

TRABAJO FINAL DE GRADO

**Programa de cálculo en Matlab para  
la estimación de espectros de  
respuesta sísmica**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Julio 2017

**Autora: MARTA MUÑOZ CALASANZ**

**Tutor: IGNACIO FERRER BALLESTER**

# Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

---

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	5
1 .Objetivo del proyecto .....	7
2. Introducción .....	9
2.1 Definición de la acción sísmica.....	9
2.1.1 Espectro de respuesta .....	9
2.1.2 Espectros de varianza y modelos sismológicos .....	11
2.2. Procedimiento de cálculo del espectro de respuesta. ....	12
2.3 Limitaciones del programa de cálculo de espectros de respuesta	14
3. Tipos de duración .....	15
3.1 Definición de la duración .....	15
3.2 Duración umbral .....	16
3.3 Duración de la energía Husid .....	17
3.4 Duración estacionaria equivalente.....	19
4. Cálculo de la duración .....	21
4.1 Introducción .....	21
4.2 Base de datos sísmica .....	21
4.3 Criterios de selección .....	22
4.3.1 Magnitud .....	22
4.3.2 Aceleración .....	23
4.3.3 Distancia del epicentro .....	23
4.3.4 Número de registros.....	24
4.3.5 Tratamiento previo de los archivos.....	24
4.4. Cálculo de la duración .....	27

4.4.1 Herramienta de cálculo.....	27
4.4.2 Resultados.....	34
4.4.3. Conclusiones de programa de cálculo de duraciones .....	34
5. Ajuste de la relación entre duraciones .....	35
5.1 Procedimiento de ajuste .....	35
5.2 Relación duración estacionaria equivalente- duración umbral.....	36
5.2.1. Umbral $0,05a_{max}$ .....	36
5.2.2 Umbral $0,1a_{max}$ .....	38
5.3 Relación duración estacionaria equivalente- duración de la energía de Husid.....	40
5.3.1 90% de la Energía.....	40
5.3.2 90% Energía, corregida.....	42
5.4 Conclusiones para el uso de los resultados .....	45
6. Aplicación práctica.....	47
6.1 Parámetros sísmicos .....	47
6.2 Función de intensidad .....	48
6.3 Duración estacionaria equivalente.....	48
6.4 Análisis de los espectros de respuesta. ....	49
6.4.1 Magnitud 5 .....	50
6.4.2 Magnitud 6 .....	51
6.4.3 Magnitud 7 .....	53
6.4.4 Comparativa entre magnitudes .....	54
6.5 Conclusiones .....	56
7. Presupuesto.....	57
8. Bibliografía.....	59
Anexo I.....	61

Anexo II.....	65
Anexo III.....	73
Anexo IV .....	81



## Agradecimientos

Llegar hasta este punto ha sido un camino largo, y han sido muchas las personas que lo han hecho posible, por ello, agradezco:

A Ignacio Ferrer, tutor de este proyecto por la ayuda ofrecida, por estar siempre disponible ante cualquier duda.

A mis padres y mi hermano por aguantarme en casa durante este proceso.

A mi familia, en especial a mi abuela Jose, porque sin ella no hubiese sido posible permanecer en la carrera.

A mis compañeros de la ETSID, muy especialmente a mis chicas, por convertirse en algo más que compañeras.

A todos mis amigos, que siempre han sido el empuje necesario para no rendirse a mitad de camino.



## 1 .Objetivo del proyecto

El objetivo de este trabajo final de grado es desarrollar un programa informático para la estimación de espectros de respuesta en una cierta región, a partir de modelos sismológicos. Actualmente los espectros de respuesta, que se incluyen en todas normas de construcción sísmica, suele definirse a partir de datos estadísticos que en áreas con poca actividad sísmica como es el caso de España, son escasos y poco representativos. La herramienta que se expone en este TFG, propone el uso de modelos sismológicos físicos para la determinación de espectros de respuesta.

El programa informático está basado en un procedimiento propuesto por el tutor de este proyecto. En este método que se propone, cobra especial importancia la duración del sismo, y en mayor medida, la duración estacionaria equivalente. Por ello, gran parte de este trabajo está centrado en la obtención de la relación entre la duración estacionaria equivalente y los parámetros físicos del sismo. Este aspecto es el más novedoso del TFG y del programa de cálculo desarrollado.

En el TFG se explica el procedimiento de cálculo propuesto. En segundo lugar, se presenta las diferentes definiciones de duración sísmica y se realiza un análisis estadístico para la obtención de la relación entre la duración estacionaria equivalente y los parámetros sísmicos. En último lugar, se lleva a cabo una aplicación práctica.



## 2. Introducción

A lo largo de la historia de la Sismología y la Ingeniería Sísmica, se ha buscado encontrar un equilibrio entre la construcción de estructuras económicas, y a su vez, capaces de resistir un sismo sin sufrir daño, ni provocarlos sobre las personas. Es por ello, que es muy importante avanzar en la manera de cálculo de la respuesta que tiene una estructura frente un sismo.

Por ello, este trabajo propone la explicación de un programa de cálculo para la determinación del espectro de respuesta sísmica. Para llevar a cabo la explicación del funcionamiento del programa de cálculo de espectros de respuesta sísmica tenemos que previamente, introducir algunos conceptos básicos para el buen entendimiento del desarrollo de este trabajo final de grado. Estos conceptos son : espectro de respuesta, modelos sismológicos y espectros de varianza,

### 2.1 Definición de la acción sísmica

#### 2.1.1 Espectro de respuesta

El concepto de acción sísmica es la pieza fundamental dentro del campo en el que se desarrolla este trabajo. Es un concepto complicado, debido a que para su total definición intervienen una gran cantidad de fenómenos físicos tanto en el inicio del sismo, la propagación de las ondas y en los daños que se producen en las estructuras a las que afecta. Por ello, se tiende a simplificar la definición según el objetivo que se quiera estudiar. En nuestro caso, se considera definido un sismo cuando se conocen los parámetros que sirven para evaluar el daño producido por el sismo sobre una estructura, aunque para la evaluación se necesite información de estudios sismológicos.

Además de los distintos parámetros necesarios para la definición, otro problema relevante en el análisis sísmico es la escasez de datos, ya que, se dispone de sismógrafos desde mediados del siglo XX, pero el uso de estos no ha sido generalizado hasta el último cuarto de siglo. En segundo lugar, la escasez de datos viene dada porque, excepto en zonas con alta actividad sísmica, el sismo es un evento que sucede con muy poca frecuencia. Por este

motivo, son necesarios los modelos teóricos elaborados en la Sismología para poder completar la deficiencia de datos.

De manera tradicional, dentro de la Ingeniería Sísmica, el sismo ha estado definido por la aceleración del terreno, sin tener en cuenta otros factores importantes como la duración y la frecuencia, ya que la experiencia ha demostrado que en ciertos terremotos, la principal causa de destrucción ha sido la duración y la frecuencia predominante, no la aceleración del terreno. Por esta razón, la comunidad científica acepta en gran medida que la aceleración del terreno no aporta la información suficiente para determinar el daño que un sismo puede causar.

En la actualidad, se está extendiendo el uso de acelerogramas por diversas razones: la primera de ellas es que se dispone de una mayor capacidad de cálculo por el gran avance de la informática, la segunda es que se pueden desarrollar acelerogramas sintéticos, lo que facilitaría el análisis estructural en el tiempo; y en último lugar, el uso de dispositivos estructurales no lineales como pueden ser los amortiguadores o los disipadores de energía que obligan a realizar un cálculo en el tiempo. Esta extensión del uso de acelerogramas se ve reflejada en algunas de las normativas, que ya permiten el uso de sismogramas. Por ejemplo, el Eurocódigo 8 ya propone el uso de sismogramas como alternativa al cálculo espectral. En España, la norma de construcción sismoresistente NCSE-02, también contempla esta posibilidad.

Sin embargo, la herramienta más popular para dentro del cálculo estructural sismoresistente es el espectro de respuesta. Para la determinación del espectro de respuesta y de los acelerogramas sintéticos se puede utilizar a partir del espectro de varianza, es decir, considerando la acción sísmica como un proceso estocástico modelado a partir de modelos sismológicos.

En resumen, un espectro de respuesta sísmica es la respuesta en aceleraciones de un sistema de un grado de libertad de periodo propio  $T$  a los sismos de cierta región. Es decir, un espectro de respuesta se obtiene a partir de equiparar una estructura a un modelo de vibración de oscilador equivalente

con un periodo propio. Derivando dos veces la ecuación del oscilador equivalente, se obtiene la aceleración espectral de respuesta. Analizando estadísticamente todos los sismos de una región dentro de ciertos periodos propios, se obtiene el espectro de respuesta.

### 2.1.2 Espectros de varianza y modelos sismológicos

Como ya hemos visto anteriormente, la Ingeniería Sísmica puede utilizar el espectro de varianza para la definición de la acción sísmica como un proceso estocástico. Los espectros de varianza, son la herramienta fundamental, ya que contienen la información básica estadística para la simulación de acelerogramas.

Para la formulación del espectro de varianza de la acción sísmica podemos encontrar varios métodos en la bibliografía, que quedarían agrupados de la siguiente forma:

- Modelos semiempíricos: en estos modelos, la forma del espectro de varianza está definida por unos parámetros que vienen determinados por el ajuste de datos empíricos disponibles.
- Modelos sismológicos: se basan en los sucesos físicos que dan inicio a un terremoto. Se formulan a partir de la deducción teórica de un espectro de amplitudes de Fourier, que depende de manera exclusiva de parámetros físicos que están ligados a materiales y procesos de desencadenamiento de un sismo.

La formulación de todos los modelos tiene una gran importancia en el estudio de los terremotos, en especial, en aquellas regiones de sismicidad moderada donde se disponen de muy pocos datos pero con sismos de magnitud potencialmente elevada con un alto periodo de retorno, como es el caso de España. Estos modelos permiten la simulación de sismos basados en los procesos físicos que los producen, que es la característica más importante de estos modelos, y lo que nos lleva a su utilización.

Como ya se ha dicho con anterioridad, en este trabajo final de grado se utilizarán los modelos sismológicos. Los modelos sismológicos como se ha visto anteriormente están basados en sucesos físicos. Su estudio permite la creación de sismos sintéticos, y sus características, se acoplan de manera perfecta al desarrollo de este trabajo, que pretende desarrollar un programa donde las duraciones utilizadas estén basadas en parámetros sismológicos.

En este TFG, se desarrolla un ejemplo práctico basado en el modelo sismológico de Brune(1970) que ha sido utilizado con mucha frecuencia para la modelización de sismos europeos y que asume las hipótesis de tensión efectiva  $\Delta\sigma$  homogénea e instantánea sobre todo el plano de rotura de falla circular. Pese a la fecha del modelo sismológico de Brune (1970) este sigue vigente hoy en día gracias a su sencillez y su capacidad de reproducir con bastante fidelidad la manera en la que rompe una falla. En el ejemplo práctico, se observará con más detalle las características del modelo de Brune(1970)

## 2.2 Procedimiento de cálculo del espectro de respuesta.

Para conseguir el espectro de respuesta de una estructura, utilizaremos el siguiente programa, que es para el que hemos encontrado una solución para poder pasar a su comercialización a largo plazo.

El programa funciona de la siguiente manera: en primer lugar, como dato de entrada tenemos el espectro de amplitudes de un modelo sismológico  $A(f)$ . Una vez tenemos el espectro así expresado, pasamos a obtener el espectro de varianza  $G(f)$  equivalente que es el que contiene la información estadística para el cálculo del espectro de respuesta. Para obtener el espectro de varianza, se eleva el valor absoluto de  $A(f,t)$  al cuadrado y se divide por la duración estacionaria equivalente  $T_{gs}$ . Para finalizar, y aplicando la teoría vibraciones aleatorias, tal y como se propone en el método Ferrer y Sánchez-Carratalá (2016) obtenemos el espectro de respuesta  $R_{sa}(T_n)$ . En la figura 1, se puede observar el diagrama de flujo del programa.

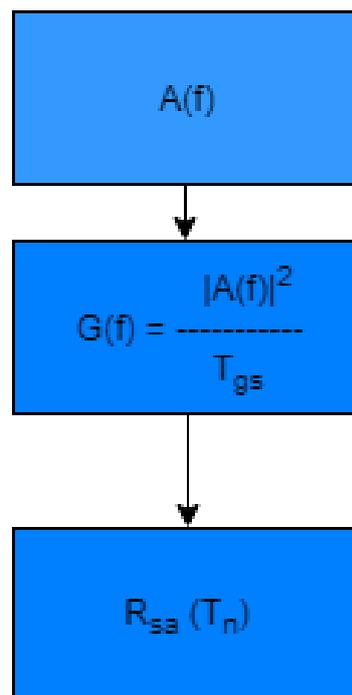


Figura 1. Diagrama de flujo del programa de cálculo de espectros de respuesta

Para la determinación del espectro de varianza no estacionario, es necesario determinar la función de intensidad, es decir, la evaluación de la desviación típica del proceso a lo largo del tiempo, para ello, se utilizará la expresión de Saragoni y Hart (1974):

$$I(t) = kt^n e^{-kt} \quad (1)$$

cuyos parámetros calcularemos para las distintas magnitudes para las que se realizará el análisis del espectro de respuesta, que se verá más adelante en el ejemplo práctico.

Para la reducción del tiempo de cálculo, este programa utiliza una simplificación del método del oscilador simple de Ferrer (2016). El cálculo del oscilador equivalente al oscilador original cuyo criterio de equivalencia es que la respuesta del equivalente ante un ruido blanco sea idéntica a la respuesta del original ante una acción sísmica representada por un proceso estocástico

no estacionario. También, dentro del proceso de cálculo se toma la hipótesis de Poisson.

## 2.3 Limitaciones del programa de cálculo de espectros de respuesta

Como se puede observar, el programa de cálculo utiliza el concepto de espectro de varianza  $G_s$  y lo define como el espectro de amplitudes de un sismo  $A(f,t)$  dividido entre la duración estacionaria equivalente  $T_{gs}$ . La definición de esta duración se aborda en el siguiente capítulo.

## 3. Tipos de duración

### 3.1 Definición de la duración

La duración de un sismo se define como el tiempo transcurrido desde que el sismógrafo detecta el sismo, hasta que las ondas del mismo dejan de ser significativas. La duración de un sismo, depende de los mecanismos de fuente y de las características del terreno en el que se propaga el sismo desde la fuente hasta el lugar de registro. En la fuente, la duración depende de la geometría de la falla y de la velocidad de propagación. La duración también depende de las características geológicas de los estratos que atraviesan las ondas desde la fuente hasta el lugar del registro. En los últimos años, el estudio de la duración de un sismo ha tomado mayor relevancia ya que la duración determina en gran medida los efectos destructivos de un sismo sobre una estructura

En la bibliografía, podemos encontrar diferentes definiciones de duración de un sismo, dependiendo del criterio que se utilice para calcularlas, y del objetivo final que tenga ese cálculo, es decir, tratar de determinar qué intervalo es el más significativo de un registro sismológico. Se pueden encontrar tres grandes grupos de definiciones de duración según que parámetro utilicen para su definición:

- Aceleración sísmica (duración umbral),
- Intensidad de Arias (duración de energía)
- Intensidad de Arias (duración equivalente)

Dentro de estas duraciones que se encuentran en la bibliografía, se van a analizar y definir dos de ellas: la duración umbral, la duración de la energía de Husid y la duración estacionaria equivalente

## 3.2 Duración umbral

La duración umbral o “Threshold duration”  $T_{g,t}$  es definida como el intervalo de tiempo en el que el acelerograma pasa por primera vez y por última por un cierto nivel umbral  $\eta$ . Esta es la manera más simple de calcular la duración y la más utilizada. El umbral del cálculo no está establecido, sino que depende de cada autor.

Existen dos grupos de umbral, en el primero, los autores utilizan valores absolutos como  $\eta=0,1g$  o  $\eta=0,05g$  y en el segundo la definición viene definida de modo relativo a partir de la aceleración máxima del acelerograma es decir,  $\eta=0,1a_{m\acute{a}x}$  o  $\eta=0,05a_{m\acute{a}x}$

El primer tipo de definición del umbral tiene como inconveniente que solo se puede aplicar a terremotos que superen ese umbral definido y además, este criterio no tiene en cuenta el comportamiento de la parte más significativa del registro, por tanto el contenido de energía no sería correcto.

En la bibliografía, podemos encontrar relaciones entre la duración umbral y parámetros sísmicos, como por ejemplo, la expresión de Trifunac y Brady (1975) para un umbral de  $0,1a_{m\acute{a}x}$ :

$$D = -4.88s + 2.33M + 0.149R \quad (2)$$

donde  $s$ , es un parámetro que define el tipo de suelo ( 2,1 y 0 dependiendo de si es roca u otros tipos de suelo),  $M$  es la magnitud del sismo y  $R$  la distancia epicentral.

### 3.3 Duración de la energía Husid

La duración de Husid se encuentra dentro del grupo de las duraciones definidas por la manera en que el sismo libera energía. Para la definición de esta duración se utilizan dos conceptos: intensidad de Arias y la función de Husid.

La intensidad de Arias (Arias, 1970) es una medida de la cantidad de energía total liberada por un sismo, y está conectada con el daño que puede producir un sismo en una estructura y se define así:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_{gt}} a_g^2(t) dt \quad (3)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $a_g(t)$  es un registro de un acelerograma de un sismo y  $T_{gt}$  es la duración total del registro. La mayoría de autores, normalmente, definen la intensidad de Arias sin el factor de escala de la ecuación (3) quedando así

$$I_A = \int_0^{T_{gt}} a_g^2(t) dt \quad (4)$$

La función de Husid y otros (1969) mide la acumulación de la intensidad de Arias a lo largo del tiempo, y queda definida de la siguiente manera:

$$H_{ag}(t) = \int_0^t a_g^2(u) du \quad (5)$$

donde  $a_g$  es la aceleración de la gravedad y  $t$ , la duración del sismo.

Cuando se representa la función Husid sobre un acelerograma se diferencian tres fases. Una inicial de crecimiento, que va ligada a la primera llegada de ondas sísmicas (ondas P), una fase intermedia que corresponde a la llegada de las ondas S y las ondas superficiales, y una fase final que

corresponde a la llegada de las ondas coda y el resto de ondas, que llegan ya de manera muy atenuada. Como podemos deducir, el intervalo del medio es el que define la parte más significativa del registro y es el que determina en mayor medida la duración.

Al igual que hemos visto en la duración umbral, los criterios que se utilizan para determinar la duración del intervalo pueden ser absolutos o relativos. Los más habituales son los criterios relativos como  $H_{ag} / I_A = 0.05 - 0.95$  (Trifunac y Brady (1975)). Este tipo de duraciones son conocidas como duración de energía total o “total energy duration”, este criterio es el que se va a utilizar a la hora de realizar el cálculo de la duración a lo largo de este trabajo.

En el artículo de Reinoso y Ordaz (1999) se hace un resumen de las relaciones de algunos tipos de duraciones con parámetros sismológicos. Para la duración de la energía, encontramos la relación de Droby *et al* (1982) basada en los tiempos en los que el terremoto está entre el 5% y el 95% de la intensidad de Arias. La ecuación queda así:

$$D = 10^{(0.43M - 1.83)} \quad (6)$$

donde M es la magnitud del sismo.

### 3.4 Duración estacionaria equivalente

La duración estacionaria equivalente (Ferrer y Sánchez-Carratalá 2016) está basada en la definición de un criterio para definir la equivalencia entre un proceso no estacionario y un proceso estacionario de duración equivalente. Duraciones similares aparecen en varios trabajos de investigación, por ejemplo, en un artículo de Ghofrani y Atkinson (2015), RMS para el terremoto de Tohoku, como la media cuadrática acumulativa de la intensidad del sismo.

Esta manera de definir la duración del sismo es la más interesante determinar el espectro de varianza, y es por ello que se ha escogido para hacer la comparación con el resto de duraciones. En el trabajo, se ha elegido utilizar la definición de Ferrer y Sánchez-Carratalá (2016) por su sencillez de cálculo y que considera un proceso estacionario equivalente a un proceso no estacionario, tomando como criterio que el valor esperado de la intensidad de Arias de ambos procesos sean iguales. La ventaja con la que cuenta esta definición es la facilidad para obtener la relación entre el espectro de amplitudes y el de varianza. La duración estacionaria equivalente, queda definida como:

$$T_{gs} = \int_0^{T_{gt}} I_{ag,u}^2(t) dt \quad (7)$$

donde  $I_{ag,u}$  es la función de intensidad normalizada a un valor máximo de unidad que se utilice para el cálculo y  $T_{gt}$  es la duración del sismo.

Hasta el momento, el programa se utilizaba haciendo una aproximación de la duración estacionaria equivalente  $T_{gs}$ , lo que producía que está no estuviese relacionada con ningún parámetro sísmico, y restara valor a los resultados obtenidos en el programa. Este TFG, propone una solución a este problema, como se ve en capítulos posteriores, que relaciona la duración estacionaria equivalente  $T_{gs}$  con parámetros sismológicos, pudiendo así obtener resultados más precisos, y dándole valor a este programa y su uso para el cálculo de espectros de respuesta sismológicas para la construcción de estructuras.

Al contrario de lo que se ha visto en las duraciones anteriores, la duración estacionaria equivalente, no cuenta con una expresión en la bibliografía que la relacione con parámetros sísmicos, ya que es una expresión de la duración bastante novedosa. En los posteriores capítulos se aborda este problema.

## 4. Cálculo de la duración

### 4.1 Introducción

En este apartado se va a obtener una relación de la duración estacionaria equivalente y parámetros sísmicos. Para ello, se va a relacionar la duración estacionaria equivalente con la duración umbral y la duración de la energía de Husid.. Esta relación se busca a través del análisis de sismogramas reales. En este apartado, se procede a la explicación de los criterios de selección de dichos sismos, así como el tratamiento previo al análisis matemático con Matlab.

### 4.2 Base de datos sísmica

Para llevar a cabo el estudio de la relación de las duraciones, se ha utilizado un conjunto de acelerogramas, que cumplen ciertos criterios homogéneos. Para que todos los archivos tuvieran la misma forma, se ha utilizado como fuente principal y única de descarga de sismogramas, la base de datos del European Strong Motion Data Base ([http://www.isesd.hi.is/ESD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm))

El European Strong Motion Data Base es una plataforma que a través de una interfaz interactiva, te proporciona un banco de datos con más de 3.000 registros de movimientos sísmológicos.

