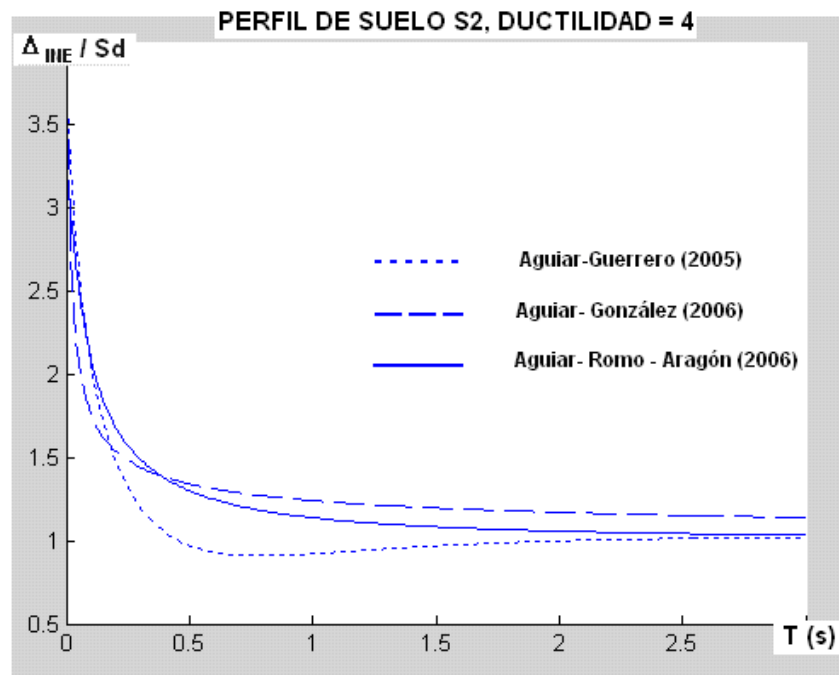
**Figura 13** Comparación de valores medios y curva de ajuste en suelo S1.



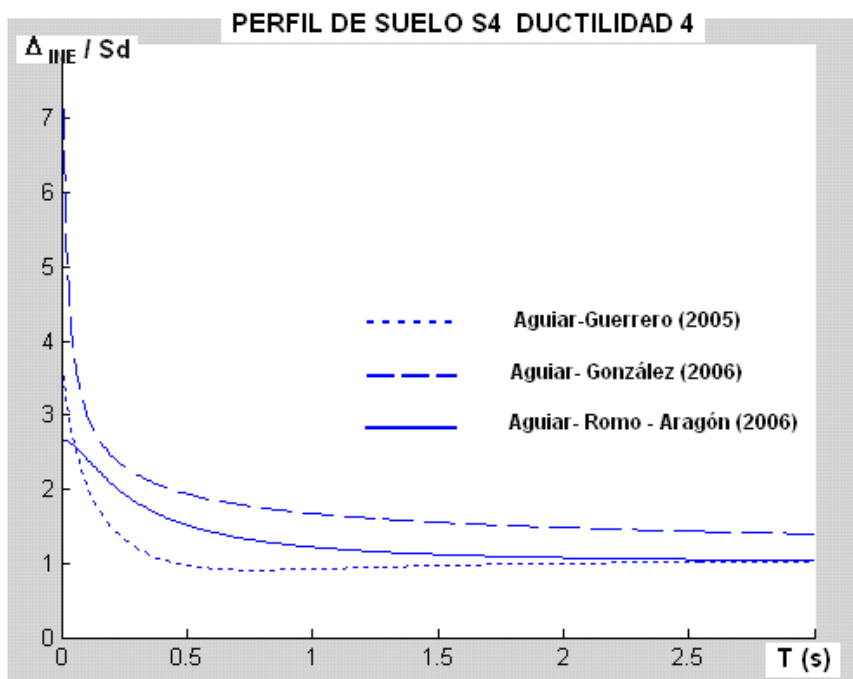


**Figura 14** Comparación de valores medios y curva de ajuste en suelo S4.

Para un perfil de suelo S4 y ductilidad 4 los valores que se obtienen con la propuesta de Aguiar y González son bastante altos para períodos cortos, como se aprecia en la figura 16 y no cumple con la Dinámica de Estructuras que establece que para cuando el período tiende a cero la relación  $\Delta_{III E} / S_d$  debe ser igual a la ductilidad. En este sentido se aproxima mejor la ecuación encontrada en el estudio.