Dentro de su web, cuenta con un apartado llamado “Data Base” que contiene esos miles de registros, que el usuario puede descargar a partir de unos criterios de búsqueda introducidos por el mismo

The screenshot displays the user interface of the European Strong Motion Database, organized into three main sections:

- Earthquake criteria:** Includes fields for Earthquake Name, Country (Albania), Region (Adriatic Sea), Date (11/03/1933 to 26/05/2017), Epicentre Latitude (0.00), Epicentre Longitude (-180.00), Focal Depth (0 km), Magnitude (0), and Fault Mechanism (normal).
- Station criteria:** Includes Station Name (31 km (A380 road)), Country (Albania), Location Latitude (0.00), Location Longitude (-180.00), Building Type (unknown), Local Geology (unknown), and Vs30m (0 m/s).
- Waveform criteria:** Includes Epicentral-Distance (0 km), Fault-Distance (0 km), Source-Station Azimuth (0), Local Intensity (I), and PHA/PVA (0 m/s²).

Figura 2. Interfaz de usuario del European Stron Motion Database

Esto ha permitido trabajar con unos archivos, previamente cribados, lo cual ha hecho más fácil la creación de la base de datos a utilizar en el estudio.

### 4.3 Criterios de selección

En el siguiente capítulo se va a analizar algunos de los parámetros que caracterizan un sismo, y se van a explicar los criterios de selección que se han utilizado en cada uno de ellos. Los parámetros que se tienen en cuenta para la elección de los datos para el análisis son:

- Magnitud
- Aceleración
- Distancia epicentral

#### 4.3.1 Magnitud

La magnitud de un sismo corresponde a la energía liberada por la rotura en el desplazamiento del terreno en la fuente. Los terremotos se pueden medir a partir de la energía liberada, con una escala logarítmica a la que llamamos magnitud. O bien, se puede medir a partir de los efectos que producen, lo que se denomina intensidad. Esta segunda escala, es subjetiva, ya que depende de como sienta el terremoto una persona, o los daños que pueda producir.

Para el estudio que se lleva a cabo en este trabajo, se utilizan sismos con una magnitud de 4 hasta sismos de magnitud 9. Esto es debido a que, los sismos por debajo de la magnitud 4, no suelen tener repercusión, y es a partir de este número cuando pueden ser destructivos. El límite superior de 9 es debido a que no existen terremotos registrados por encima de esa magnitud.

### 4.3.2 Aceleración

La aceleración sísmica es una medida utilizada en los terremotos. Consiste en una medición directa de las aceleraciones en la superficie del suelo. Habitualmente, la unidad utilizada para la medición de la aceleración sísmica es la intensidad del campo gravitatorio ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ )

Se mide fácilmente con acelerómetros, y su valor es el más utilizado para fijar normativas y zonas de riesgo sísmico.

Al igual que con la magnitud, el criterio de selección de los intervalos de aceleración usados, han sido elegidos por el daño potencial que pueden producir en una estructura. Por ello, los sismogramas escogidos tienen una aceleración sísmica entre 0,06g hasta sismos mayores de 0,3 g.

### 4.3.3 Distancia del epicentro

Otro parámetro fundamental para la total definición de un sismo es la distancia al epicentro. El epicentro es el punto de la superficie terrestre que se encuentra en proyección vertical del hipocentro, que es el lugar en el interior de la tierra. La distancia del epicentro, es definida como la distancia que hay entre el epicentro y el lugar de registro del sismo.

Para seleccionar el intervalo de distancias que vamos a utilizar, se debe tener en cuenta que una distancia muy pequeña, o una distancia muy grande, pueden afectar al sismograma por la reflexión y la refracción de las ondas durante el recorrido desde la fuente hasta el lugar donde se mide. Esto es debido a la atenuación de las ondas, o por el contrario, a ondas residuales que llegan al sismógrafo si este se encuentra muy cerca o muy lejos del foco del sismo.

Por ello, el intervalo que hemos seleccionado para llevar a cabo este estudio es entre 10 km y 200 km, para evitar que los sismogramas se vean afectados por ondas reflejadas o refractadas que cambien la forma real del sismograma.

#### 4.3.4 Número de registros

Una vez definidos todos los criterios de selección, era necesario definir cuantos sismogramas eran necesarios para llevar a cabo nuestro estudio. Para tener un número de muestreo significativo a la hora de realizar el análisis estadístico posterior al cálculo de duraciones, se ha determinado iniciar el estudio con más de 200 sismos.

El número total de sismos es de 217, que son los archivos que estaban disponibles en la base de datos del European Strong Motion Database que cumplen los requisitos que se han planteado para este estudio.

Los 217 terremotos utilizados se encuentran detallados (fecha, nombre, estación, aceleración y distancia al epicentro) en el Anexo II.

#### 4.3.5 Tratamiento previo de los archivos

Ahora que ya tenemos los archivos seleccionados, se procede a darles la forma necesaria para que sean óptimos para utilizarlos con el programa de cálculo que se va a utilizar.

Una vez introducidos los criterios de búsqueda en la base del European Strong Motion Database, los sismogramas se descargan en un archivo tipo \*.zip, que contiene todos los sismogramas que previamente se han seleccionado.

Cada uno de estos sismogramas, se encuentra en formato \*.txt, donde aparecen los siguientes datos: archivo, código de terremoto, código de estación, código de ola, número de canales, tipo de instrumento, sensibilidad, frecuencia natural, tipos de filtros, operador del instrumento, hora del primer dato del muestreo, periodo de muestreo, número de muestras, duración total

del sismo, unidades, y referencias al European Strong Motion DataBase.

Además, incluyen datos de tres relaciones: aceleración, velocidad y desplazamiento.

Estos datos, se encuentran en una matriz numérica de 6 columnas y tantas filas como datos eran indicados previamente en el apartado de “número de muestras”

Para nuestro estudio, solo son necesarios algunos de estos datos, por lo que cada archivo se modifica de manera que solo quedan los siguientes datos: código de terremoto, código de estación, código de ola, periodo de muestreo, número de muestras, duración total del sismo, y la matriz correspondiente a la aceleración respecto del tiempo.

Además de conservar estos datos, se renombran y se reescriben en formato código de programación de Matlab (programa matemático que utilizaremos para el análisis de datos) para facilitar la lectura de datos posteriormente en el programa.

De esta manera, los datos quedan renombrados así:

- Código de terremoto = *EC*
- Código de estación = *SC*
- Código de ola = *WC*
- periodo de muestreo = *deltat*
- número de muestras = *n*
- duración total del sismo = *dur*
- matriz de aceleración = *a*

Dentro de la matriz *a*, correspondiente a la aceleración, también se realizan ciertos cambios. Para que Matlab detecte el tamaño de la matriz de manera coherente, se añaden 0 al final del registro de la aceleración. De esta

forma, Matlab detecta la matriz de manera completa, y después dentro del código, se realizan los cambios necesarios para utilizar solo los datos reales del sismograma, sin tener en cuenta los 0 que se han añadido.

Para finalizar, cada archivo se guarda en formato .m para la lectura por Matlab, y con el nombre el formato sis\_xx.m con el número correspondiente al del sismo (que también coincide con el código de ola *WC*)

En el Anexo III se incluye un ejemplo de cómo quedarían los archivos después de su modificación, por si se necesita consultar.

## 4.4 Cálculo de la duración

En este capítulo, se explica de manera detallada, el cálculo de las duraciones para su posterior búsqueda de la relación entre la duración estacionaria equivalente.

### 4.4.1 Herramienta de cálculo

Para el procesado del gran volumen de datos se utilizará la herramienta de cálculo informático Matlab. Matlab es la abreviatura de MATrix LABoratory (laboratorio de matrices). Es un software que tiene un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje propio llamado lenguaje M. Este lenguaje M propio, es interpretado por MatLab en su espacio interactivo, pero también a través de archivos con la extensión \*.m.

Una función importante de Matlab es la capacidad de interactuar con otros programas de cálculo. En nuestro caso, para archivar los datos obtenidos de Matlab en un primer análisis, estos se han archivado en la extensión \*.xlsx que corresponde con archivos de Excel. Matlab ofrece la opción de escribir en archivos de Excel, pero también leer datos que estén guardados en esta extensión.

En el Anexo I se puede encontrar el código de programación al completo. Este código se divide en 4 bloques principales de funcionamiento. El primer bloque lee los ficheros y le pide datos al usuario. El segundo bloque, da inicio a un bucle que lee los archivos individualmente. El tercer bloque, sería el bloque de cálculo propiamente dicho. En este bloque, se crea un vector tiempo, se corrige la matriz aceleración y se procede al cálculo de cada una de las duraciones necesarias. El cuarto y último bloque de nuestro programa, guarda los datos, cierra el bucle de lectura de archivos, y crea un archivo de Excel con los datos obtenidos.

En la figura 3, se muestra el diagrama de flujo que rige el funcionamiento del código de programación:

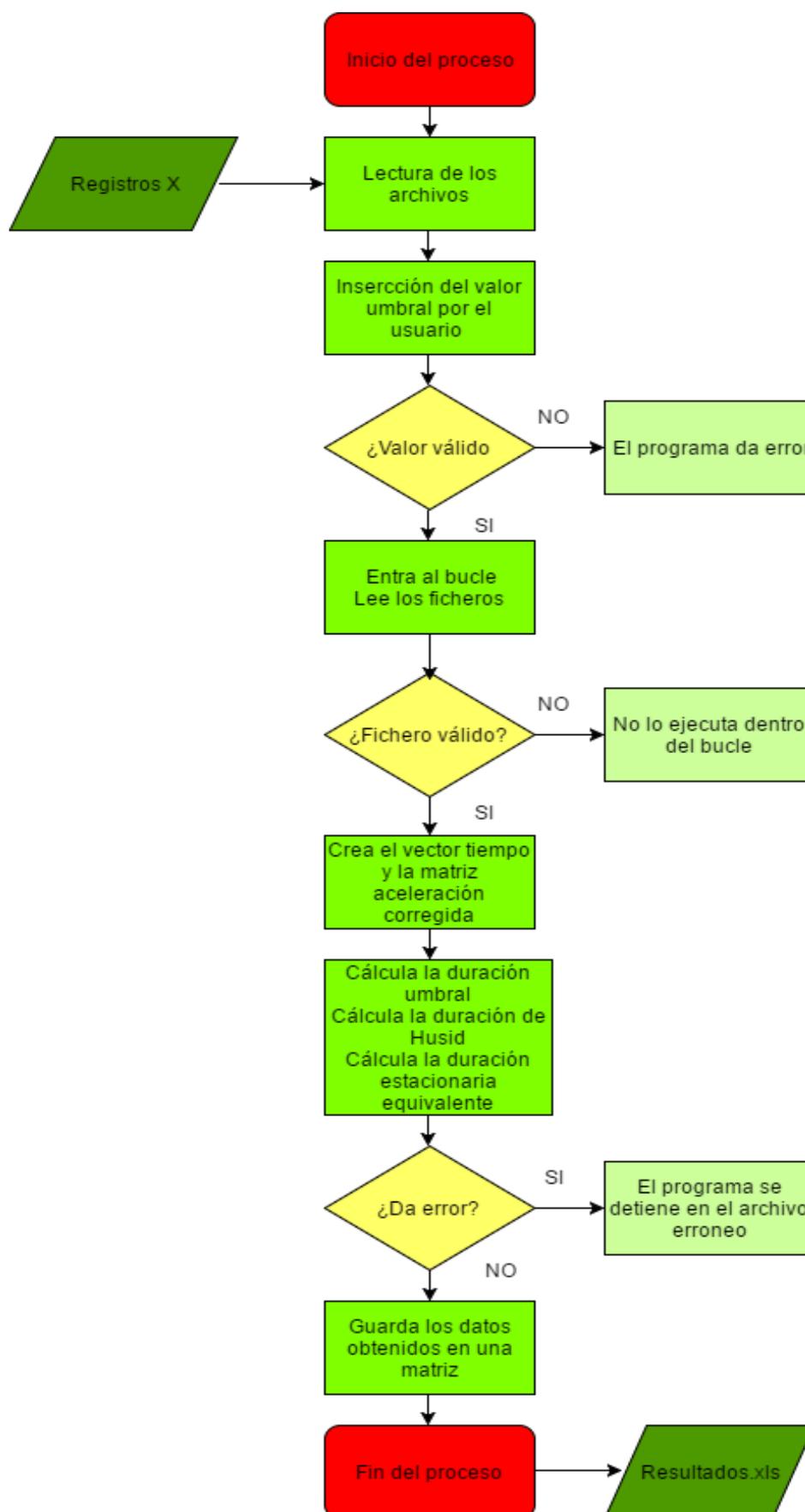


Figura 3. Diagrama de flujo del programa de cálculo de duraciones

Dentro de cada bloque se realizan unas funciones determinadas que son las siguientes:

*Primer bloque: Creación del directorio de sismos*

El primer bloque del programa es el encargado de crear un directorio con todos los archivos que se quiere analizar. También en este primer bloque, se le pide al usuario que inserte el valor umbral que quiere utilizar para el análisis.

En primer lugar, con la instrucción *clear*, se borran todos los datos anteriores para evitar interferencias y errores de cálculo. También se crea un directorio con todos los archivos que queremos analizar, con la instrucción *dir* que lee todos los archivos con unas determinadas características en el nombre y crea una lista.

A continuación, se le pide al usuario a través de la pantalla con la instrucción *input*, el valor umbral que quiere utilizar para los cálculos posteriores. Hasta que el usuario no introduce un valor de umbral válido a través del teclado, el programa no continúa avanzando.

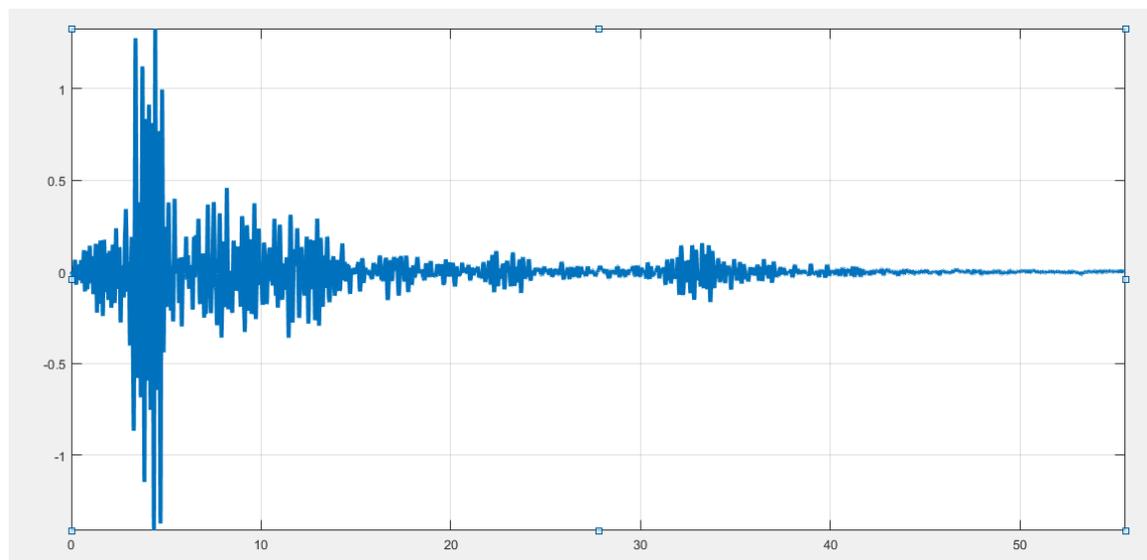


Figura 3. Sismograma

### *Segundo bloque: Inicio del bucle*

El segundo bloque es el encargado de iniciar el bucle que realizará todas las operaciones posteriores

Esta iniciado por un bucle *for*. Esta herramienta crea un bucle que va a repetir las operaciones de cálculo de duraciones, tantas veces como archivos haya encontrado en el directorio creado en el bloque 1. Desde la instrucción *FOR* hasta que el programa encuentra un *END*, realiza todas las operaciones que se encuentren entre ellas. En el programa, el primer bucle *for* que encontramos es el que da inicio al resto de operaciones.

### *Tercer bloque: Cálculo de duraciones*

El tercer bloque de nuestro programa es el más importante, ya que en él se realiza el cálculo de las duraciones.

En primer lugar, se crea un vector *t* a partir de los datos de duración total del sismo y *deltat*. También se corrige la matriz aceleración, para que incluya solamente los datos descargados de la base, y elimine los 0 que se han añadido previamente para un correcto funcionamiento de Matlab, como se ha indicado en el apartado 6.3.5 Tratamiento previo de los archivos. Una vez realizados estos pasos, pasamos al cálculo de duraciones.

### *Duración umbral*

Dentro del tercer bloque, se entra dentro del cálculo de la duración umbral. Como se ha visto en el apartado 4.2 Duración umbral, para el cálculo de la duración umbral, se va a seleccionar un umbral de los que se puede encontrar en la bibliografía. Los más comunes, son  $\eta=0,1g$  o  $\eta=0,05g$ . En el programa, el valor del umbral vendrá definido por el valor máximo de la aceleración que alcance el sismograma

Para el cálculo de la duración umbral, en primer lugar, se busca el valor máximo que alcanza el acelerograma (en valor absoluto) para después multiplicarlo por el umbral que ha introducido el usuario en el primer bloque.

A partir de este valor, se utiliza la instrucción *while* para crear dos bucles. El primer bucle es el encargado de buscar el primer punto del acelerograma que coincide con el valor máximo multiplicado por el umbral. A su vez, el segundo bucle *while*, realiza la misma función que el anterior pero buscando el último punto de corte del umbral con el acelerograma.

Una vez obtenidos esos dos valores, se multiplican por *delta t* para saber a que instante de tiempo corresponde, y se restan entre ellos para obtener la duración umbral.

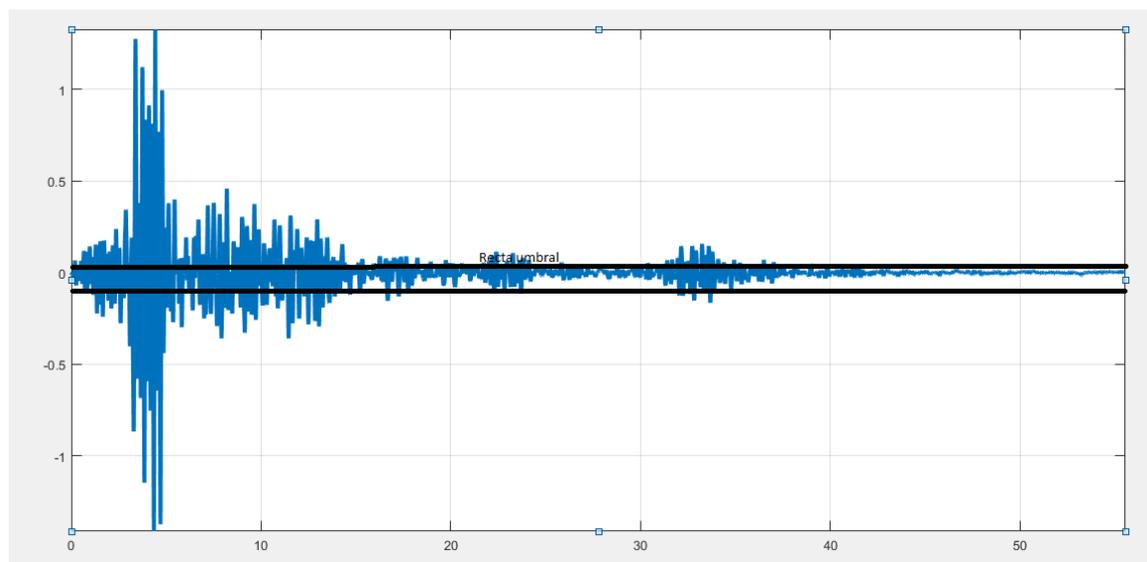


Figura 4. Sismograma donde se muestran las rectas que representan el umbral

#### *Duración de la energía de Husid*

Al igual que se ha hecho con la duración umbral, para el cálculo de la duración de la energía de Husid, se va a ser coherente con lo visto en el apartado 4.3 Duración de la energía de Husid. Por ello, para el cálculo se van a utilizar la formula (4)

$$I_A = \int_0^{T_{gt}} a_g^2(t) dt$$

Y la fórmula (5)

$$H_{ag}(t) = \int_0^t a_g^2(u) du$$

En este bloque, la duración de la energía de Husid se calcula de la siguiente forma. En primer lugar, y con un bucle *for*, se encuentra el valor de la energía de Husid del sismo, ya que la función de Husid mide la acumulación de la Intensidad de Arias a lo largo del tiempo.

Después y mediante dos bucles *while* se buscan los puntos correspondientes al 5% de la Intensidad de Arias y al 95%. Estos puntos, se encuentran con el bucle *while*, que hace la función de una integración por incrementos. Como ya hemos hecho anteriormente en la duración umbral, al obtener estos dos puntos, multiplicamos por *deltat* para obtener el instante de tiempo al que corresponden esos dos puntos, y mediante la resta de los dos, obtener el valor de la duración de la energía de Husid.

#### *Duración estacionaria equivalente*

Para el cálculo de la duración estacionaria equivalente, se utiliza la expresión (7) de Ferrer (2016)

$$T_{gs} = \int_0^{T_{gt}} I_{ag,u}^2(t) dt$$

donde  $I_{ag,u}^2$  es la función de intensidad del sismo. Para facilitar el cálculo dentro del programa se ha creado una función auxiliar a la que se ha llamado *eRMS*, que corresponde a la creación de una envolvente al sismograma, equivalente a la función de intensidad.

En primer lugar, con la herramienta *envolvente*, se crea una envolvente al vector aceleración a la que llamamos *eRMS*. La función *eRMS* es la

desviación típica que, de manera aproximada corresponde a la función de intensidad que aparece en la expresión de Ferrer (2016). Una vez obtenida esta envolvente, se encuentra el valor unitario, que es con el que trabajaremos.

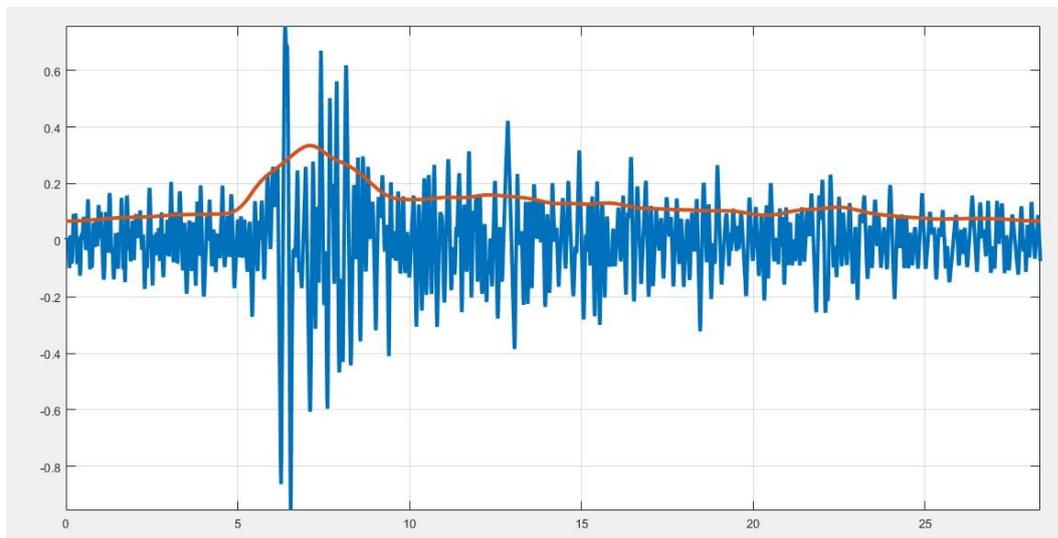


Figura 5. Envolvente para el cálculo de la duración estacionaria equivalente.

Una vez obtenido ese valor, y con un bucle *for*, y usando como límite del bucle el valor de *eMRS* unitario, calculamos la duración estacionaria equivalente como el cuadrado de *eMRS* unitario multiplicado por *deltat*, para así, cuando finalice el bucle, obtener la duración total  $T_{gs}$ . Estas operaciones en este bucle, equivalen a realizar un integración por incrementos.

*Cuarto bloque: salvado de datos y fin del programa.*

El cuarto bloque del programa de cálculo de duraciones, corresponde al apartado del programa donde se lleva a cabo la recopilación de los datos obtenidos y su posterior salvado en un documento independiente.

Una vez realizado el cálculo de todas las duraciones, lo que hacemos es crear una matriz llamada *resultados*, que vaya guardando en cada columna, los datos que necesitemos (nombre del archivo y las tres duraciones). Una vez tenemos esta matriz creada, con la instrucción *clear*, borramos aquellas variables que puedan causar interferencia en el bucle y con *end*, cerramos el

bucle inicial que analiza todos los archivos. La instrucción *clear* en este punto, permite que el bucle repita todas las operaciones indicadas anteriormente, para cada uno de los archivos, sin que los datos del archivo analizado anteriormente cause interferencias, y así asegurar que los datos que tenemos dentro de la matriz *resultados* son correctos.

Ya fuera del bucle, donde se realizan todos los cálculos de duraciones, con la herramienta *save*, guardamos la matriz *resultados* en un archivo *.mat* con el mismo nombre. Además con la herramienta *xlswrite*, creamos un documento Excel que contiene la matriz de resultados que se ha ido creando.

Y así, finalizaría el programa, pasando ahora a un análisis estadístico de los datos de duraciones obtenidos.

#### 4.4.2 Resultados

Los resultados obtenidos, al contener un gran volumen de datos, se han incluido como un anexo (Anexo IV) al final de este trabajo. Estos datos se encuentran organizados en 4 columnas. En la primera de ellas podemos encontrar el identificador del sismo. En la segunda, el valor obtenido en el cálculo de la duración umbral. En la tercera, el valor obtenido en el cálculo de la duración de la energía, y por último, en la cuarta columna, se encuentra el resultado del cálculo de la duración estacionaria equivalente.

#### 4.4.3 Conclusiones de programa de cálculo de duraciones

Como se puede observar en la tabla de resultados adjunta en el Anexo IV, el programa ha funcionado correctamente, y se ha podido obtener las tres duraciones de manera que, a partir de este momento, se puede trabajar con ellas para encontrar una relación que permita así, encontrar la relación de la duración estacionaria equivalente con parámetros sismológicos.

## 5. Ajuste de la relación entre duraciones

Una vez se ha desarrollado el bucle informático que permite el cálculo de todas las duraciones, se procede a realizar un estudio estadístico para comprobar si existe una relación numérica entre ellas, y si esta tiene la confianza suficiente para poder darle a esta relación un uso real.

Para llevar a cabo este análisis, se ha utilizado el programa de procesamiento de datos estadísticos, Statgraphics. STATGRAPHICS Centurion XVII es una potente herramienta de análisis de datos que combina una amplia gama de procedimientos analíticos con gráficos interactivos para proporcionar un entorno integrado de análisis que puede ser aplicado en cada una de las fases de un proyecto.

Incluye funciones estadísticas avanzadas, capaces de proporcionar rigurosos análisis propios de los profesionales estadísticos más exigentes y experimentados, y al mismo tiempo ofrece un interface muy intuitivo, con funciones de asistencia exclusivas, de tal forma que proporciona la simplicidad suficiente para permitir a un analista inexperto realizar procedimientos complejos.

### 5.1 Procedimiento de ajuste

Para el análisis de las duraciones, se va a realizar un cálculo estadístico. Para ello, se van a obtener, los coeficientes de correlación entre las duraciones, los parámetros de una regresión lineal, los intervalos de confianza en los que se mueven dichas relaciones y un análisis ANOVA.

La búsqueda de la relación entre las duraciones se va a realizar a través de un ajuste por mínimos cuadrados. También se va a estudiar la relación entre las duraciones a través de una regresión lineal, debido a que, en una vista previa a las gráficas de los resultados, se ha observado que la relación entre

las duraciones cumple con una regresión lineal de manera satisfactoria, y se ajusta mejor que cualquier otro tipo de ajuste.

## 5.2 Relación duración estacionaria equivalente- duración umbral

### 5.2.1. Umbral $0,05a_{max}$

#### Matriz de Correlación

duración umbral
-0,8220
Duración estacionaria equivalente

Tabla 1. Matriz de correlación relación umbral-relación estacionaria equivalente

Como se observa en la tabla, los datos estadísticos muestran que la duración estacionaria equivalente y la duración umbral están correlacionadas al 0.8220. Gracias a estos datos, se puede proceder a realizar una regresión y un análisis ANOVA, para ver de que manera se relacionan los datos que previamente ya se conoce que tienen una alta correlación.

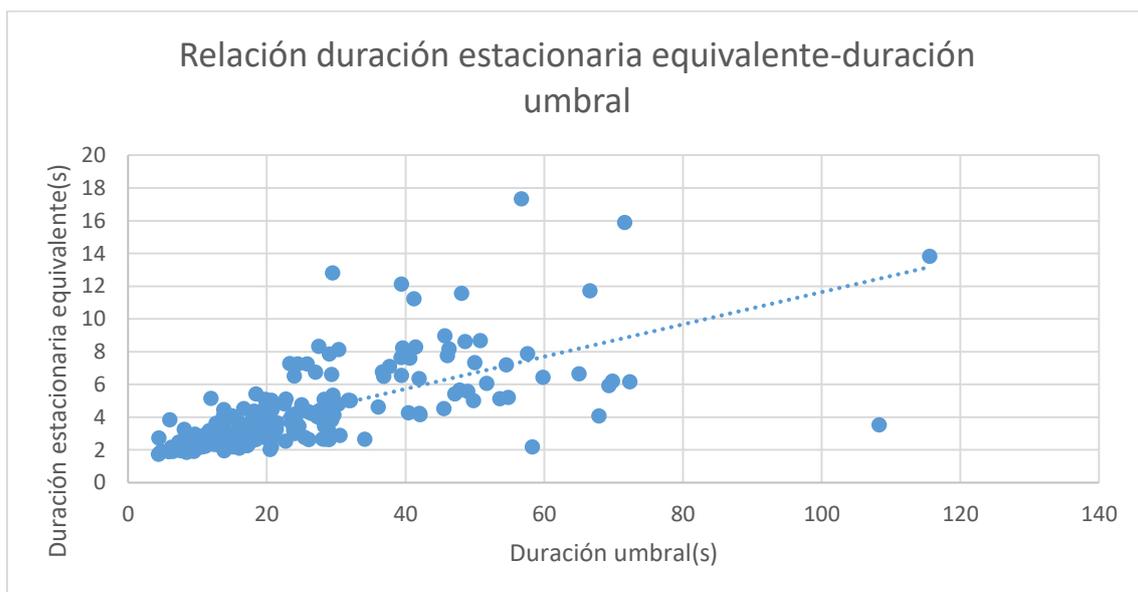


Figura 6. Gráfica de la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente.

Como se observa en la imagen de la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración umbral, los datos se ajustan de manera bastante buena a una línea de tendencia lineal. Cabe añadir, que dentro del análisis se han observado diferentes tipos de regresión, eligiendo finalmente la regresión lineal por ser la que mejor se ajusta a las necesidades de este trabajo. A continuación, y al igual que se realiza en todos los supuestos, se realiza un análisis ANOVA. Este análisis permite estudiar dos estadísticos importantes para conocer el nivel de validez de la relación entre dos grupos de datos. En este trabajo, se va a utilizar el Valor-P como indicador de la validez de la relación entre los diferentes tipos de duración que se estén analizando en cada apartado. En la tabla donde se muestran los datos del análisis ANOVA, también se encuentra la suma de cuadrados, ya que el cálculo se ha realizado por mínimos cuadrados. Por otro lado, se encuentra el estadístico Razón-F. Esta tabla tiene el mismo formato para todos los supuestos, por ello se realiza esta explicación previa.

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	619,82	619,82	181,04	$1 \cdot 10^{-5}$
Residuo	732,66	3,42		
Total (Corr.)	1352,49			

Tabla 2. Análisis de varianza

$$R^2 = 45,82 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado) } = 45,57\%$$

La ecuación del modelo ajustado quedaría así:

$$T_{gs} = 1.78752 + 0.0983682D_u \quad (11)$$

donde  $T_{gs}$  es la duración estacionaria equivalente y  $D_u$  es la duración umbral.

En el análisis de varianza se observa que el Valor-P es 0,00001 es menor que 0,05, lo que nos permite afirmar que el análisis es bueno para unos intervalos de confianza del 95%

### Intervalos de confianza del 95,0% para las estimaciones de los coeficientes

Parámetro	Estimación	Error		
		Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
CONSTANTE	1,78	0,22	1,35	2,22
duración umbral	0,09	0,01	0,08	0,11

Tabla 3. Coeficientes de confianza para la expresión de la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente

Al estudiar el parámetro estadístico  $R^2$  se observa que el ajuste puede ser mejorado, ya que, cuanto más cerca del 100% se encuentre este dato, mejor será la regresión lineal obtenida entre las dos duraciones. En el caso de la duración umbral, se van a realizar dos cambios significativos para mejorar la relación la duración estacionaria equivalente. El primero, aumentar el umbral de  $0,05a_{max}$  a  $0,1a_{max}$ . El segundo, eliminar del análisis los sismo de duraciones mayores de 40 segundos. Esta decisión viene tomada por que son los sismos que muestras un mayor error, y por tanto, lo más óptimo para el análisis es dejarlos fuera.

#### 5.2.2 Umbral $0,1a_{max}$

#### Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

duración umbral	
-0,8574	
Duración estacionaria equivalente	

Tabla 4. Matriz de correlación entre duración umbral y duración estacionaria equivalente

Como se observa en la tabla de la matriz de correlación, en este segundo caso, la duración umbra y la duración estacionaria equivalente están relacionadas en un 0.8574. Este dato es bastante significativo, lo que permite

seguir avanzando con el análisis ANOVA, y comprobar de que manera estos datos están relacionados.

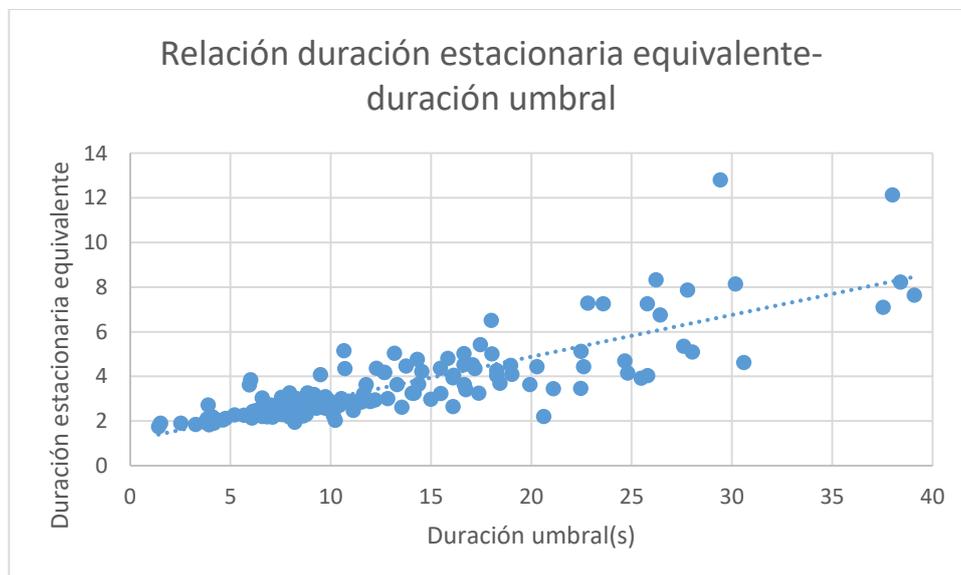


Figura 7. Gráfica de la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente

En la gráfica podemos observar que los datos se ajustan de manera bastante buena a la línea de tendencia que corresponde a una regresión lineal. Después de probar varios tipos de regresión, se observa que la regresión lineal es la más indicada para el análisis.

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	321,41	321,41	301,76	1·10 <sup>-5</sup>
Residuo	151,25	1,06		
Total (Corr.)	472,66			

Tabla 5. ANOVA de la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente

$R^2 = 68,00\%$

$R^2$  (ajustado) = 67,77%

La ecuación del modelo quedaría así:

$$T_{gs} = 1.11398 + 0.188511D_u \quad (12)$$

donde  $T_{gs}$  es la duración estacionaria equivalente, y  $D_u$  la duración umbral.

### Intervalos de confianza del 95,0% para las estimaciones de los coeficientes

Parámetro	Estimación	Error		
		Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
CONSTANTE	1,11	0,16	0,78	1,44
duración umbral	0,18	0,01	0,16	0,20

Tabla 6. Coeficientes para la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente

En este segundo análisis, se ha conseguido mejorar el parámetro estadístico  $R^2$  en un 23%. Esto quiere decir que los cambios realizados han mejorado la regresión lineal, y por tanto, la relación entre la duración umbral y la duración estacionaria equivalente. También se puede observar, que la relación sigue siendo válida para un intervalo de confianza del 95% ya que el Valor-P sigue siendo menor del 0,05.

## 5.3 Relación duración estacionaria equivalente- duración de la energía de Husid

### 5.3.1 90% de la Energía

#### Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

duración de la energía	
-0,7458	
duración estacionaria equivalente	

Tabla 7. Matriz de correlación entre la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente

Como se observa en la tabla, la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente, están relacionadas en un 0.7458 de los casos. Esto permite seguir avanzando en el análisis, y realizar un análisis ANOVA, para ver de que manera los datos obtenidos están relacionados entre si, ya que, se ha demostrado que los datos tienen una alta correlación entre ellos.

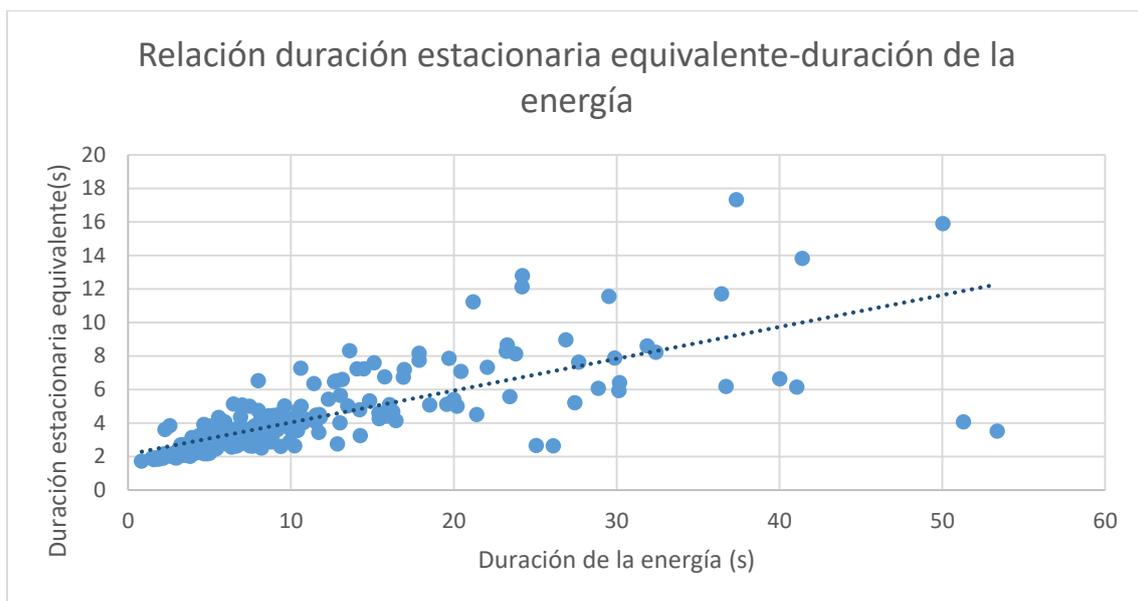


Figura 8. Gráfica de la relación entre la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente.

Como se observa en la imagen, se ha añadido una línea de tendencia que corresponde a una regresión lineal. Esta opción es la que mejor se ajusta a los datos, ya que se han estudiado otros tipos de regresiones, pero dejan fuera más datos que la regresión lineal. Una vez elegido el tipo de regresión que vamos a utilizar, se continúa con el análisis.

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	742,77	742,77	260,70	$1 \cdot 10^{-5}$
Residuo	609,71	2,84		
Total (Corr.)	1352,49			

Tabla 8. Análisis de Varianza de la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía

$$R^2 = 54,91\%$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 54,70 \%$$

La ecuación del modelo ajustado quedaría así:

$$T_{gs} = 2.15652 + 0.189428D_e \quad (13)$$

donde  $T_{gs}$  es la duración estacionaria equivalente y  $D_e$  es la duración de la energía.

En el análisis de varianza se observa que el Valor-P es 0,00001 es menor que 0,05, lo que nos permite afirmar que el análisis es bueno para unos intervalos de confianza del 95%

### Intervalos de confianza del 95,0% para las estimaciones de los coeficientes

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error</i>		
		<i>Estándar</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
CONSTANTE	2,15	0,17	1,81	2,49
D <sub>e</sub>	0,18	0,01	0,16	0,21

Tabla 9. Coeficientes para la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía

Al estudiar el parámetro estadístico  $R^2$  se observa que el ajuste puede ser mejorado, ya que, cuanto más cerca del 100% se encuentre este dato, mejor será la regresión lineal obtenida entre las dos duraciones. En el caso de la duración de la energía, se van a realizar un único cambio, y es que se van a eliminar los sismos de duración mayor a 40 segundos. Esto es debido a que, los sismos que sobrepasan esa duración muestran errores estadísticos que son convenientes eliminar de análisis principal.

### 5.3.2 90% Energía, corregida.

#### Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

duración de la energía	
-0,8175	
duración de la energía	

Tabla 10. Matriz de correlación para la relación de la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía

La correlación entre la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía es del 0.8175 tal y como se puede observar en la tabla que muestra la matriz de correlación entre ellas.

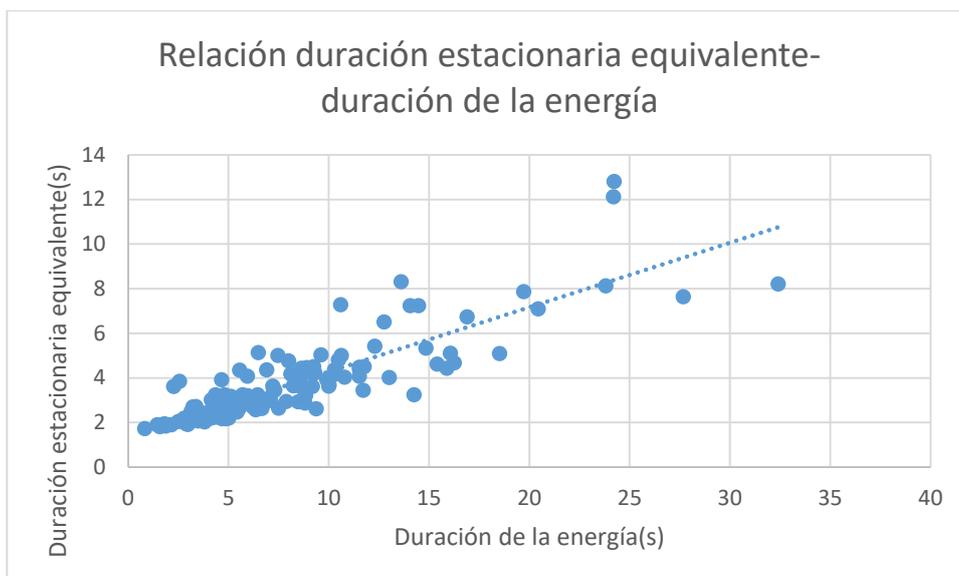


Figura 9. Gráfica de la relación de la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente

La imagen muestra la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía. A esta gráfica se le ha añadido una línea de tendencia correspondiente a una regresión lineal. Después de analizar varios tipos de regresión, se ha elegido la regresión lineal ya que es la que más se adapta a la relación entre los datos obtenidos en el programa. A continuación, se va a realizar un análisis ANOVA, para ver como se ajusta esta regresión lineal a los datos obtenidos.

### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	350,25	350,25	406,30	$1 \cdot 10^{-5}$
Residuo	122,41	0,86		
Total (Corr.)	472,66			

Tabla 11. Análisis de varianza de la relación entre la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente

$$R^2 = 74,10 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 73,91 \%$$

La ecuación del modelo quedaría así:

$$T_{gs} = 1.38898 + 0.289308D_e \quad (14)$$

donde  $T_{gs}$  es la duración estacionaria equivalente y  $D_e$  la duración de la energía.

### Intervalos de confianza del 95,0% para las estimaciones de los coeficientes

Parámetro	Estimación	Error		
		Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
CONSTANTE	1,38	0,13	1,12	1,65
$D_e$	0,28	0,014	0,26	0,31

Tabla 12. Coeficientes para la relación entre la duración de la energía y la duración estacionaria equivalente

En este segundo análisis, se ha conseguido mejorar el  $R^2$  en un 21%. Esto indica que las mejoras incluidas en este segundo análisis, aumentan de manera significativa la regresión lineal que correlaciona la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía. También se puede observar que el Valor-P sigue estando por debajo del 0,05, lo que nos asegura una buena relación para los intervalos de confianza del 95% entre las dos relaciones. Al igual que pasaba con la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración umbral, en este segundo análisis entre la duración estacionaria equivalente y la duración de la energía también existen sismos que muestran errores, pero no son tan significativos como para eliminarlos del modelo o que sean analizados de manera independiente.

## 5.4 Conclusiones para el uso de los resultados

Como ya se ha visto en el apartado de análisis estadístico, los datos han pasado por dos análisis, lo que hace que se escriban una serie de recomendaciones para la utilización de las relaciones entre duraciones obtenidas:

Relación duración estacionaria equivalente-duración umbral (11)

$$T_{gs} = 1.78752 + 0.0983682D_u$$

que es válida para:

- Distancia del epicentro, entre 10 y 200 km
- Magnitud entre 4 y 9
- Aceleración del terreno, entre 0.06g hasta mayor a 0.3g
- Umbral de 0,05

Relación duración estacionaria equivalente-duración umbral (12)

$$T_{gs} = 1.11398 + 0.188511D_u$$

- Duración total del sismo, menor de 40 segundos
- Distancia del epicentro, entre 10 y 200 km
- Magnitud entre 4 y 9
- Aceleración del terreno, entre 0.06g hasta mayor a 0.3g
- Umbral de 0,1

Relación duración estacionaria equivalente-duración de la energía (13)

$$T_{gs} = 2.15652 + 0.189428D_e$$

- Distancia del epicentro, entre 10 y 200 km
- Magnitud entre 4 y 9
- Aceleración del terreno, entre 0.06g hasta mayor a 0.3g
- 90% de la energía

Relación duración estacionaria equivalente-duración de la energía (14)

$$T_{gs} = 1.38898 + 0.289308D_e$$

- Duración total del sismo, menor de 40 segundos.
- Distancia del epicentro, entre 10 y 200 km
- Magnitud entre 4 y 9
- Aceleración del terreno, entre 0.06g hasta mayor a 0.3g
- 90% de la energía

Fuera de estas recomendaciones de uso, no se puede asegurar la validez de las relaciones obtenidas. También se recomienda, en la medida de lo posible, utilizar las relaciones obtenidas en el segundo análisis, ya que estas relacionan de mejor manera las dos duraciones con la duración estacionaria equivalente.

Gracias a estas relaciones, podemos relacionar la duración estacionaria equivalente con parámetros sísmicos utilizando como paso intermedio la relación entre la duración estacionaria equivalente y la duración umbral o la duración de la energía. Esto es debido a que se ha intentado lograr una relación de la duración estacionaria equivalente con parámetros sísmicos de manera directa, pero por el tiempo limitado de este proyecto y la dificultad, ha quedado abierta como posible línea de investigación.

## 6. Aplicación práctica

A continuación veremos un ejemplo práctico de los datos obtenidos en el programa en comparación con los obtenidos en la norma de construcción sismoresistente española vigente, NCSE-02. Para ello, analizaremos un terremoto típico europeo.

### 6.1 Parámetros sísmicos

Para el análisis se va a utilizar un modelo sismológico estacionario que se ha utilizado para modelizar algunos sismos europeos, por lo que es de esperar que se ajuste correctamente con los espectros normativos y empíricos del área sísmica europea. Como ya se ha comentado en el punto 3.1.2 se toma el modelo sismológico de fuente de Brune (1970) con las siguientes características:

- Magnitud: vamos a analizar la evolución en 3 casos, magnitud 5, 6 y 7.
- Tensión efectiva :  $\sigma=200$  bar
- Distancia hipocentral: 25km
- Densidad:  $\rho=2000$  kg/m<sup>3</sup>
- Frecuencia: 2Hz
- Tipo de suelo: Capa de tierra sobre roca

Utilizar este modelo sismológico, a parte de por su popularidad y su uso para la caracterización de sismos europeos, que son los que a nosotros nos compete es también por que se ajusta a los criterios de selección que se ha utilizado para escoger los sismo que se utilizaban de la base de datos. La distancia hipocentral entra dentro del rango propuesto en el trabajo, así como las magnitudes entre las que este modelo tiene validez.

Previamente a iniciar el cálculo del espectro de respuesta como tal, se deben realizar varios cálculos que caracterizan al sismo escogido.

## 6.2 Función de intensidad

En el capítulo 3, en el apartado 3.2 donde se aborda el funcionamiento del programa, se ha mencionado que para el cálculo del espectro de respuesta, se necesita utilizar una función de intensidad( $I(t)$ ), en el caso de este trabajo utilizaremos la expresión (1) de Saragoni y Hart (1974):

$$I(t) = k * t^n * e^{-k*t} \quad (15)$$

cuyos parámetros calcularemos para las distintas magnitudes para las que se realizará el análisis del espectro de respuesta.

Datos de la función de intensidad

Magnitud	n	k
5	1.25	1.03
6	1.25	0.68
7	1.25	0.35

Tabla 13. Datos para el cálculo de la función  $I(t)$

Estos son los parámetros que se introducen en el programa para el cálculo de la función de intensidad.

## 6.3 Duración estacionaria equivalente

A continuación, se va a calcular la duración estacionaria equivalente, para poder introducirla dentro del programa para el cálculo de espectros de respuesta.

En primer lugar, vamos a utilizar la expresión (6) de Dobry *et al* (1982) que ya se ha comentado en este trabajo, que relaciona la duración de la energía con parámetros sísmicos

$$D = 10^{(0.43M-1.83)} \quad (16)$$

Utilizando esta expresión, para los tres valores de magnitud que se va a analizar, se obtienen los siguientes resultados

<b>Duración de la energía</b>		
<b>Magnitud 5</b>	<b>Magnitud 6</b>	<b>Magnitud 7</b>
2.09	5.62	15.13

Tabla 14. Tabla de resultados de la duración de la energía

El siguiente paso, es calcular la duración estacionaria equivalente. Para ello utilizaremos la expresión (14) obtenida en este trabajo, que relaciona la duración de la energía con la duración umbral

$$T_{gs} = 1.38898 + 0.289308D_e \quad (17)$$

Sustituyendo  $D_e$  por los valores obtenidos de la duración de la energía en la expresión de Dolby *et al* obtenemos los siguientes resultados:

<b>Duración estacionaria equivalente</b>		
<b>Magnitud 5</b>	<b>Magnitud 6</b>	<b>Magnitud 7</b>
1.99	3.02	5.77

Tabla 15. Tabla de resultados de la duración estacionaria equivalente

Ahora que ya esta solucionado el problema del cálculo de la duración estacionaria equivalente, y ya se han obtenido los datos necesarios, pasamos a analizar los espectros de respuesta obtenidos.6.4 Análisis de los espectros de respuesta.

### 6.4.1 Magnitud 5

T	Rsa	Rsa,u
0	0.03	1
0.5	0.06	1.84
1	0.08	2.29
2	0.11	3.13
3	0.11	3.03
4	0.09	2.57
5	0.07	2.06
7.5	0.04	1.13
10	0.02	0.65
15	0.01	0.26
20	0.00	0.13
25	0.00	0.07
30	0.00	0.05

Tabla 16. Resultados del espectro de respuesta Magnitud 5

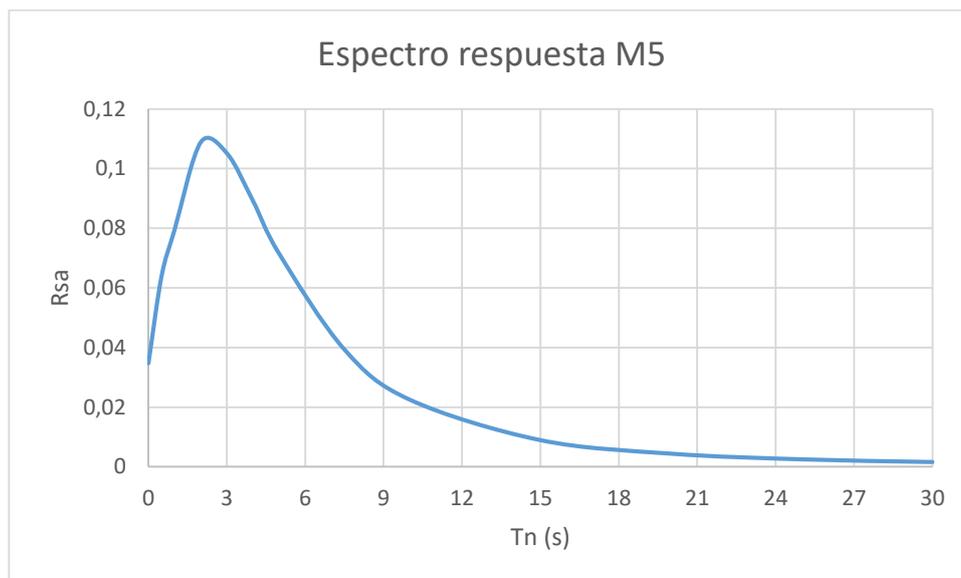


Figura 10. Espectro de respuesta para Magnitud 5

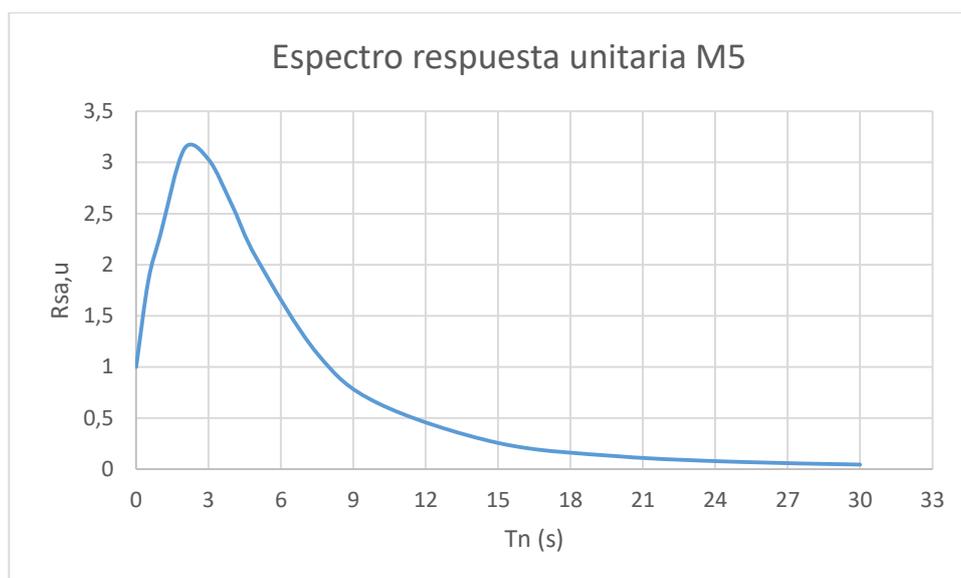


Figura 11. Espectro de respuesta unitario para Magnitud 5

Como se puede observar en la figura 1, para un periodo propio de 0, es decir, la aceleración del terreno. Este valor, 0.04 es el valor mínimo que contempla la norma para la construcción de estructuras en España. Esto demuestra que, cuando disminuya la rigidez del sistema, es más sensible a la aceleración, por tanto, para un periodo propio  $T_n=1$  la norma estaría fallando, ya que la aceleración de la estructura, sería mayor a la contemplada por la norma.

### 6.4.2 Magnitud 6

T	Rsa	Rsa,u
0	0.13	1.00
0.5	0.16	1.26
1	0.24	1.89
2	0.34	2.69
3	0.37	2.90
4	0.35	2.80
5	0.33	2.57
7.5	0.25	1.94
10	0.18	1.45
15	0.10	0.82
20	0.06	0.50
25	0.04	0.31
30	0.03	0.21

Tabla 17. Resultados del espectro de respuesta Magnitud 6

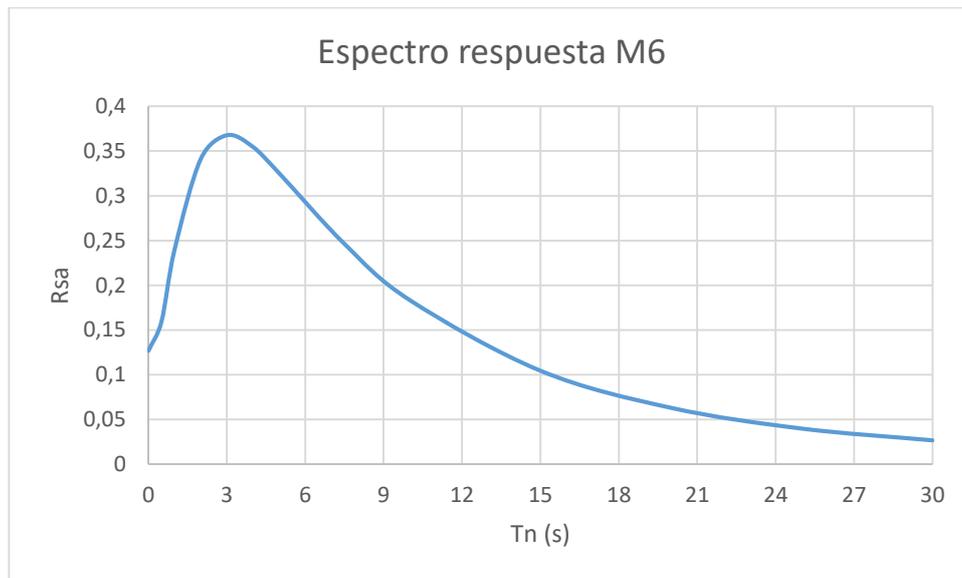


Figura 12. Gráfico del espectro de respuesta para Magnitud 6

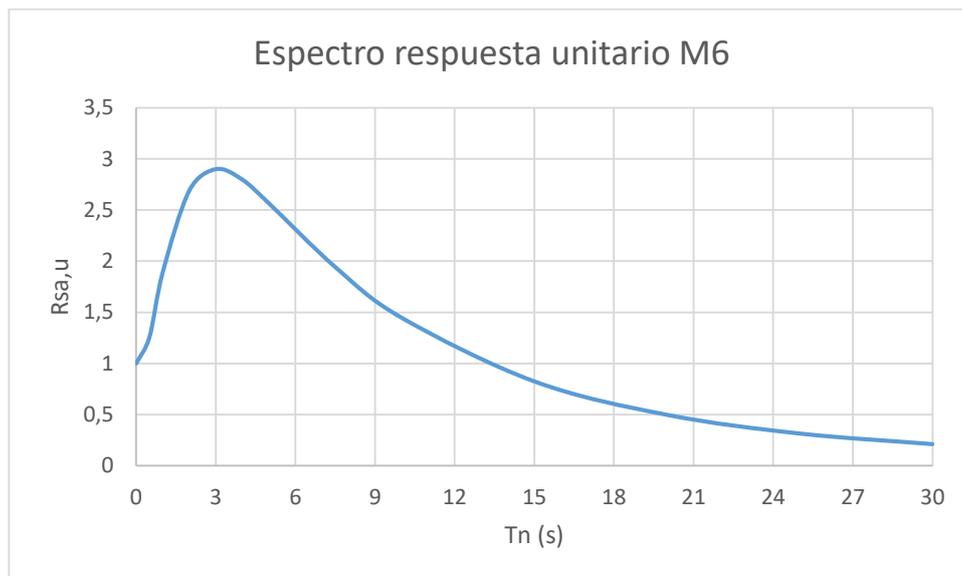


Figura 13. Espectro de respuesta unitario para Magnitud 6

En este caso, el valor de la aceleración del terreno, que nos muestra el gráfico, corresponde a 0.14. Esto en la norma NCSE-02, correspondería a zonas de alta actividad sísmica. Es decir, en la norma española, las zonas sísmicas, están calculadas para sismos de mayor magnitud y menor tiempo de retorno, lo que en España sería incorrecto ya que se sufren sismos de magnitud menor, con mayor periodo de retorno.

### 6.4.3 Magnitud 7

T	Rsa	Rsa,u
0	0.35	1
0.5	0.41	1.18
1	0.61	1.75
2	0.86	2.48
3	0.96	2.75
4	0.95	2.74
5	0.90	2.60
7.5	0.75	2.17
10	0.62	1.80
15	0.44	1.27
20	0.33	0.95
25	0.25	0.73
30	0.20	0.58

Tabla 18. Resultados del espectro de respuesta de Magnitud 7

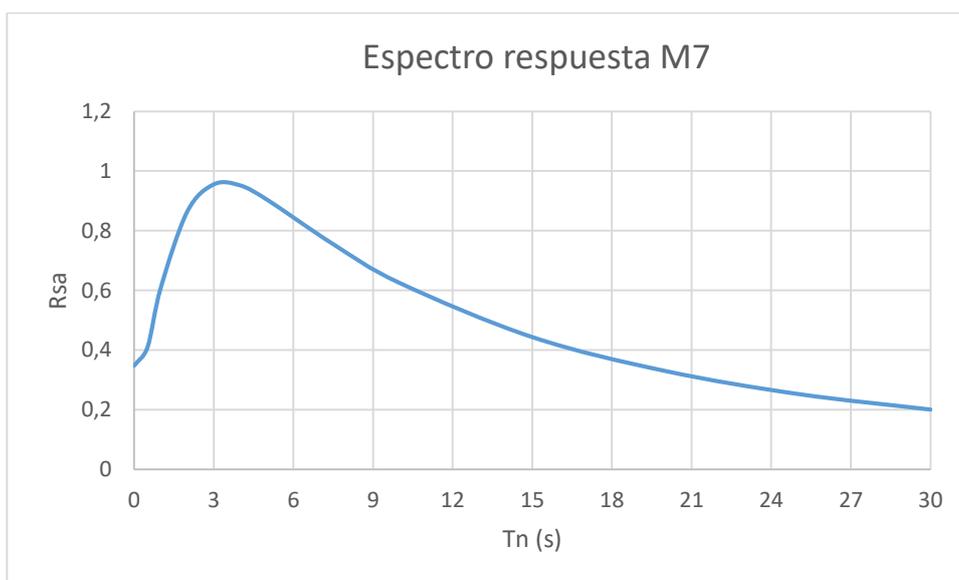


Figura 14. Espectro de respuesta de Magnitud 7

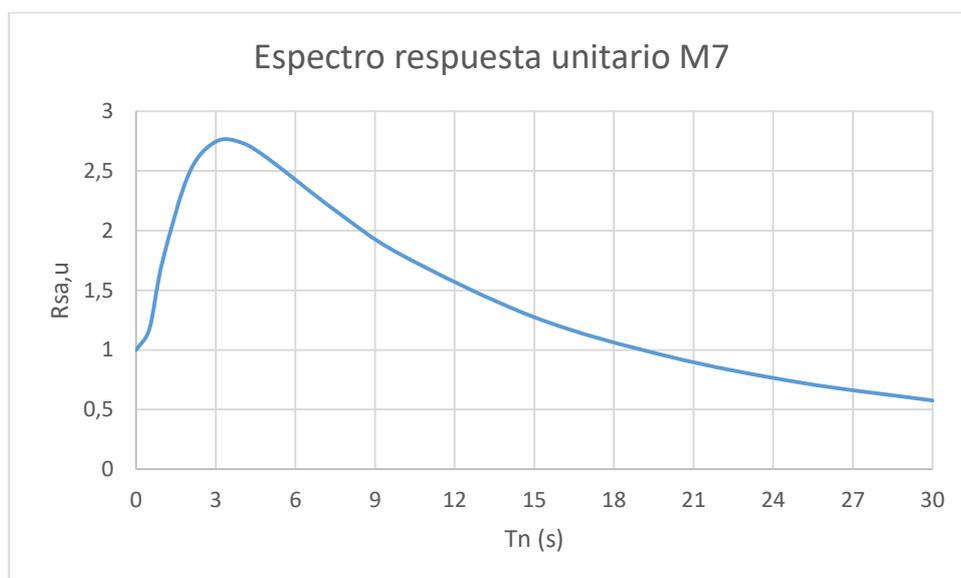


Figura 15. Espectro de respuesta unitario de Magnitud 7

En este caso, como se observa en el gráfico, 0.4 correspondería a la aceleración del terreno. España al ser una zona no sísmica no contempla este valor en su norma, ni tan siquiera en la zona de más alta actividad sísmica. También se puede observar, que el pico del espectro de respuesta, sobrepasa los 2,5 contemplados en la NCSE-02. Esto vuelve a confirmar, que la NCSE-02 está calculada con sismos de magnitudes muy altas.