**Figura 15** Comparación de curvas de ajuste para perfil S2 y Ductilidad 4.

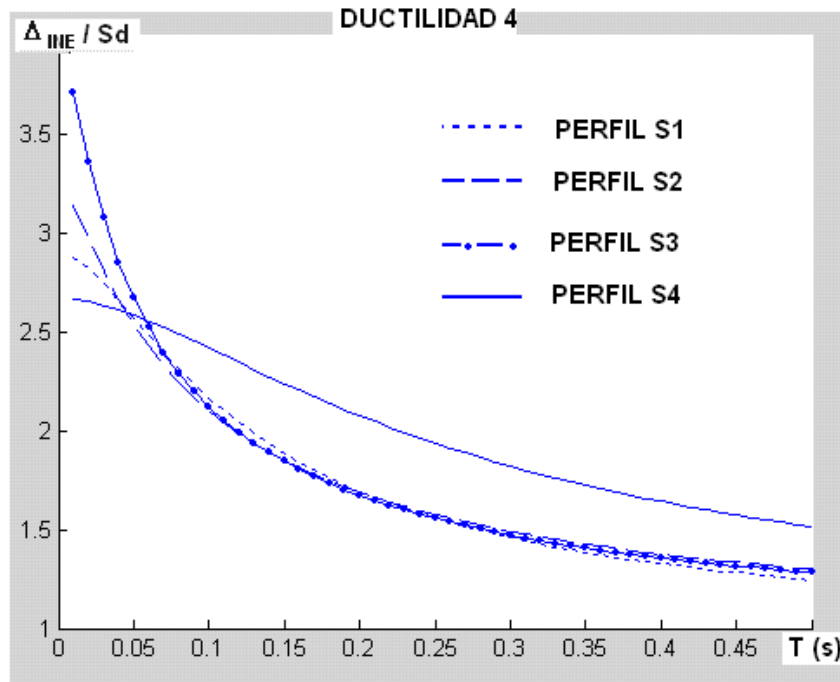


**Figura 16** Comparación de curvas de ajuste para perfil S4 y Ductilidad 4

## 11. CURVAS DE AJUSTE EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SUELO.

En la figura 17 se comparan las curvas que se obtienen para los cuatro tipos de suelo, para una ductilidad de 4, con la ecuación ( 12 ) encontrada en el estudio. Se aprecia que las curvas para los suelos S1, S2 y S3 son bastante parecidas y que la curva para un perfil de suelo S4 presenta valores más altos. Un comportamiento similar se observó para las otras ductilidades.

El tener valores más altos en un perfil de suelo S4, implica que los valores correspondientes al factor de reducción por ductilidad  $R_{\mu}$  son más bajos. Por otra parte en todos los casos los valores hallados en el presente estudio son más altos a los que se obtuvieron al no considerar el tipo de suelo, que corresponde al trabajo de Aguiar y Guerrero y menores a los que se hallan con las ecuaciones obtenidas por Aguiar y González.



**Figura 17** Variación de la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  en función del tipo de suelo.

Con el propósito de visualizar mejor los resultados, para la zona de períodos bajos, en la figura 17 se presenta la relación  $\Delta_{INE} / S_d$  para períodos menores a 0.5 s. Para períodos mayores a esta cantidad se mantiene la tendencia de las curvas y para períodos largos todas ellas tienden a la unidad.

## 12. CONCLUSIONES

Se han encontrado varias ecuaciones para determinar la relación entre el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico, en un sistema de un grado de libertad, trabajando para ello con acelerogramas sintéticos, que son compatibles con los espectros de diseño del Código Ecuatoriano de la Construcción, para los cuatro perfiles de suelo estipulados en el Código y con acelerogramas reales normalizados. Del estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- Existió una marcada diferencias en la forma de los espectros elásticos e inelásticos obtenidos con los acelerogramas sintéticos y con los acelerogramas de sismos reales, por lo que se decidió trabajar únicamente con los registros

sintéticos. Se descartó los sismos artificiales debido a que todos ellos fueron registrados en una ciudad.