#### 6.4.4 Comparativa entre magnitudes

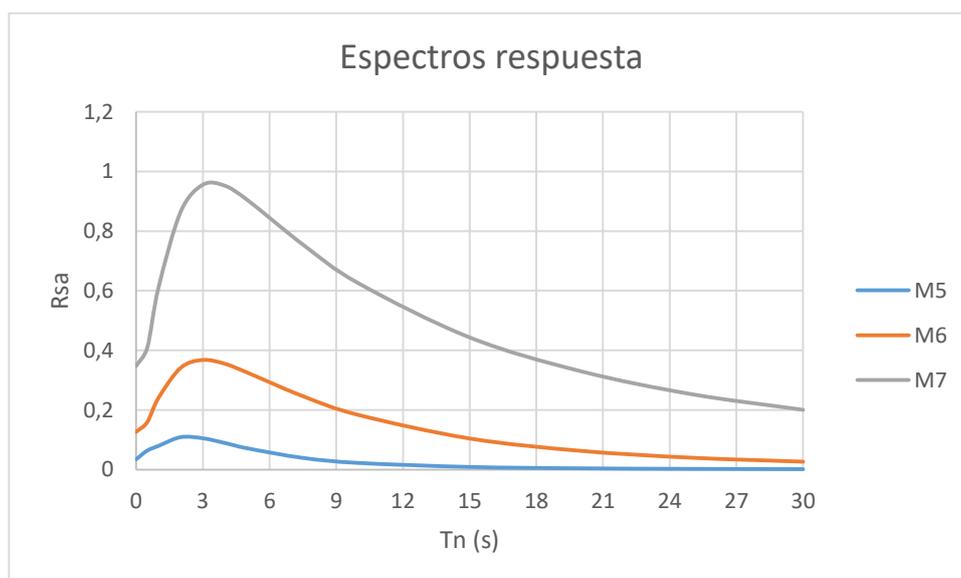


Figura 16. Comparativa entre los espectros de respuesta

Como se puede observar en esta gráfica comparativa entre las tres magnitudes, el pico del gráfico del espectro de respuesta se produce aproximadamente en el mismo momento en el tiempo. También se puede observar de manera muy clara, que el aumento de la magnitud produce un aumento de la aceleración pico del espectro. Otra característica que se puede observar, es que la parte descendiente del espectro de respuesta, se aleja hacia la derecha conforme aumenta la magnitud, es decir, que el sismo se mantiene durante más tiempos en valores más altos de aceleración.

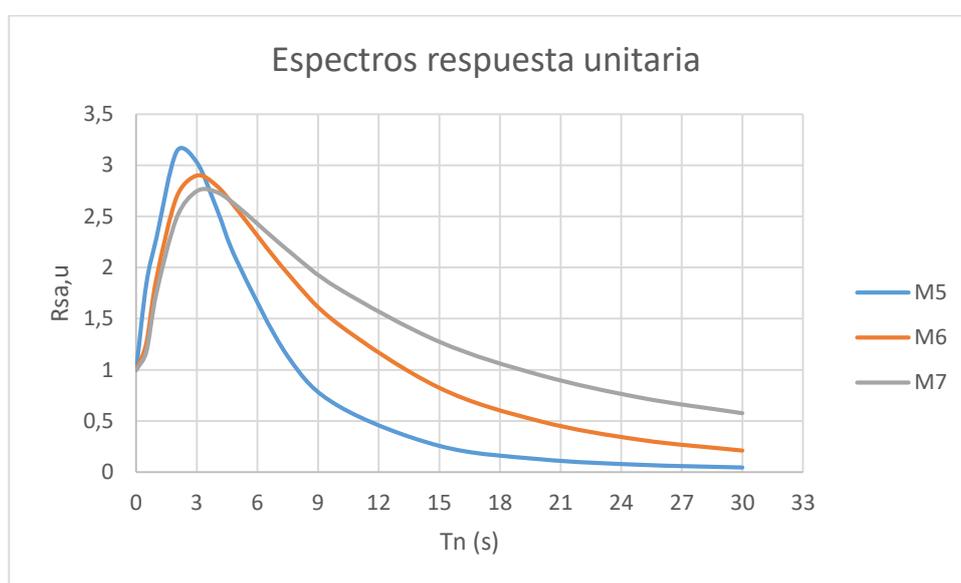


Figura 17. Comparativa entre los espectros de respuesta unitarios

Para poder realizar una mejor comparativa, se compara los gráficos de manera unitaria. Como se puede observar en este gráfico, al contrario que en el anterior, el pico más alto lo alcanza el sismo de magnitud 5. Esto demuestra, que en magnitudes pequeñas, el pico de respuesta se acerca a periodos propios más pequeños. Como ya se ha observado en el anterior gráfico, la parte atenuante del espectro de respuesta se alarga en el tiempo, conforme aumenta la magnitud, es decir, las aceleraciones tardan más en disminuir su valor a lo largo del tiempo. Por tanto, los sismos con mayor magnitud, podrán sufrir aceleraciones mayores, durante mayor tiempo. Todo esto, reafirma la teoría de que, la NCSE-02, ha utilizado para su definición, sismos de zonas del mundo con una alta actividad sísmica, con sismos de una magnitud elevada, que son justamente los menos frecuentes en España. La herramienta que

proporciona este trabajo, se ajusta de manera más realista a la actividad sísmica de cada región.

## 6.5 Conclusiones

Después de la realización de todo el trabajo podemos llegar a las siguientes conclusiones

1. Se ha obtenido una relación válida entre las duraciones umbral y de la energía ya presente en la bibliografía con la duración estacionaria equivalente, pudiendo así relacionar de manera indirecta la duración estacionaria equivalente con parámetros sísmicos, que es lo que le da un mayor valor al programa de cálculo de espectros de respuesta sísmica.
2. Gracias a ello, podemos completar un programa informático para el cálculo de espectros de respuesta de manera precisa y realista a los parámetros y características que puede tener un sismo. Con el desarrollo de este programa, se pueden mejorar las indicaciones de construcción que se encuentran en la norma vigente de construcción NCSE-02, así como también el programa puede servir para obtener sismos sintéticos para suplir así la falta de datos en algunas zonas de actividad sísmica baja.
3. Si se desarrollara por parte de un informático una interfaz amigable para facilitar la utilización del programa por parte del usuario, el programa podría llegar a comercializarse, llegando así a aplicarse para la determinación de espectros de respuesta para el cálculo de estructuras. De esta manera, se lograría ajustar la construcción de la estructura a un caso real, obteniendo mayor garantía de resistencia de la estructura contra el sismo.

## 7. Presupuesto

Para realizar el presupuesto de este programa, se va a tener en cuenta el número de horas invertidas en la programación y el análisis y recopilación de datos. A ello habría que añadirle el coste de la creación de una interfaz de fácil utilización para el usuario, para su próxima comercialización. Al no desarrollarse dentro de un entorno profesional, tampoco se ha tenido en cuenta el coste de las licencias de Matlab (utilizado para el cálculo de las duraciones) y Statgraphics (utilizado para el análisis de datos), así como tampoco se ha contabilizado la utilización y amortización de equipos. El coste del precio/hora ha sido estimado por comparación de sueldos en diferentes empresas.

Nº de horas de trabajo en programación.....	320h
Nº de horas de preparación de archivos.....	120h
Nº de horas de análisis de datos.....	40h
Coste de trabajo/hora.....	20€/h

Coste total:  $(320+120+40)h \cdot 20€/h = 9600€$



## 8. Bibliografía

- Web del European Strong Motion Database  
[http://www.isesd.hi.is/ESD\\_Local/frameset.htm](http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm)
- Hadi Ghofrani & Gail M. Atkinson “Duration of the 2011 Tohoku earthquake ground motions” *J Seismol* (2015) 19:9–25 DOI 10.1007/s10950-014-9447-y, 2013
- Ferrer Ballester, Ignacio “Simulación estocástica de espectros sísmicos de respuesta cinemática a partir de modelos sismológicos no estacionarios.”, *Tesis Doctoral*, 2009.
- Norma de construcción sismoresistente española NCSE-02  
<https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0222>
- Eduardo Reinoso y Mario Ordaz “Duration of strong ground motion during Mexican earthquakes in terms of magnitude, distance to the rupture area and dominant site period”(1999) *Earthquake engineering and structural dynamic* 2001 30:653-673 p657, 2001
- CR. Sánchez-Carratalá e I. Ferrer “Caracterización geomecánica no estacionaria de los movimientos sísmicos del terreno” *VII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas*, Gandia (2002)
- I. Ferrer CR. Sánchez-Carratalá “Efficient estimation of the peak factor for the stochastic characterization of structural response to non-stationary ground motions” *Structural Safety* (2016)
- Centro nacional de información geográfica  
<http://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-terremotos/>



## Anexo I

Código de programación en Matlab para el cálculo de duraciones.

```
clear all

clc
close all

ficheros = dir('sis_*.m');
%Le pide al usuario el valor de umbral a utilizar
umbral=input('Introduce valor umbral : ')

for i = 1:length(ficheros)

    run(['.\' ficheros(i).name]);

    tamaño=size(a);
    l=0;
    for j=1:1:tamaño(1,1)
        for k=1:1:tamaño(1,2)
            l=l+1;
            b(l)=a(j,k);
        end
    end

    b_aux=b(1:length(t));

    clear b

    b=b_aux;
    clear b_aux

%DURACION UMBRAL

    %valor maximo de a
    vmaxb=max(abs(b));
    %valor decidido por bibliografía: umbral
    u=umbral*vmaxb;

    %Primer punto de corte del umbral con el sismograma
    k=1;
    while abs(b(k))<u
        k=k+1;
    end;
    t0=k*deltat;

    %Ultimo punto de corte del umbral con el sismograma
    k=length(b);
    while abs(b(k))<u
        k=k-1;
    end;
    t1=k*deltat;
```

```
%Calculo de la duracion umbral
tu=t1-t0;

%DURACION DE LA ENERGIA
H(1)=0;
for k=2:1:length(b);
    H(k)=H(k-1)+b(k)*b(k)*deltat;
end;

H_u=H/max(H);

%5 por ciento Intesidad de Arias
k=1;
while H_u(k)<0.05;
    k=k+1;
end;
t_05=k*deltat;

%95 por ciento Intesidad de Arias
k=1;
while H_u(k)<0.95;
    k=k+1;
end;
t_95=k*deltat;

%Duración de Husid
t_hu=t_95-t_05;

%Duración estacionaria
eRMS=envolventeRMS(b);
plot(t,b,t,eRMS,'LineWidth',3);
grid on;
axis tight;

%erms_unit

eRMS_unit= eRMS/max(eRMS);

Tgs=0

for k=1:1:length(eRMS_unit);
Tgs=Tgs+eRMS_unit(k)*eRMS_unit(k)*deltat;
end;

%Guardar datos
resultados{i,1} = ficheros(i).name;
resultados{i,2} = tu;
resultados{i,3} = t_hu;
resultados{i,4} = Tgs;
```

```
resultados{i,5} = I;  
resultados{i,6} = de;  
resultados{i,7} = ag;
```

```
clearvars -except ficheros umbral i resultados
```

```
end
```

```
save('resultados','resultados');  
xlswrite('resultados.xlsx',resultados);
```



## Anexo II

Listado de sismos utilizados para los cálculos

Fecha	Nombre	Magnitud	Estación	Tipo de suelo	Distancia epicentro	$a_g$
1. 24/11/1976	Caldiran	7Mw	Maku	stiffsoil	52	0,956
2. 30/08/1986	Vrancea	7,2Mw	Bacau	unknown	123	0,884
3. 20/06/1990	Manjil	7,4Mw	Eshtehard (Bakhshdari)	soft soil	162	0,726
4. 22/11/1995	Gulf of Akaba	7,1Mw	Eilat	stiff soil	93	0,894
5. 17/08/1999	Izmit	7,6Mw	Botas-Gas Terminal	stiff soil	172	0,974
6. 16/09/1978	Tabas	7,3Mw	Bajestan	stiff soil	159	1,858
7. 30/08/1986	Vrancea	7,2Mw	Bucharest-Magurele	unknown	134	1,355
8. 20/06/1990	Manjil	7,4Mw	Gachsar	stiff soil	194	1,033
9. 10/05/1997	Ardakul	7,2Mw	Khaf	unknown	81	1,048
10. 17/08/1999	Izmit	7,6Mw	Bursa-Tofa Fabrikasi	soft soil	92	0,991
11. 12/11/1999	Duzce 1	7,2Mw	LDEO Station No. C1058 BV	stiff soil	11	1,091
12. 04/03/1977	Bucharest	7,5Mw	Bucharest-Building Research Institute	very soft soil	161	1,976
13. 20/06/1990	Manjil	7,4Mw	Abhar	soft soil	91	2,047
14. 17/08/1999	Izmit	7,6Mw	Ambarli-Termik Santrali	very soft soil	113	2,58
15. 12/11/1999	Duzce 1	7,2Mw	IRIGM Station No. 487	unknown	22	2,902
16. 16/09/1978	Tabas	7,3Mw	Dayhook	rock	12	3,779
17. 30/08/1986	Vrancea	7,2Mw	Petresti-Focsani	unknown	75	2,97
18. 20/06/1990	Manjil	7,4Mw	Abbar	unknown	39	5,904
19. 17/08/1999	Izmit	7,6Mw	Duzce-Meteoroloji Mudurlugu	soft soil	100	3,542
20. 12/11/1999	Duzce	7,2Mw	Bolu-Bayindirlik ve Iskan Mudurlugu	soft soil	39	7,8
21. 06/05/1976	Friuli	6,5Mw	Tolmezzo-Diga Ambiesta	rock	23	3,499
22. 17/05/1976	Gazli	6,7Mw	Karakyr Point	very soft soil	11	7,065
23. 15/09/1976	Friuli (aftershock)	6Mw	Breginj-Fabrika IGLI	stiff soil	21	4,95
24. 15/04/1979	Montenegro	6,9Mw	Bar-Skupstina Opstine	stiff soil	16	3,68
25. 23/11/1980	Campano Lucano	6,9Mw	Sturno	rock	32	3,166
26. 24/02/1981	Alkion	6,6Mw	Korinthos-OTE Building	soft soil	20	3,03
27. 13/03/1992	Erzincan	6,6Mw	Erzincan-Meteorologij Mudurlugu	stiff soil	13	5,028
28. 15/06/1995	Aigion	6,5Mw	Aigio-OTE Building	stiff soil	16	5,299
29. 28/02/1997	Sarein	6,1Mw	Kariq	unknown	24	5,493
30. 26/09/1997	Umbria Marche	6Mw	Nocera Umbra	stiff soil	11	5,13
31. 09/07/1998	Faial	6,1Mw	Horta	Soft soil	11	4,12
32. 06/05/1999	Kareba	6,2Mw	Dehbal	unknown	28	3,559

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

33. 07/09/1999	Ano Liosia	6Mw	Athens 3(Kallithea District)	Stiff soil	16	3,012
34. 17/06/2000	South Iceland	6,5 Mw	Hella	Stiff soil	15	4,677
35. 21/06/2000 12 3,839	South Iceland (aftershock)	6,4Mw	Kaldarholt	Stiff soil	12	3,839
36. 22/06/2002	Avej	6,5Mw	Avaj (Bakhshdari)	Rock	28	4,374
37. 01/05/2003	Bingol	6,3Mw	Bingol-Bayindirlik Murlugu	rock	14	5,051
38. 21/05/2003	Boumerdes	6,8Mw	Dar El beida	unknonwn	41	5,397
39. 26/12/2003	Bam	6,6Mw	Bam-Governor's Office	stiff soil	11	7,885
40. 28/05/2004	Kojur-Firoozabad	6,3Mw	Hasan Keyf	unknown	47	8,414
41. 22/02/2005	Dahoeiye h-Zarand (Kerman)	6,4Mw	Shirinrood Dam	unknown	15	4,618
42. 15/09/1976	Friuli (aftershock)	6Mw	Forgaria-Cornio	stiff soil	14	2,586
43. 15/04/1979	Montenegro	6,9Mw	Hercegnovi Novi-O.S.D. Pavicic School	rock	65	2.509
44. 24/05/1979	Montenegro (aftershock)	6,2Mw	Bar-Skupstina Opstine	stiff soil	33	2,652
45. 23/11/1980	Campano Lucano	6,9Mw	Brienza	stiff soil	43	2,224
46. 24/02/1981	Alkion	6,6Mw	Athens-OTE Building	rock	79	2,132
47. 13/05/1995	Kozani	6,5Mw	Kozani-Prefecture	rock	17	2,039
48. 27/06/1998	Adana	6,3Mw	Ceyhan-Tarim Ilce Mudurlugu	soft soil	30	2,644
49. 07/09/1999	Ano Liosia	6Mw	Athens-Sepolia (Metro Station)	stiff soil	14	2,38
50. 17/06/2000	South Iceland	6,5Mw	Selsund	stiff soil	21	2,732
51. 21/05/2003	Boumerdes	6,8Mw	Air Algerie (CATAAH) (S/N 6966)	unknown	49	1,977
52. 28/05/2004	Kojur-Firoozabad	6,3Mw	Moalem Kelayeh	unknown	104	2,842
53. 22/02/2005	Dahoeiye h-Zarand (Kerman)	6,4Mw	Qadrooni Dam	unknown	26	2,116
54. 15/09/1976	Friuli (aftershock)	6Mw	Kobarid-Osn.Skola	stiff soil	33	1,201
55. 15/04/1978	Basso Tirreno	6Mw	Naso	stiff soil	18	1,493
56. 20/06/1978	Volvi	6,2Mw	Thessaloniki-City Hotel	soft soil	29	1,43
57. 24/05/1979	Montenegro (aftershock)	6,2Mw	Kotor-Zovod za Biologiju Mora	stiff soil	22	1,487
58. 23/11/1980	Campano Lucano	6,9Mw	Bagnoli-Irpino	rock	23	1,776
59. 25/02/1981	Alkion	6,3Mw	Korinthos-OTE Building	soft soil	25	1,176
60. 17/01/1983	Kefallinia island	6,9Mw	Argostoli-OTE Building	stiff soil	30	1,671

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

61. 06/08/1983	Off coast of Magion Oros península	6,6Mw	Ouranoupolis-Seismograph Station	rock	76	1,066
62. 30/10/1983	Panisler	6,6Mw	Horasan-Meteoroloji Mudurlugu	stiff soil	33	1,575
63. 07/12/1988	Spitak	6,7Mw	Gukasian	soft soil	36	1,796
64. 30/05/1990	Vrancea	6,9Mw	Bacau	unknown	82	1,32
65. 21/12/1990	Griva	6,1Mw	Edessa-Prefecture	stiff soil	36	0,987
66. 15/06/1991	Racha (aftershock)	6Mw	Iri	stiff soil	40	1,097
67. 15/06/1995	Aigion	6,5Mw	Amfissa-OTE Building	alluvium	24	1,826
68. 04/02/1997	Bojnurd	6,5Mw	Ashkhaneh	unknown	39	1,03
69. 28/02/1997	Sarein	6,1Mw	Ardebil	unknown	28	1,138
70. 26/09/1997	Umbria Marche	6Mw	Assisi-Stallone	rock	21	1,83
71. 13/10/1997	Kalamata	6,4Mw	Koroni-Town Hall (Library) rock	48	1,184	
72. 18/11/1997	Strofades	6,6Mw	Zakynthos-OTE Building	stiff soil	38	1,289
73. 27/06/1998	Adana	6,3Mw	Mersin-Meteoroloji Mudurlugu	stiff soil	80	1,259
74. 06/05/1999	Karebas	6,2Mw	Khanzaynoo	unknown	23	1,558
75. 07/09/1999	Ano Liosia	6Mw	Athens 2 (Chalandri District)	stiff soil	20	1,582
76. 17/06/2000	South Iceland	6,5Mw	Hveragerdi-Church	rock	41	1,07
77. 21/06/2000	South Iceland (aftershock)	6,4Mw	Hella	stiff soil	21	1,618
78. 03/02/2002	Ishakli	6,5Mw	Afyon-Bayindirlik ve Iskan Mudurlugu	soft soil	66	1,106
79. 22/06/2002	Avej	6,5Mw	Abgarm (Mokhaberat)	unknown	33	1,242
80. 21/05/2003	Boumerdes	6,8Mw	Azazga	unknown	73	1,198
81. 26/12/2003	Bam	6,6Mw	Abaragh	unknown	53	1,735
82. 28/05/2004	Kojur-Firoozabad	6,3Mw	Chaboksar	unknown	121	1,398
83. 22/02/2005	Dahoeiye h-Zarand (Kerman)	6,4Mw	Ravar	unknown	59	1,168
84. 06/05/1976	Friuli	6,5Mw	Codroipo	stiff soil	42	0,86
85. 15/09/1976	Friuli (aftershock)	6Mw	Codroipo	stiff soil	39	0,701
86. 24/11/1976	Caldiran	7Mw	Maku	stiff soil	52	0,956
87. 15/04/1978	Basso Tirreno	6Mw	Milazzo	rock	34	0,728
88. 15/04/1979	Montenegro	6,9Mw	Debar-Skupstina Opstine	very soft soil	139	0,599
89. 24/05/1979	Montenegro (aftershock)	6,2Mw	Hercegnovi Novi-O.S.D. Pavicic School	rock	30	0,754

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

90.	23/11/1980	Campano Lucano	6,9Mw	Bisaccia	rock	26	0,903
91.	17/01/1983	Kefallinia island	6,9Mw	Lefkada-Hospital	soft soil	104	0,641
92.	25/05/1987	Mt. Vatnafjoll	6Mw	Kaldarholt	stiff soil	35	0,598
93.	30/05/1990	Vrancea	6,9Mw	Bucharest Armeneasca	unknown	167	0,739
94.	31/05/1990	Vrancea	6,3Mw	Bacau	unknown	85	0,845
95.	15/06/1991	Racha (aftershock)	6Mw	Oni	stiff soil	50	0,704
96.	13/03/1992	Erzincan	6,6Mw	Refahiye-Kaymakamlik Binasi	stiff soil	76	0,691
97.	06/11/1992	Izmir	6Mw	Kusadasi-Meteoroloji Mudurlugu	stiff soil	41	0,801
98.	23/05/1994	South Aegean	6,1Mw	Heraklio-Technical University	stiff soil	45	0,598
99.	01/09/1994	Bitola	6,1Mw	Florina-Cultural Center	rock	39	0,795
100.	15/06/1995	Aigion	6,5Mw	Mornos Dam-Damfoot	rock	20	0,716
101.	01/10/1995	Dinar	6,4Mw	Cardak-Saglik Ocagi	stiff soil	51	0,595
102.	04/02/1997	Bojnurd	6,5Mw	Raz	unknown	39	0,951
103.	28/02/1997	Sarein	6,1Mw	Helabad	unknown	38	0,76
104.	26/09/1997	Umbria Marche	6Mw	Bevagna	stiff soil	23	0,773
105.	18/11/1997	Strofades	6,6Mw	Koroni-Town Hall (Library)	rock	136	0,907
106.	07/09/1999	Ano Liosia	6Mw	Athens-Ayia Paraskevi (Demokritos)	rock	23	0,732
107.	17/06/2000	South Iceland	6,5Mw	Burfell-Hydroelectric Power Station	rock	29	0,885
108.	22/06/2002	Avej	6,5Mw	Abhar	soft soil	60	0,726
109.	28/05/2004	Kojur-Firoozabad	6,3Mw	Baraqan	unknown	72	0,929
110.	22/02/2005	Dahooeiye h-Zarand (Kerman)	6,4Mw	Chatrood	unknown	15	0,934
111.	29/05/2008	Olfus	6,3Mw	Thjorsarbru	rock	20	0,954
112.	02/12/1967	Debar (aftershock)	5,2Mb	Debar (temporary station)	unknown	30	0,649
113.	17/06/1976	Friuli (aftershock)	5,2Mw	Maiano-Ascensore	stiff soil	21	0,9
114.	11/09/1976	Friuli (aftershock)	5,3Mw	Kobarid-Osn.Skola	stiff soil	33	0,96
115.	5/09/1976	Friuli (aftershock)	6Mw	Codroipo	stiff soil	39	0,701
116.	16/09/1977	Friuli (aftershock)	5,4Mw	Tolmezzo-Base Diga	rock	11	0,91
117.	11/03/1978	Calabria	5,2Mw	Ferruzzano	rock	10	0,762
118.	15/04/1978	Basso Tirreno	6Mw	Milazzo	rock	34	0,728