- No existe una diferencia notable entre los valores obtenidos para los diferentes tipos de suelo con las ecuaciones halladas por Aguiar y González, con respecto a las encontradas en el presente estudio. Lo que si se debe reconocer es que para períodos que tienden a cero las ecuaciones halladas reportan valores que se aproximan a la ductilidad, de mejor manera a las que reportan las fórmulas de Aguiar y González.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar R., y Guerrero P., (2006), “Relación entre desplazamiento máximo: inelástico a elástico en la evaluación del drift”, *XXXII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Universidad Estatal de Campiñas, 3056-3066, Campiñas, Brasil.*
2. Aguiar R., y González A., (2006), “Influencia del suelo en el cálculo de la relación entre el desplazamiento máximo inelástico a elástico”, *II Congreso de Ingeniería Estructural y Puentes. Instituto de la Construcción y Gerencia, 10 p., Lima, Perú.*
3. Chopra A., (2005), “Estimating seismic demands for performance-based Engineering of buildings”, *IX Jornadas Nacionales de Sismología e Ingeniería Antisísmica, ACHISINA, 34 p, Concepción, Chile.*
4. Miranda E., (2001), “Estimation of inelastic deformation demands of SDOF systems”, *Journal of Structural Engineering, 127 (9), 1005-1012.*
5. U BC (1997), Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, ICBO, 3 Vol, Whittier, CA, USA
6. “Apuntes de clases de Diseño Sismorresistente de estructuras”, 8° Nivel de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Quito, 2005.
7. “Código Ecuatoriano de la Construcción”, Quito, 2000.
8. “Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente”, NSR-98
9. “normas Técnicas de Perú”, Lima 2004.

## BIOGRAFÍA

### 1. DATOS PERSONAL:

NOMBRES Y APELLIDOS:	JOFFRE EDUARDO ARAGÓN TACO
LUGAR DE NACIMIENTO:	GUARANDA
FECHA DE NACIMIENTO:	AGOSTO 26, 1978
NACIONALIDAD:	ECUATORIANA
ESTADO CIVIL:	SOLTERO
CEDULA DE IDENTIDAD:	171319365-2
DIRECCIÓN DOMICILIARIA:	San Rafael, Urb. La Armenia # 386
TELÉFONO CELULAR:	091486575
TELÉFONO DOMICILIO:	022341559
E- MAIL:	edu_9aragon@hotmail.com

### 2. ESTUDIOS:

COLEGIO PARTICULAR “LA SALLE”  
COLEGIO MILITAR “ELOY ALFARO”  
ESCUELA SUPERIOR MILITAR “ELOY ALFARO”  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO: INGENIERÍA CIVIL

### 3. CURSOS:

CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO “CAF”	VIDEOCONFERENCIA “SEMINARIO-TALLER IDENTIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS ASOCIATIVOS”
MINISTERIO DE S COMERCIO EXTERIOR	VIDEOCONFERENCIA “INICIATIVA E-BUSINESS PARA LA COMPETITIVIDAD DE LAS PYMES”
Lafayette.	SOLUCIONES DE ALTA TENACIDAD “GEOSINTÉTICOS” DICTADO POR GEOSINTÉTICOS Lafayette.

**4. PUBLICACIONES:**

VII EIPAC  
SALTA – ARGENTINA

ESTIMACIÓN DE DEMANDAS INELÁSTICAS  
DE DESPLAZAMIENTO EN OSCILADORES  
BILINEALES SUJETOS A MOVIMIENTOS  
SÍSMICOS EN ECUADOR

**5. IDIOMAS:**

ESPE FACULTAD DE IDIOMAS: Suficiencia en el idioma Inglés.

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**ELABORADO POR**

---

Tnte. Joffre Eduardo Aragón Taco

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

---

Ing. Ana Haro Báez.

**SECRETARIO ACADÉMICO**

---

Dr. Mario Lozada

Lugar y fecha: Sangolquí, Febrero de 2007.