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

119.	09/ 04/1979	Montenegro	5,4Mw		Ulcinj-Hotel Albatros	rock	15	0,596
120.	15/ 04/1979	Montenegro (aftershock)	5,8Mw		Bar-Skupstina Opstine	stiff soil	41	0,813
121.	19/ 09/1979	Valnerina	5,8Mw		Arquata del Tronto	rock	22	0,87
122.	11/ 08/1980	Almiros (aftershock)	5,2Mw		Almiros Volos-Town Hall	stiff soil	14	0,705
123.	08/ 11/1980	El Asnam (aftershock)	5,2Mw		Beni Rashid	rock	18	0,946
124.	10/ 03/1981	Preveza	5,4Mw		Lefkada-OTE Building	soft soil	42	0,971
125.	23/ 07/1981	Urmiya	5,8Mw		Farmondari	soft soil	22	0,707
126.	13/ 08/1981	NE of Banja Luka	5,7Mw		Banja Luka-Seismograph Station	rock	10	0,74
127.	17/ 01/1983	Kefallinia (aftershock)	5,3Mw		Argostoli-OTE Building	stiff soil	13	0,75
128.	19/ 01/1983	Kefallinia (aftershock)	5,8Mw		Argostoli-OTE Building	stiff soil	14	0,786
129.	29/ 04/1984	Umbria	5,6Mw		Gubbio	rock	17	0,655
130.	07/ 05/1984	Lazio Abruzzo	5,9Mw		Garigliano-Centrale Nucleare 1	very soft soil	45	0,609
131.	04/ 10/1984	Near SE coast of Zakynthos island	5Mw		Zakynthos-OTE Building	stiff soil	17	0,774
132.	31/ 08/1985	Near coast of Preveza	5,2Mw		Lefkada-Hospital	soft soil	21	0,727
133.	09/ 11/1985	Drama	5,2Mw		Drama-Prefecture	stiff soil	19	0,834
134.	25/ 05/1987	Mt. Vatnafjoll	6Mw		Kaldarholt	stiff soil	35	0,598
135.	22/ 05/1988	Etolia	5,4Mw		Valsamata-Seismograph Station	rock	21	0,788
136.	05/ 05/1990	Potenza	5,8Mw		Brienza	stiff soil	28	0,944
137.	27/ 11/1990	Dinara Mt. (aftershock)	5,3Ms	5,	Ricice Dam	rock	57	0,673
138.	16/ 12/1990	Javakheti Highland	5,4Mw		Toros	rock	24	0,653
139.	03/ 05/1991	Racha (aftershock)	5,6Mw		Oni	stiff soil	17	0,767
140.	15/ 06/1991	Racha (aftershock)	6Mw		Oni	stiff soil	50	0,782
141.	13/ 12/1990	Sicilia-Orientale	5,6Mw		Noto	rock	51	0,885
142.	30/ 05/1992	Mataranga	5,2Mw		Patra-National Bank	stiff soil	34	0,762
143.	06/ 11/1992	Izmir	6Mw		Kusadasi-Meteoroloji Mudurlugu	stiff soil	41	0,801
144.	18/ 11/1992	Tithorea	5,9Mw		Mornos Dam-Crest	rock	39	0,889

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

145.	29/ 11/1994	Off coast of Levkas island	5,1Mw	Lefkada-Hospital	soft soil	17	0,749
146.	01/ 12/1994	Off coast of Levkas island	5,3Mw	Vasiliki-Town Hall	stiff soil	19	0,807
147.	26/ 04/1997	Strofades (foreshock)	5Mw	Kyparrisia-Agriculture Bank	rock	26	0,638
148.	26/ 09/1997	Umbria Marche	5,7Mw	Castelnuovo-Assisi	soft soil	25	0,978
149.	03/ 10/1997	Umbria Marche (aftershock)	5,3Mw	Assisi-Stallone	rock	19	0,898
150.	06/ 10/1997	Umbria Marche (aftershock)	5,5Mw	Gubbio-Piana	stiff soil	38	0,711
151.	12/ 10/1997	Umbria Marche (aftershock)	5,2Mw	Nocera Umbra	stiff soil	26	0,742
152.	14/ 10/1997	Umbria Marche (aftershock)	5,6Mw	Annifo	rock	16	0,596
153.	31/ 08/1999	Izmit (aftershock)	5,1Mw	LDEO Station No. B1060 PT	rock	71	0,601
154.	07/ 09/1999	Ano Liosia	6Mw	Athens-Ayia Paraskevi (Demokritos)	rock	23	0,732
155.	13/ 09/1999	Izmit (aftershock)	5,8Mw	Adapazari A.Babalioglu Evi	very soft soil	26	0,867
156.	29/ 09/1999	Izmit (aftershock)	5,2Mw	Bahcecik-Seymen Kislasi	unknown	49	0,915
157.	31/ 10/1999	Pol-e-Abgineh	5,2Mw	Dehbala	unknown	12	0,593
158.	17/ 06/2000	South Iceland (aftershock)	5,7Mb	Flagbjarnarholt	rock	11	0,93
159.	17/ 09/1972	Kefallinia island	5,6Mw	Kefallinia	rock	31	1,705
160.	30/ 10/1972	Kefallinia island (aftershock)	5,04Ms	Kefallinia	rock	19	1,661
161.	11/ 12/1973	Azores	5Ms	Sao Luzia (Pico)	unknown	14	1,726
162.	07/ 05/1976	Friuli (aftershock)	2Mw	5, Tolmezzo-Diga Ambiesta	rock: 7	2 1,247	
163.	11/ 09/1976	Friuli (aftershock)	5,3Mw	Breginj-Fabrika IGLI	stiff soil	21	1,701
164.	15/ 04/1978	Basso Tirreno	6Mw	Naso	stiff soil	18	1,493
165.	04/ 07/1978	Volvi	5,12Ms	Thessaloniki-City Hotel	s oft soil	16	1,125
166.	10/ 03/1981	Preveza	5,4Mw	Preveza-OTE Building	stiff soil	28	1,402
167.	19/ 03/1983	Heraklio	5,6Mw	Heraklio-Prefecture	stiff soil	40	1,782

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

168.	26/ 08/1983	Ierissos	5,1Mw	Ouranoupolis- Seismograph Station	rock	15	1,273
169.	29/ 04/1984	Umbria	5,6Mw	Pietralunga	rock	27	1,846
170.	07/ 05/1984	Lazio Abruzzo	5,9Mw	Cassino-Sant' Elia	soft soil	16	1,444
171.	11/ 05/1984	Lazio Abruzzo (aftershock)	5,5Mw	Atina-Pretura Primo Piano	rock	15	1,714
172.	25/ 10/1984	Kremidia (aftershock)	5Mw	Pelekanada-Town Hall	rock	16	1,766
173.	10/ 06/1987	Kalamata (aftershock)	5,3Mw	Kyparrisia-Agriculture Bank	rock	17	1,116
174.	18/ 05/1988	Etolia	5,3Mw	Valsamata- Seismograph Station	rock	23	1,73
175.	16/ 10/1988	Kyllini	5,9Mw	Amaliada-OTE Building	stiff soil	36	1,531
176.	07/ 12/1988	Spitak (aftershock)	5,8Ms	Gukasian	soft soil	36	1,446
177.	20/ 08/1990	Manjil (aftershock)	5Ms	Barorud	unknown	17	1,348
178.	27/ 11/1990	Dinara Mt.	5,5Mw	Ricice Dam	rock	56	1,179
179.	13/ 12/1990	Sicilia- Orientale	5,6Mw	Sortino	rock	29	1,03
180.	16/ 12/1990	Javakheti Highland	5,4Mw	Bavra	Stiff soil	29	1,154
181.	15/ 06/1991	Racha (aftershock)	6Mw	Iri	stiff soil	40	1,097
182.	15/ 03/1992	Pulumur	5,2Mw	Erzincan-Eksisu	soft soil	26	1,125
183.	18/ 11/1992	Tithorea	5,9Mw	Amfissa-OTE Building	alluvium	30	1,016
184.	26/ 03/1993	Pyrgos	5,4Mw	Amaliada-OTE Building	stiff soil	24	1,121
185.	13/ 06/1993	Mouzakaika	5,3Mw	Lefkada-OTE Building	soft soil	48	1,428
186.	14/ 07/1993	Patras	5,6Mw	Patra-National Bank	stiff soil	10	1,879
187.	04/ 05/1995	Arnaia	5,3Mw	Poligiros-Prefecture	rock	28	1,426
188.	17/ 05/1995	Kozani (aftershock)	5,3Mw	Chromio-Community Building	stiff soil	16	1,29
189.	14/ 08/1996	Cerkes (aftershock)	5,6Mw	Merzifon-Meteoroloji Mudurlugu	soft soil	13	1,002
190.	22/ 01/1997	Harbiye	5,7Mw	Hatay-Bayindirlik ve Iskan Mudurlugu	stiff soil	19	1,45
191.	26/ 09/1997	Umbria Marche	5,7Mw	Assisi-Stallone	rock	24	1,513
192.	29/ 10/1989	Chenoua	5,9Mw	Cherchell	soft soil	29	2,83
193.	13/ 12/1990	Sicilia- Orientale	5,6Mw	Catania-Piana	soft soil	24	2,483

Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

194.	23/ 01/1992	Kefallinia island	5,6Mw	Argostoli-OTE Building	stiff soil	14	2,223
195.	20/ 06/1994	Firuzabad	5,9Mw	Firoozabad	stiff soil	22	2,728
196.	19/ 05/1995	Kozani (aftershock)	5,2Mw	Karpero-Town Hall	stiff soil	16	2,601
197.	03/ 10/1997	Umbria Marche (aftershock)	5,3Mw	Nocera Umbra	stiff soil	10	2,792
198.	04/ 11/1973	Ionian	5,8Mw	Lefkada-OTE Building	soft soil	15	5,146
199.	19/ 08/1976	Denizli	5,11Ms	Denizli-Bayindirlik ve Iskan Mudurlugu	stiff soil	15	3,386
200.	13/ 05/1975	Xilokastro	4,6Mb	Xilokastro-OTE Building	soft soil	17	0,705
201.	07/ 06/1980	Toscana	4,33Ms	Barga	stiff soil	15	0,593
202.	22/ 10/1980	El Asnam (aftershock)	4,26Ms	El Safsaf	rock	18	0,64
203.	26/ 08/1986	Holt	4,6Mw	Hella	stiff soil	14	0,695
204.	03/ 04/1988	Gulf of Corinth	4,5Mw	Korinthos-Town Hall	stiff soil	19	0,597
205.	04/ 01/1994	Strait of Gibraltar	4,9Mw	Adra-Refugio de la Plaza	rock	25	0,596
206.	14/ 01/1994	Ionian	4,54Ms	Zakynthos-Town Hall	stiff soil	19	0,86
207.	04/ 10/2000	Denizli	4Ms	Denizli-Bayindirlik ve Iskan Mudurlugu	stiff soil	13	0,662
208.	14/ 02/2002	Carnia	4,7Mw	Gemona-Scugelars	soft soil	15	0,88
209.	14/ 07/1993	Patras (aftershock)	4,6Mw	Patra-National Bank	stiff soil	11	0,78
210.	20/ 02/1983	Kyllini (foreshock)	4,9Mw	Argostoli-OTE Building	stiff soil	84	0,67
211.	13/ 03/1984	Pap (aftershock)	4,3Mb	Sir-Dar'ja	Stiff soil	11	0,638
212.	27/ 08/1990	Imotski-Grude	4,6ML	Ricice Dam	rock	260	0,728
213.	10/ 05/1991	Racha (aftershock)	4Ms	Zemo Bari	stiff soil	11	0,651
214.	25/ 06/1995	Aigion (aftershock)	4,1Mw	Patra-San Dimitrios Church	stiff soil	12	0,686
215.	13/ 11/1999	Duzce 1 (aftershock)	4,5Ms	LDEO Station No. C1059 FP	unknown	13	0,63
216.	04/ 03/2000	Azores	4,6Mw	Sao Sebastiao (Terceira)	unknown	50	0,653
217.	14/ 12/2002	Koclu	4,8Ms	Andirin-Tufanpassa Ilkokulu	rock	14	0,754

## Anexo III

### Estructura archivos análisis

```
EC=63;
    SC=14;
    WC=129;
    deltat=0.010000 ;
    n=3056;
    dur=30.550;

a=[0.18665E-01  0.51536E-01  0.73108E-01  0.71280E-01  0.77206E-01  0.10428E+00
  0.11694E+00  0.70478E-01 -0.13497E-01 -0.64862E-01 -0.63796E-01 -0.48336E-01
-0.45116E-01 -0.47230E-01 -0.48504E-01 -0.54195E-01 -0.65390E-01 -0.76254E-01
-0.87481E-01 -0.10391E+00 -0.12209E+00 -0.13109E+00 -0.11998E+00 -0.82373E-01
-0.24722E-01  0.29583E-01  0.55540E-01  0.47472E-01  0.19770E-01 -0.77128E-02
-0.21275E-01 -0.18641E-01 -0.95914E-02 -0.42184E-02 -0.30717E-02 -0.25315E-02
-0.45038E-02 -0.11643E-01 -0.21619E-01 -0.31618E-01 -0.40531E-01 -0.39244E-01
-0.14115E-01  0.31432E-01  0.69571E-01  0.76972E-01  0.58279E-01  0.32214E-01
  0.35089E-02 -0.32825E-01 -0.65658E-01 -0.66353E-01 -0.24653E-01  0.31297E-01
  0.64859E-01  0.71553E-01  0.73081E-01  0.82508E-01  0.91267E-01  0.88823E-01
  0.75413E-01  0.52828E-01  0.19168E-01 -0.17540E-01 -0.37593E-01 -0.31513E-01
-0.11344E-01  0.77202E-02  0.21576E-01  0.27153E-01  0.14382E-01 -0.14721E-01
-0.34924E-01 -0.26629E-01 -0.68582E-02 -0.64905E-02 -0.25661E-01 -0.37534E-01
-0.29681E-01 -0.16000E-01 -0.92538E-02 -0.61413E-02 -0.13737E-02  0.34811E-02
  0.97127E-02  0.23131E-01  0.41668E-01  0.53595E-01  0.52574E-01  0.43498E-01
  0.30722E-01  0.10236E-01 -0.19624E-01 -0.49425E-01 -0.68540E-01 -0.77034E-01
-0.80407E-01 -0.80591E-01 -0.78816E-01 -0.78843E-01 -0.78480E-01 -0.65885E-01
-0.36362E-01 -0.46306E-02  0.11042E-01  0.11139E-01  0.81751E-02  0.83123E-02
  0.91805E-02  0.90219E-02  0.78400E-02  0.69748E-02  0.10770E-01  0.21576E-01
  0.32721E-01  0.35665E-01  0.31669E-01  0.27505E-01  0.25846E-01  0.30534E-01
  0.47837E-01  0.68249E-01  0.63470E-01  0.23403E-01 -0.19931E-01 -0.28475E-01
-0.52242E-02  0.17072E-01  0.21028E-01  0.13487E-01  0.23182E-03 -0.17737E-01
-0.27400E-01 -0.11187E-01  0.22980E-01  0.42634E-01  0.28587E-01 -0.41574E-02
-0.30443E-01 -0.43993E-01 -0.50726E-01 -0.50347E-01 -0.42880E-01 -0.40978E-01
-0.50352E-01 -0.48619E-01 -0.13536E-01  0.38420E-01  0.72620E-01  0.84430E-01
  0.92768E-01  0.10051E+00  0.99231E-01  0.10027E+00  0.11419E+00  0.11133E+00
  0.57275E-01 -0.22305E-01 -0.69221E-01 -0.76099E-01 -0.81851E-01 -0.99081E-01
-0.10582E+00 -0.10282E+00 -0.11591E+00 -0.14327E+00 -0.15253E+00 -0.13434E+00
-0.11122E+00 -0.95472E-01 -0.76760E-01 -0.48350E-01 -0.12627E-01  0.30413E-01
  0.77793E-01  0.12285E+00  0.17111E+00  0.23333E+00  0.28959E+00  0.29758E+00
  0.24792E+00  0.17862E+00  0.11935E+00  0.63728E-01  0.85524E-02 -0.22801E-01
-0.16989E-01  0.61641E-02  0.17665E-01 -0.12237E-02 -0.65397E-01 -0.16604E+00
-0.24345E+00 -0.23481E+00 -0.16207E+00 -0.11247E+00 -0.11993E+00 -0.11940E+00
-0.48074E-01  0.69835E-01  0.16694E+00  0.22099E+00  0.24253E+00  0.22942E+00
  0.17845E+00  0.11784E+00  0.78153E-01  0.56509E-01  0.35689E-01  0.16883E-01
  0.80887E-02  0.42086E-02  0.30451E-02  0.12000E-01  0.19600E-01 -0.76079E-02
-0.76126E-01 -0.14687E+00 -0.18146E+00 -0.17919E+00 -0.15654E+00 -0.12124E+00
-0.81842E-01 -0.56425E-01 -0.56223E-01 -0.69930E-01 -0.71720E-01 -0.39334E-01
  0.19703E-01  0.60364E-01  0.42140E-01 -0.14143E-01 -0.47644E-01 -0.31295E-01
  0.73328E-02  0.35871E-01  0.46189E-01  0.42282E-01  0.37219E-01  0.57740E-01
  0.10721E+00  0.13938E+00  0.10628E+00  0.21835E-01 -0.63786E-01 -0.11754E+00
-0.12522E+00 -0.74259E-01  0.19902E-01  0.10887E+00  0.15894E+00  0.17625E+00
  0.16670E+00  0.11942E+00  0.41619E-01 -0.35683E-01 -0.10068E+00 -0.16217E+00
-0.21180E+00 -0.22948E+00 -0.22292E+00 -0.21660E+00 -0.21166E+00 -0.19255E+00
-0.15764E+00 -0.11286E+00 -0.55775E-01  0.52483E-02  0.48667E-01  0.73917E-01
  0.10316E+00  0.12559E+00  0.97448E-01  0.13886E-01 -0.65654E-01 -0.92369E-01
-0.79678E-01 -0.67264E-01 -0.69466E-01 -0.75493E-01 -0.70443E-01 -0.45516E-01
-0.73765E-02  0.19754E-01  0.16267E-01 -0.12624E-01 -0.47311E-01 -0.71411E-01
-0.70730E-01 -0.38439E-01  0.15867E-01  0.76858E-01  0.14007E+00  0.19369E+00
  0.20432E+00  0.15057E+00  0.62933E-01 -0.40167E-02 -0.27344E-01 -0.19957E-01
  0.42579E-02  0.35621E-01  0.55998E-01  0.50680E-01  0.24338E-01 -0.12405E-01
-0.56056E-01 -0.99391E-01 -0.12882E+00 -0.14025E+00 -0.14127E+00 -0.13280E+00
```

## Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

```
-0.10889E+00 -0.72157E-01 -0.31832E-01 0.60622E-02 0.29626E-01 0.18079E-01
-0.27934E-01 -0.76587E-01 -0.10059E+00 -0.10257E+00 -0.92226E-01 -0.68267E-01
-0.36623E-01 -0.13690E-01 -0.38098E-02 0.50924E-02 0.16101E-01 0.28867E-01
0.54600E-01 0.98853E-01 0.14099E+00 0.16211E+00 0.16658E+00 0.15398E+00
0.10661E+00 0.28799E-01 -0.41199E-01 -0.82182E-01 -0.11091E+00 -0.13228E+00
-0.12486E+00 -0.90533E-01 -0.68570E-01 -0.72924E-01 -0.76405E-01 -0.61592E-01
-0.42983E-01 -0.26035E-01 0.56730E-03 0.30596E-01 0.42667E-01 0.44136E-01
0.66004E-01 0.11265E+00 0.15565E+00 0.17925E+00 0.19219E+00 0.19795E+00
0.18707E+00 0.16340E+00 0.14638E+00 0.14213E+00 0.13498E+00 0.11354E+00
0.86896E-01 0.69076E-01 0.62155E-01 0.56607E-01 0.42191E-01 0.15386E-01
-0.13263E-01 -0.24291E-01 -0.31489E-02 0.44786E-01 0.98436E-01 0.13302E+00
0.13696E+00 0.11779E+00 0.94240E-01 0.76746E-01 0.63682E-01 0.54894E-01
0.55248E-01 0.60540E-01 0.56273E-01 0.39286E-01 0.22008E-01 0.55107E-02
-0.31106E-01 -0.97216E-01 -0.16520E+00 -0.19685E+00 -0.18152E+00 -0.13595E+00
-0.78283E-01 -0.17443E-01 0.37807E-01 0.68797E-01 0.59143E-01 0.15222E-01
-0.28940E-01 -0.42143E-01 -0.23828E-01 0.45386E-03 0.10671E-01 0.26318E-02
-0.19310E-01 -0.44152E-01 -0.53550E-01 -0.41598E-01 -0.26489E-01 -0.27520E-01
-0.39707E-01 -0.46399E-01 -0.42978E-01 -0.35201E-01 -0.26811E-01 -0.19963E-01
-0.16764E-01 -0.12652E-01 -0.23845E-02 0.67697E-02 0.23595E-02 -0.13123E-01
-0.29627E-01 -0.46560E-01 -0.58478E-01 -0.42263E-01 0.67454E-02 0.41639E-01
0.12378E-01 -0.60753E-01 -0.10472E+00 -0.83991E-01 -0.34226E-01 -0.30993E-02
0.31184E-03 -0.54574E-02 -0.32398E-02 0.14925E-01 0.43366E-01 0.62694E-01
0.58305E-01 0.39269E-01 0.28453E-01 0.39651E-01 0.71177E-01 0.11014E+00
0.13204E+00 0.11384E+00 0.58403E-01 -0.41554E-02 -0.46218E-01 -0.60644E-01
-0.52110E-01 -0.28706E-01 -0.66419E-02 -0.36665E-02 -0.22162E-01 -0.47794E-01
-0.67331E-01 -0.76321E-01 -0.75421E-01 -0.68912E-01 -0.64113E-01 -0.64047E-01
-0.64746E-01 -0.61897E-01 -0.54000E-01 -0.39748E-01 -0.20632E-01 -0.49995E-02
0.31278E-02 0.15278E-01 0.42978E-01 0.75005E-01 0.89768E-01 0.86318E-01
0.81478E-01 0.81155E-01 0.77969E-01 0.76767E-01 0.91544E-01 0.11026E+00
0.94182E-01 0.31754E-01 -0.36384E-01 -0.70113E-01 -0.78586E-01 -0.90404E-01
-0.10560E+00 -0.11008E+00 -0.11017E+00 -0.11663E+00 -0.11439E+00 -0.85661E-01
-0.44742E-01 -0.13745E-01 0.14875E-01 0.52868E-01 0.77520E-01 0.62871E-01
0.30864E-01 0.28806E-01 0.63495E-01 0.95192E-01 0.95451E-01 0.77279E-01
0.64000E-01 0.55917E-01 0.35186E-01 -0.10185E-01 -0.74260E-01 -0.13565E+00
-0.17492E+00 -0.19063E+00 -0.19751E+00 -0.20492E+00 -0.20551E+00 -0.18959E+00
-0.15972E+00 -0.12449E+00 -0.86275E-01 -0.46924E-01 -0.13894E-01 0.82280E-02
0.24577E-01 0.40948E-01 0.57133E-01 0.72909E-01 0.89335E-01 0.10125E+00
0.98432E-01 0.76904E-01 0.40282E-01 -0.81169E-02 -0.62436E-01 -0.10704E+00
-0.12564E+00 -0.11946E+00 -0.10472E+00 -0.92367E-01 -0.75990E-01 -0.48112E-01
-0.18115E-01 -0.73691E-02 -0.20284E-01 -0.37298E-01 -0.39751E-01 -0.33941E-01
-0.31840E-01 -0.25768E-01 -0.97260E-03 0.35817E-01 0.62704E-01 0.68967E-01
0.58824E-01 0.41947E-01 0.31512E-01 0.37587E-01 0.52313E-01 0.59528E-01
0.63708E-01 0.85704E-01 0.12709E+00 0.16121E+00 0.16669E+00 0.14438E+00
0.10121E+00 0.42682E-01 -0.15293E-01 -0.53282E-01 -0.70361E-01 -0.80011E-01
-0.89871E-01 -0.98451E-01 -0.10734E+00 -0.11942E+00 -0.12998E+00 -0.13061E+00
-0.12289E+00 -0.11688E+00 -0.11623E+00 -0.10899E+00 -0.77371E-01 -0.20227E-01
0.36853E-01 0.65771E-01 0.66408E-01 0.58593E-01 0.51569E-01 0.41967E-01
0.35952E-01 0.45663E-01 0.62573E-01 0.61913E-01 0.38019E-01 0.97595E-02
-0.10480E-01 -0.26436E-01 -0.35054E-01 -0.24317E-01 0.44288E-03 0.13680E-01
0.39465E-02 -0.94978E-02 -0.49270E-02 0.14179E-01 0.28946E-01 0.31488E-01
0.28991E-01 0.29936E-01 0.34533E-01 0.38135E-01 0.36007E-01 0.26943E-01
0.15658E-01 0.88188E-02 0.81279E-02 0.11863E-01 0.23495E-01 0.50349E-01
0.84327E-01 0.97635E-01 0.72024E-01 0.29235E-01 0.70353E-02 0.13352E-01
0.22289E-01 0.16600E-01 0.58354E-02 0.48329E-04 -0.58319E-02 -0.12297E-01
-0.82019E-02 0.67925E-02 0.15794E-01 0.10305E-01 0.70450E-03 -0.28585E-02
-0.26417E-02 0.17358E-02 0.15264E-01 0.30675E-01 0.29778E-01 0.87936E-02
-0.16606E-01 -0.33486E-01 -0.42437E-01 -0.48196E-01 -0.47717E-01 -0.34731E-01
-0.58565E-02 0.33708E-01 0.73251E-01 0.10175E+00 0.11436E+00 0.10933E+00
0.87597E-01 0.58928E-01 0.39289E-01 0.33874E-01 0.32727E-01 0.27831E-01
0.21588E-01 0.15971E-01 0.77522E-02 -0.17447E-02 -0.90587E-02 -0.18816E-01
-0.35116E-01 -0.46932E-01 -0.42427E-01 -0.30694E-01 -0.28814E-01 -0.31374E-01
-0.15452E-01 0.26626E-01 0.76512E-01 0.11181E+00 0.12310E+00 0.11439E+00
0.98846E-01 0.94070E-01 0.11150E+00 0.14266E+00 0.16059E+00 0.14006E+00
0.84610E-01 0.22553E-01 -0.24772E-01 -0.63791E-01 -0.10345E+00 -0.13191E+00
-0.13565E+00 -0.12612E+00 -0.12205E+00 -0.12223E+00 -0.11733E+00 -0.11168E+00
-0.11091E+00 -0.10550E+00 -0.89836E-01 -0.79281E-01 -0.87314E-01 -0.10112E+00
```

-0.10052E+00 -0.84625E-01 -0.64552E-01 -0.42227E-01 -0.11596E-01 0.28130E-01  
0.65142E-01 0.80237E-01 0.63014E-01 0.29323E-01 0.10490E-01 0.22905E-01  
0.54895E-01 0.86772E-01 0.10619E+00 0.10559E+00 0.82073E-01 0.46167E-01  
0.13525E-01 -0.10934E-01 -0.27990E-01 -0.31364E-01 -0.18181E-01 -0.22549E-02  
0.50905E-03 -0.80348E-02 -0.17829E-01 -0.26371E-01 -0.33777E-01 -0.36090E-01  
-0.34737E-01 -0.35723E-01 -0.34961E-01 -0.22651E-01 -0.54432E-02 -0.54364E-03  
-0.32212E-02 0.96104E-02 0.40504E-01 0.65821E-01 0.76234E-01 0.83681E-01  
0.84726E-01 0.57858E-01 0.78536E-02 -0.29621E-01 -0.42112E-01 -0.52784E-01  
-0.71215E-01 -0.78455E-01 -0.72406E-01 -0.72184E-01 -0.76209E-01 -0.70160E-01  
-0.68450E-01 -0.85649E-01 -0.93609E-01 -0.72266E-01 -0.55991E-01 -0.63171E-01  
-0.56318E-01 -0.31903E-01 -0.39163E-01 -0.63334E-01 -0.39624E-01 -0.17522E-02  
-0.26423E-01 -0.57870E-01 -0.14500E-01 0.21221E-01 -0.22268E-01 -0.23312E-01  
0.70484E-01 0.64813E-01 -0.10184E+00 -0.64539E-01 0.35593E+00 0.70063E+00  
0.47820E+00 -0.17808E-02 -0.16755E+00 -0.16767E-01 0.46034E-01 -0.47229E-01  
-0.81964E-01 -0.27208E-01 -0.22624E-01 -0.51876E-01 -0.11264E-01 0.46823E-01  
0.32734E-01 0.46041E-02 0.31341E-01 0.57271E-01 0.33488E-01 0.12805E-01  
0.35982E-01 0.71427E-01 0.96506E-01 0.12265E+00 0.13975E+00 0.12995E+00  
0.11318E+00 0.11382E+00 0.11449E+00 0.91454E-01 0.56987E-01 0.35477E-01  
0.30383E-01 0.33995E-01 0.40512E-01 0.41467E-01 0.25275E-01 -0.13754E-01  
-0.69905E-01 -0.12282E+00 -0.14354E+00 -0.12274E+00 -0.87873E-01 -0.75983E-01  
-0.91969E-01 -0.11461E+00 -0.12883E+00 -0.13275E+00 -0.12220E+00 -0.95041E-01  
-0.64646E-01 -0.51256E-01 -0.60735E-01 -0.80606E-01 -0.92513E-01 -0.83939E-01  
-0.56695E-01 -0.27248E-01 -0.12213E-01 -0.12380E-01 -0.17643E-01 -0.22811E-01  
-0.27492E-01 -0.27499E-01 -0.20442E-01 -0.13863E-01 -0.14793E-01 -0.16840E-01  
-0.95841E-02 0.74966E-02 0.28049E-01 0.48237E-01 0.63776E-01 0.69036E-01  
0.65317E-01 0.61506E-01 0.62032E-01 0.65594E-01 0.72268E-01 0.80884E-01  
0.82796E-01 0.74013E-01 0.62180E-01 0.52862E-01 0.39945E-01 0.21617E-01  
0.56104E-02 -0.70044E-02 -0.23992E-01 -0.42554E-01 -0.51278E-01 -0.55443E-01  
-0.71888E-01 -0.96387E-01 -0.10616E+00 -0.98895E-01 -0.94864E-01 -0.99974E-01  
-0.98449E-01 -0.82443E-01 -0.62366E-01 -0.49131E-01 -0.45861E-01 -0.51527E-01  
-0.57732E-01 -0.52015E-01 -0.36420E-01 -0.27431E-01 -0.27710E-01 -0.20245E-01  
0.14402E-02 0.21469E-01 0.30024E-01 0.35592E-01 0.43998E-01 0.48221E-01  
0.50040E-01 0.62309E-01 0.83779E-01 0.91695E-01 0.70347E-01 0.25655E-01  
-0.27114E-01 -0.71275E-01 -0.88298E-01 -0.76273E-01 -0.63235E-01 -0.78229E-01  
-0.10984E+00 -0.11959E+00 -0.92680E-01 -0.53829E-01 -0.28489E-01 -0.15415E-01  
-0.79068E-03 0.17457E-01 0.31565E-01 0.35577E-01 0.29877E-01 0.19350E-01  
0.11975E-01 0.17204E-01 0.39617E-01 0.71354E-01 0.90529E-01 0.78653E-01  
0.39607E-01 -0.35117E-02 -0.33516E-01 -0.51760E-01 -0.65801E-01 -0.76911E-01  
-0.83079E-01 -0.84654E-01 -0.80344E-01 -0.68365E-01 -0.52578E-01 -0.40551E-01  
-0.34363E-01 -0.30238E-01 -0.23659E-01 -0.97201E-02 0.15584E-01 0.44841E-01  
0.59637E-01 0.50973E-01 0.32106E-01 0.20468E-01 0.19959E-01 0.26096E-01  
0.36479E-01 0.47164E-01 0.51449E-01 0.50096E-01 0.54254E-01 0.71299E-01  
0.96094E-01 0.11867E+00 0.12960E+00 0.11785E+00 0.82927E-01 0.47160E-01  
0.38481E-01 0.55577E-01 0.70105E-01 0.61092E-01 0.33641E-01 0.22234E-02  
-0.26137E-01 -0.48564E-01 -0.62743E-01 -0.70978E-01 -0.79549E-01 -0.88518E-01  
-0.92237E-01 -0.87431E-01 -0.76290E-01 -0.61059E-01 -0.43381E-01 -0.27527E-01  
-0.19198E-01 -0.18070E-01 -0.16593E-01 -0.10050E-01 -0.56139E-02 -0.12553E-01  
-0.24072E-01 -0.21497E-01 -0.15621E-02 0.14539E-01 0.77017E-02 -0.17754E-01  
-0.46295E-01 -0.69134E-01 -0.80485E-01 -0.76871E-01 -0.66675E-01 -0.62090E-01  
-0.56284E-01 -0.32597E-01 0.12631E-02 0.16442E-01 0.58362E-02 -0.24023E-02  
0.14133E-01 0.43732E-01 0.61245E-01 0.58243E-01 0.42393E-01 0.22571E-01  
0.40105E-02 -0.90843E-02 -0.12109E-01 -0.59234E-02 0.11391E-02 0.13155E-02  
-0.14610E-02 -0.83268E-03 -0.32071E-02 -0.21910E-01 -0.53225E-01 -0.77848E-01  
-0.86030E-01 -0.82869E-01 -0.69226E-01 -0.41841E-01 -0.10260E-01 0.10247E-01  
0.20103E-01 0.29329E-01 0.36918E-01 0.36539E-01 0.33753E-01 0.37339E-01  
0.42557E-01 0.42405E-01 0.42797E-01 0.51379E-01 0.63105E-01 0.71828E-01  
0.80497E-01 0.90078E-01 0.92578E-01 0.85362E-01 0.76794E-01 0.74954E-01  
0.82028E-01 0.98128E-01 0.11488E+00 0.11603E+00 0.97713E-01 0.77965E-01  
0.69171E-01 0.58221E-01 0.31777E-01 0.38062E-02 -0.31996E-02 0.12231E-01  
0.36474E-01 0.57635E-01 0.62002E-01 0.35962E-01 -0.13346E-01 -0.54591E-01  
-0.64537E-01 -0.50191E-01 -0.34093E-01 -0.29451E-01 -0.34245E-01 -0.38489E-01  
-0.34929E-01 -0.26326E-01 -0.20701E-01 -0.20646E-01 -0.22411E-01 -0.23243E-01  
-0.22071E-01 -0.17471E-01 -0.11354E-01 -0.92474E-02 -0.12301E-01 -0.17923E-01  
-0.28458E-01 -0.47574E-01 -0.69633E-01 -0.85148E-01 -0.91183E-01 -0.86632E-01  
-0.73105E-01 -0.66080E-01 -0.83042E-01 -0.10532E+00 -0.89073E-01 -0.28172E-01  
0.26475E-01 0.36426E-01 0.21460E-01 0.16893E-01 0.26169E-01 0.38753E-01

```
0.56146E-01 0.76423E-01 0.84834E-01 0.77930E-01 0.73210E-01 0.80514E-01
0.89164E-01 0.91646E-01 0.95539E-01 0.10307E+00 0.10139E+00 0.80002E-01
0.45719E-01 0.14537E-01 -0.18315E-02 -0.32750E-02 0.13886E-02 0.37214E-02
0.40446E-02 0.65890E-02 0.11136E-01 0.14994E-01 0.19676E-01 0.27525E-01
0.36450E-01 0.43249E-01 0.48277E-01 0.51727E-01 0.52454E-01 0.51541E-01
0.51417E-01 0.50202E-01 0.44934E-01 0.38584E-01 0.36378E-01 0.37090E-01
0.36386E-01 0.35216E-01 0.36671E-01 0.36428E-01 0.25926E-01 0.34415E-02
-0.22901E-01 -0.43054E-01 -0.50243E-01 -0.42997E-01 -0.25722E-01 -0.70552E-02
0.64141E-02 0.14612E-01 0.22303E-01 0.31853E-01 0.39679E-01 0.42482E-01
0.44386E-01 0.52223E-01 0.64834E-01 0.75202E-01 0.81369E-01 0.86943E-01
0.91739E-01 0.92604E-01 0.90449E-01 0.86999E-01 0.79196E-01 0.68559E-01
0.67674E-01 0.84413E-01 0.10551E+00 0.11129E+00 0.97894E-01 0.72929E-01
0.39184E-01 -0.44336E-03 -0.32353E-01 -0.43853E-01 -0.39131E-01 -0.32550E-01
-0.30786E-01 -0.31049E-01 -0.30707E-01 -0.30713E-01 -0.31808E-01 -0.32949E-01
-0.32015E-01 -0.26763E-01 -0.17520E-01 -0.80903E-02 -0.10160E-02 0.41686E-02
0.33349E-02 -0.15741E-01 -0.59316E-01 -0.11242E+00 -0.14636E+00 -0.14645E+00
-0.12621E+00 -0.11253E+00 -0.11906E+00 -0.13791E+00 -0.15045E+00 -0.14506E+00
-0.12769E+00 -0.11539E+00 -0.11683E+00 -0.12406E+00 -0.12789E+00 -0.13066E+00
-0.13482E+00 -0.13096E+00 -0.11290E+00 -0.93672E-01 -0.86599E-01 -0.81653E-01
-0.63455E-01 -0.41666E-01 -0.39102E-01 -0.56365E-01 -0.74550E-01 -0.81528E-01
-0.76574E-01 -0.56960E-01 -0.24496E-01 0.46120E-02 0.15732E-01 0.16088E-01
0.20625E-01 0.27724E-01 0.27815E-01 0.25102E-01 0.29999E-01 0.38404E-01
0.38239E-01 0.29710E-01 0.21168E-01 0.11905E-01 -0.32578E-02 -0.20016E-01
-0.31203E-01 -0.38613E-01 -0.44556E-01 -0.44433E-01 -0.39183E-01 -0.39200E-01
-0.43129E-01 -0.32226E-01 -0.30938E-02 0.18173E-01 0.12787E-01 -0.18394E-02
-0.27272E-02 0.76516E-02 0.17755E-01 0.28594E-01 0.39399E-01 0.38315E-01
0.23204E-01 0.96502E-02 0.61480E-02 0.28315E-02 -0.57534E-02 -0.10226E-01
-0.61718E-02 -0.33320E-02 -0.88850E-02 -0.20742E-01 -0.38220E-01 -0.61798E-01
-0.83580E-01 -0.93817E-01 -0.94180E-01 -0.93126E-01 -0.93763E-01 -0.95026E-01
-0.95720E-01 -0.90536E-01 -0.70605E-01 -0.37472E-01 -0.68539E-02 0.66913E-02
0.54406E-02 0.33271E-02 0.11808E-01 0.31468E-01 0.52608E-01 0.62751E-01
0.57271E-01 0.42888E-01 0.28766E-01 0.18950E-01 0.13782E-01 0.12602E-01
0.11273E-01 0.40186E-02 -0.79128E-02 -0.15709E-01 -0.15024E-01 -0.12843E-01
-0.17495E-01 -0.28197E-01 -0.39629E-01 -0.50984E-01 -0.61515E-01 -0.64045E-01
-0.54496E-01 -0.43478E-01 -0.43324E-01 -0.46644E-01 -0.30928E-01 0.91640E-02
0.49000E-01 0.60971E-01 0.48508E-01 0.39591E-01 0.52588E-01 0.78759E-01
0.10135E+00 0.11843E+00 0.13513E+00 0.14387E+00 0.13298E+00 0.11149E+00
0.10162E+00 0.10530E+00 0.99951E-01 0.74259E-01 0.45384E-01 0.32648E-01
0.33520E-01 0.36442E-01 0.36967E-01 0.33013E-01 0.20936E-01 0.38540E-02
-0.88156E-02 -0.14041E-01 -0.16261E-01 -0.19330E-01 -0.24211E-01 -0.31590E-01
-0.36713E-01 -0.30216E-01 -0.10260E-01 0.11242E-01 0.23148E-01 0.26426E-01
0.27527E-01 0.28244E-01 0.27535E-01 0.26103E-01 0.25699E-01 0.26019E-01
0.24250E-01 0.17971E-01 0.93157E-02 0.33131E-02 0.37894E-03 -0.48124E-02
-0.13018E-01 -0.15735E-01 -0.67024E-02 0.10149E-01 0.28773E-01 0.47767E-01
0.62972E-01 0.63846E-01 0.44713E-01 0.12924E-01 -0.18119E-01 -0.37915E-01
-0.38791E-01 -0.17178E-01 0.20472E-01 0.56908E-01 0.75881E-01 0.73440E-01
0.59289E-01 0.46040E-01 0.39890E-01 0.39308E-01 0.41630E-01 0.45166E-01
0.47076E-01 0.44335E-01 0.39034E-01 0.36495E-01 0.37608E-01 0.38221E-01
0.36777E-01 0.36142E-01 0.37540E-01 0.37427E-01 0.32699E-01 0.25216E-01
0.21205E-01 0.25852E-01 0.37732E-01 0.47569E-01 0.46318E-01 0.35009E-01
0.23186E-01 0.17871E-01 0.17599E-01 0.19244E-01 0.24706E-01 0.37338E-01
0.52265E-01 0.58020E-01 0.51037E-01 0.42441E-01 0.42339E-01 0.42019E-01
0.23910E-01 -0.11592E-01 -0.42955E-01 -0.54172E-01 -0.50908E-01 -0.45866E-01
-0.42574E-01 -0.39061E-01 -0.36071E-01 -0.36471E-01 -0.42153E-01 -0.53220E-01
-0.64930E-01 -0.67470E-01 -0.55522E-01 -0.37407E-01 -0.26778E-01 -0.26979E-01
-0.31483E-01 -0.36729E-01 -0.43455E-01 -0.48624E-01 -0.46209E-01 -0.38034E-01
-0.32783E-01 -0.32888E-01 -0.29851E-01 -0.19272E-01 -0.11085E-01 -0.16093E-01
-0.28790E-01 -0.34856E-01 -0.29670E-01 -0.19519E-01 -0.10178E-01 -0.50195E-02
-0.85178E-02 -0.20586E-01 -0.31813E-01 -0.34890E-01 -0.34088E-01 -0.35159E-01
-0.35676E-01 -0.32983E-01 -0.29810E-01 -0.26645E-01 -0.21245E-01 -0.20000E-01
-0.30468E-01 -0.41111E-01 -0.32191E-01 -0.10304E-01 -0.24445E-02 -0.14684E-01
-0.27676E-01 -0.33830E-01 -0.45327E-01 -0.60201E-01 -0.54656E-01 -0.21183E-01
0.15400E-01 0.30140E-01 0.23303E-01 0.71952E-02 -0.81139E-02 -0.14491E-01
-0.94776E-02 -0.16716E-02 -0.12663E-03 -0.23103E-02 -0.19410E-02 -0.76534E-03
-0.35312E-02 -0.91946E-02 -0.14279E-01 -0.16689E-01 -0.13872E-01 -0.64379E-02
-0.23668E-02 -0.65113E-02 -0.11723E-01 -0.13106E-01 -0.20573E-01 -0.39835E-01
```

## Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

```
-0.53252E-01 -0.40797E-01 -0.94343E-02 0.18209E-01 0.33596E-01 0.42772E-01
0.46927E-01 0.42655E-01 0.34612E-01 0.31970E-01 0.33626E-01 0.31165E-01
0.22780E-01 0.16608E-01 0.19770E-01 0.30727E-01 0.39409E-01 0.36469E-01
0.22913E-01 0.98812E-02 0.52953E-02 0.61729E-02 0.69051E-02 0.79098E-02
0.11237E-01 0.14000E-01 0.13419E-01 0.11164E-01 0.91567E-02 0.62824E-02
0.35669E-02 0.44743E-02 0.72057E-02 0.55280E-02 0.14178E-02 0.64651E-02
0.23343E-01 0.37356E-01 0.34982E-01 0.22172E-01 0.14223E-01 0.17117E-01
0.26851E-01 0.39363E-01 0.51186E-01 0.56297E-01 0.52174E-01 0.44498E-01
0.39022E-01 0.34373E-01 0.30565E-01 0.33802E-01 0.43797E-01 0.45107E-01
0.25358E-01 -0.41158E-02 -0.19401E-01 -0.13440E-01 0.96956E-03 0.14045E-01
0.27441E-01 0.40352E-01 0.44110E-01 0.35758E-01 0.24140E-01 0.17320E-01
0.13079E-01 0.73004E-02 0.25248E-02 0.18970E-02 0.31388E-02 0.30646E-02
0.25280E-02 0.29364E-02 0.32149E-02 0.23993E-02 0.18698E-02 0.30857E-02
0.61358E-02 0.11513E-01 0.20340E-01 0.32302E-01 0.44246E-01 0.51124E-01
0.48280E-01 0.36344E-01 0.22997E-01 0.16988E-01 0.16987E-01 0.11656E-01
-0.56142E-02 -0.23699E-01 -0.24107E-01 -0.40445E-02 0.16454E-01 0.15758E-01
-0.53862E-02 -0.27517E-01 -0.36841E-01 -0.36004E-01 -0.30647E-01 -0.21112E-01
-0.11104E-01 -0.10322E-01 -0.19588E-01 -0.25790E-01 -0.20041E-01 -0.10900E-01
-0.12248E-01 -0.25409E-01 -0.41173E-01 -0.51649E-01 -0.50425E-01 -0.30280E-01
0.80363E-02 0.46668E-01 0.64332E-01 0.56487E-01 0.38569E-01 0.27665E-01
0.28661E-01 0.36254E-01 0.43368E-01 0.44046E-01 0.36037E-01 0.25311E-01
0.20879E-01 0.23533E-01 0.25754E-01 0.24097E-01 0.20018E-01 0.10890E-01
-0.82751E-02 -0.31577E-01 -0.47094E-01 -0.52856E-01 -0.56991E-01 -0.61432E-01
-0.61963E-01 -0.60016E-01 -0.60940E-01 -0.61618E-01 -0.55596E-01 -0.47763E-01
-0.48764E-01 -0.57311E-01 -0.62401E-01 -0.61038E-01 -0.59605E-01 -0.60900E-01
-0.61494E-01 -0.60431E-01 -0.60298E-01 -0.61052E-01 -0.60481E-01 -0.59526E-01
-0.60290E-01 -0.60878E-01 -0.59861E-01 -0.61351E-01 -0.66731E-01 -0.65903E-01
-0.49087E-01 -0.25332E-01 -0.15719E-01 -0.26494E-01 -0.40701E-01 -0.42516E-01
-0.35414E-01 -0.30226E-01 -0.27359E-01 -0.22382E-01 -0.18617E-01 -0.23458E-01
-0.35394E-01 -0.44901E-01 -0.47037E-01 -0.45884E-01 -0.46096E-01 -0.46060E-01
-0.41152E-01 -0.30349E-01 -0.17998E-01 -0.10474E-01 -0.12033E-01 -0.21839E-01
-0.32804E-01 -0.34801E-01 -0.21789E-01 0.79736E-03 0.18213E-01 0.19989E-01
0.11215E-01 0.60575E-02 0.11947E-01 0.23363E-01 0.30950E-01 0.32741E-01
0.34739E-01 0.40541E-01 0.44636E-01 0.39186E-01 0.27729E-01 0.22792E-01
0.27306E-01 0.27942E-01 0.17193E-01 0.91349E-02 0.21225E-01 0.50031E-01
0.78395E-01 0.96669E-01 0.10260E+00 0.93502E-01 0.72650E-01 0.53969E-01
0.46381E-01 0.45334E-01 0.46136E-01 0.50233E-01 0.49485E-01 0.29525E-01
-0.37372E-02 -0.23027E-01 -0.19059E-01 -0.10736E-01 -0.10702E-01 -0.60202E-02
0.12161E-01 0.28239E-01 0.26640E-01 0.15451E-01 0.96461E-02 0.93879E-02
0.95829E-02 0.12243E-01 0.18191E-01 0.21860E-01 0.21809E-01 0.22677E-01
0.23878E-01 0.21870E-01 0.23015E-01 0.37706E-01 0.59039E-01 0.67725E-01
0.58924E-01 0.48311E-01 0.46882E-01 0.49615E-01 0.49482E-01 0.48152E-01
0.48379E-01 0.48858E-01 0.49598E-01 0.54472E-01 0.65937E-01 0.81655E-01
0.94207E-01 0.93859E-01 0.77320E-01 0.54873E-01 0.37806E-01 0.24238E-01
0.76240E-02 -0.52372E-02 -0.19925E-02 0.11930E-01 0.15946E-01 0.21625E-02
-0.15578E-01 -0.24358E-01 -0.26130E-01 -0.27198E-01 -0.28057E-01 -0.27614E-01
-0.27051E-01 -0.27056E-01 -0.26943E-01 -0.26753E-01 -0.26901E-01 -0.26900E-01
-0.26757E-01 -0.27220E-01 -0.27587E-01 -0.26210E-01 -0.22819E-01 -0.18001E-01
-0.13280E-01 -0.13071E-01 -0.20576E-01 -0.28642E-01 -0.24239E-01 -0.72012E-02
0.57484E-02 0.24038E-02 -0.94549E-02 -0.15672E-01 -0.14234E-01 -0.12738E-01
-0.14243E-01 -0.15396E-01 -0.13679E-01 -0.10062E-01 -0.53924E-02 -0.52312E-03
0.15250E-02 -0.25902E-02 -0.10177E-01 -0.12126E-01 -0.39698E-02 0.52902E-02
0.13186E-02 -0.16481E-01 -0.31722E-01 -0.28519E-01 -0.91612E-02 0.11174E-01
0.22064E-01 0.25143E-01 0.26000E-01 0.24371E-01 0.17051E-01 0.72749E-02
0.46640E-02 0.11174E-01 0.15211E-01 0.68285E-02 -0.52428E-02 -0.42536E-02
0.82972E-02 0.13333E-01 0.30163E-02 -0.87494E-02 -0.11268E-01 -0.14729E-01
-0.30667E-01 -0.49397E-01 -0.54591E-01 -0.51255E-01 -0.57902E-01 -0.76601E-01
-0.90815E-01 -0.91555E-01 -0.86883E-01 -0.83096E-01 -0.75383E-01 -0.61688E-01
-0.52449E-01 -0.55208E-01 -0.61985E-01 -0.58694E-01 -0.42450E-01 -0.23233E-01
-0.14348E-01 -0.22210E-01 -0.41583E-01 -0.58113E-01 -0.60326E-01 -0.51290E-01
-0.45186E-01 -0.48630E-01 -0.52180E-01 -0.44556E-01 -0.29305E-01 -0.20414E-01
-0.23737E-01 -0.31097E-01 -0.32940E-01 -0.29178E-01 -0.22208E-01 -0.10629E-01
0.43030E-02 0.12887E-01 0.75236E-02 -0.63627E-02 -0.15371E-01 -0.13242E-01
-0.58312E-02 -0.28188E-02 -0.72199E-02 -0.13459E-01 -0.14586E-01 -0.12036E-01
-0.15057E-01 -0.26528E-01 -0.34732E-01 -0.27703E-01 -0.10304E-01 0.35404E-02
0.95042E-02 0.12374E-01 0.13285E-01 0.10838E-01 0.95427E-02 0.13533E-01
```

# Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

```
0.14973E-01 0.45358E-02 -0.10130E-01 -0.11735E-01 0.11061E-02 0.12926E-01
0.14237E-01 0.10967E-01 0.10414E-01 0.12454E-01 0.15589E-01 0.20712E-01
0.25708E-01 0.26450E-01 0.23648E-01 0.21429E-01 0.19768E-01 0.17298E-01
0.18584E-01 0.27974E-01 0.39979E-01 0.45769E-01 0.47636E-01 0.53402E-01
0.60951E-01 0.59993E-01 0.48229E-01 0.33487E-01 0.22968E-01 0.20564E-01
0.29237E-01 0.44707E-01 0.53320E-01 0.47815E-01 0.37132E-01 0.31383E-01
0.28338E-01 0.23810E-01 0.23604E-01 0.33150E-01 0.45780E-01 0.52479E-01
0.55342E-01 0.60069E-01 0.64318E-01 0.63462E-01 0.60630E-01 0.61287E-01
0.63629E-01 0.62840E-01 0.60638E-01 0.62247E-01 0.65035E-01 0.59390E-01
0.43033E-01 0.26720E-01 0.20896E-01 0.23161E-01 0.24920E-01 0.23736E-01
0.22949E-01 0.23542E-01 0.23635E-01 0.23096E-01 0.23347E-01 0.23964E-01
0.23722E-01 0.23126E-01 0.23092E-01 0.23311E-01 0.23373E-01 0.23332E-01
0.22976E-01 0.22515E-01 0.22835E-01 0.23556E-01 0.22929E-01 0.22032E-01
0.24712E-01 0.31249E-01 0.36151E-01 0.36223E-01 0.34845E-01 0.35671E-01
0.36204E-01 0.33279E-01 0.29545E-01 0.28939E-01 0.28738E-01 0.24554E-01
0.20056E-01 0.22688E-01 0.30640E-01 0.32135E-01 0.20935E-01 0.48500E-02
-0.41909E-02 -0.43259E-02 -0.22302E-02 -0.26424E-02 -0.39990E-02 -0.36987E-02
-0.30287E-02 -0.39821E-02 -0.28432E-02 0.69294E-02 0.23179E-01 0.31810E-01
0.22833E-01 0.45974E-02 -0.56880E-02 -0.47156E-02 -0.29561E-02 -0.48943E-02
-0.30028E-02 0.54627E-02 0.10492E-01 0.51238E-02 -0.31193E-02 -0.46558E-02
-0.34160E-02 -0.91566E-02 -0.22224E-01 -0.34369E-01 -0.40933E-01 -0.43617E-01
-0.43864E-01 -0.40603E-01 -0.34624E-01 -0.29852E-01 -0.28699E-01 -0.29851E-01
-0.30574E-01 -0.29202E-01 -0.25429E-01 -0.20418E-01 -0.16518E-01 -0.16292E-01
-0.21020E-01 -0.29409E-01 -0.37703E-01 -0.42407E-01 -0.43200E-01 -0.42658E-01
-0.42766E-01 -0.43415E-01 -0.43442E-01 -0.41446E-01 -0.36556E-01 -0.30895E-01
-0.28798E-01 -0.31031E-01 -0.31939E-01 -0.26997E-01 -0.19684E-01 -0.16291E-01
-0.16414E-01 -0.17171E-01 -0.21516E-01 -0.33747E-01 -0.48241E-01 -0.54103E-01
-0.48936E-01 -0.39642E-01 -0.30765E-01 -0.21757E-01 -0.14106E-01 -0.11261E-01
-0.12612E-01 -0.15642E-01 -0.21945E-01 -0.32421E-01 -0.41146E-01 -0.43064E-01
-0.42294E-01 -0.43985E-01 -0.43159E-01 -0.30304E-01 -0.57917E-02 0.17950E-01
0.27239E-01 0.19340E-01 0.46288E-02 -0.26753E-02 0.24743E-03 0.39664E-02
0.17495E-02 -0.24417E-02 -0.42170E-02 -0.59472E-02 -0.10009E-01 -0.14302E-01
-0.18038E-01 -0.21977E-01 -0.22583E-01 -0.16228E-01 -0.91109E-02 -0.99077E-02
-0.16228E-01 -0.18965E-01 -0.16707E-01 -0.15202E-01 -0.16573E-01 -0.17718E-01
-0.17012E-01 -0.16087E-01 -0.16187E-01 -0.17108E-01 -0.17777E-01 -0.15487E-01
-0.65290E-02 0.96227E-02 0.27016E-01 0.36429E-01 0.34170E-01 0.25938E-01
0.19018E-01 0.12143E-01 0.57046E-03 -0.12026E-01 -0.15172E-01 -0.68722E-02
0.33736E-02 0.53836E-02 -0.22171E-02 -0.12575E-01 -0.16891E-01 -0.13436E-01
-0.83354E-02 -0.54125E-02 -0.24628E-02 -0.54900E-03 -0.41155E-02 -0.76690E-02
0.12476E-02 0.16527E-01 0.15954E-01 -0.38705E-02 -0.18030E-01 -0.13256E-01
-0.38447E-02 -0.17496E-02 0.13232E-04 0.26708E-02 -0.66538E-02 -0.27382E-01
-0.39480E-01 -0.33968E-01 -0.26010E-01 -0.27463E-01 -0.31453E-01 -0.28372E-01
-0.19369E-01 -0.93521E-02 -0.25901E-02 -0.37553E-02 -0.12641E-01 -0.19224E-01
-0.14561E-01 -0.30226E-02 0.34632E-02 0.95887E-03 -0.32889E-02 -0.31708E-02
-0.22579E-02 -0.76362E-02 -0.16221E-01 -0.15726E-01 -0.23476E-02 0.10960E-01
0.11333E-01 0.17449E-02 -0.81886E-02 -0.14989E-01 -0.17901E-01 -0.14093E-01
-0.72098E-02 -0.66714E-02 -0.11529E-01 -0.91327E-02 -0.10899E-03 -0.16025E-02
-0.18303E-01 -0.31363E-01 -0.29198E-01 -0.23790E-01 -0.28102E-01 -0.36469E-01
-0.39546E-01 -0.39787E-01 -0.40138E-01 -0.34635E-01 -0.21757E-01 -0.12023E-01
-0.99640E-02 -0.50484E-02 0.94477E-02 0.21612E-01 0.16333E-01 -0.33350E-02
-0.21040E-01 -0.26607E-01 -0.22561E-01 -0.15047E-01 -0.77517E-02 -0.11242E-02
0.60692E-02 0.14420E-01 0.20125E-01 0.19838E-01 0.17590E-01 0.21388E-01
0.30924E-01 0.38556E-01 0.40398E-01 0.39449E-01 0.38599E-01 0.38618E-01
0.39813E-01 0.40146E-01 0.36172E-01 0.29907E-01 0.27398E-01 0.26674E-01
0.18738E-01 0.59390E-02 0.41908E-02 0.19534E-01 0.36070E-01 0.37297E-01
0.26226E-01 0.16786E-01 0.14507E-01 0.15046E-01 0.14834E-01 0.14747E-01
0.15269E-01 0.15814E-01 0.18183E-01 0.24458E-01 0.30503E-01 0.29686E-01
0.25294E-01 0.29890E-01 0.45743E-01 0.55743E-01 0.48107E-01 0.36545E-01
0.40237E-01 0.53200E-01 0.57714E-01 0.53650E-01 0.53521E-01 0.56608E-01
0.52867E-01 0.45274E-01 0.45900E-01 0.52843E-01 0.53808E-01 0.49072E-01
0.49805E-01 0.56024E-01 0.57693E-01 0.53885E-01 0.53599E-01 0.57264E-01
0.53100E-01 0.35421E-01 0.14719E-01 0.42186E-02 0.39341E-02 0.54688E-02
0.48236E-02 0.43186E-02 0.51362E-02 0.55182E-02 0.51595E-02 0.54071E-02
0.45873E-02 -0.71979E-03 -0.76308E-02 -0.72010E-02 0.34254E-02 0.15372E-01
0.19428E-01 0.17734E-01 0.17808E-01 0.19943E-01 0.18164E-01 0.11585E-01
0.62418E-02 0.55125E-02 0.63044E-02 0.59185E-02 0.55899E-02 0.60830E-02
```

## Programa de cálculo en Matlab para la estimación de espectros de respuesta sísmica

```
0.61198E-02 0.59022E-02 0.66397E-02 0.72249E-02 0.63587E-02 0.58281E-02
0.68572E-02 0.71434E-02 0.60357E-02 0.66255E-02 0.84837E-02 0.62520E-02
0.41052E-03 -0.96045E-03 0.39603E-02 0.60368E-02 0.12038E-02 -0.23439E-02
0.14408E-02 0.67422E-02 0.83783E-02 0.97869E-02 0.13130E-01 0.12565E-01
0.51888E-02 -0.26731E-02 -0.51454E-02 -0.47552E-02 -0.55244E-02 -0.61859E-02
-0.49485E-02 -0.41719E-02 -0.55467E-02 -0.63706E-02 -0.49795E-02 -0.41853E-02
-0.55934E-02 -0.59641E-02 -0.38646E-02 -0.50112E-02 -0.14917E-01 -0.29542E-01
-0.40059E-01 -0.44858E-01 -0.48276E-01 -0.50582E-01 -0.48043E-01 -0.42727E-01
-0.41961E-01 -0.47892E-01 -0.54450E-01 -0.56592E-01 -0.56083E-01 -0.56113E-01
-0.56346E-01 -0.55691E-01 -0.55283E-01 -0.55894E-01 -0.56331E-01 -0.55884E-01
-0.55571E-01 -0.55870E-01 -0.55859E-01 -0.55498E-01 -0.56011E-01 -0.56877E-01
-0.55144E-01 -0.49745E-01 -0.44051E-01 -0.41908E-01 -0.42838E-01 -0.43678E-01
-0.43081E-01 -0.42320E-01 -0.42497E-01 -0.43023E-01 -0.42765E-01 -0.42171E-01
-0.43613E-01 -0.48501E-01 -0.54274E-01 -0.56738E-01 -0.55716E-01 -0.54857E-01
-0.55554E-01 -0.55613E-01 -0.54663E-01 -0.55021E-01 -0.56290E-01 -0.55667E-01
-0.54143E-01 -0.55079E-01 -0.56732E-01 -0.54408E-01 -0.49358E-01 -0.45502E-01
-0.40302E-01 -0.30525E-01 -0.22855E-01 -0.23365E-01 -0.23725E-01 -0.13712E-01
0.16022E-03 0.62127E-02 0.80224E-02 0.15030E-01 0.21137E-01 0.14691E-01
0.58498E-03 -0.66170E-02 -0.45393E-02 0.88060E-03 0.83622E-02 0.17431E-01
0.21381E-01 0.17195E-01 0.11274E-01 0.84167E-02 0.51057E-02 -0.71359E-03
-0.39457E-02 0.59715E-03 0.13982E-01 0.33332E-01 0.50462E-01 0.58141E-01
0.61474E-01 0.70281E-01 0.80115E-01 0.78111E-01 0.66009E-01 0.56672E-01
0.48370E-01 0.29166E-01 0.47551E-02 -0.21359E-02 0.13390E-01 0.31752E-01
0.36804E-01 0.32999E-01 0.29278E-01 0.26734E-01 0.22686E-01 0.16049E-01
0.75428E-02 0.19547E-02 0.57571E-02 0.17786E-01 0.28485E-01 0.32106E-01
0.32503E-01 0.33688E-01 0.33630E-01 0.31716E-01 0.32251E-01 0.35067E-01
0.32283E-01 0.20892E-01 0.93581E-02 0.55661E-02 0.62229E-02 0.61521E-02
0.88357E-02 0.18761E-01 0.29873E-01 0.33200E-01 0.31344E-01 0.33993E-01
0.41592E-01 0.44588E-01 0.38591E-01 0.29269E-01 0.22515E-01 0.18730E-01
0.17389E-01 0.18688E-01 0.19495E-01 0.15457E-01 0.82311E-02 0.43387E-02
0.51825E-02 0.57543E-02 0.45954E-02 0.72573E-02 0.16823E-01 0.28735E-01
0.39212E-01 0.50240E-01 0.61844E-01 0.68342E-01 0.68011E-01 0.67294E-01
0.69660E-01 0.69685E-01 0.64215E-01 0.58993E-01 0.56909E-01 0.51281E-01
0.39110E-01 0.29247E-01 0.28199E-01 0.29478E-01 0.25027E-01 0.17290E-01
0.13784E-01 0.16944E-01 0.23631E-01 0.28546E-01 0.28521E-01 0.26509E-01
0.28324E-01 0.30328E-01 0.22912E-01 0.10055E-01 0.10121E-01 0.25936E-01
0.36565E-01 0.28584E-01 0.15660E-01 0.13116E-01 0.14959E-01 0.11177E-01
0.80092E-02 0.13580E-01 0.20308E-01 0.18215E-01 0.12190E-01 0.11213E-01
0.14173E-01 0.14822E-01 0.11823E-01 0.65977E-02 0.11596E-02 -0.13302E-03
0.53518E-02 0.12200E-01 0.13368E-01 0.10898E-01 0.10948E-01 0.12984E-01
0.12757E-01 0.98093E-02 0.48019E-02 -0.60445E-02 -0.23778E-01 -0.40546E-01
-0.44537E-01 -0.32866E-01 -0.12686E-01 0.36648E-02 0.68811E-02 -0.32856E-02
-0.17720E-01 -0.27591E-01 -0.30897E-01 -0.28800E-01 -0.23629E-01 -0.21438E-01
-0.28681E-01 -0.42473E-01 -0.53115E-01 -0.56002E-01 -0.55019E-01 -0.54334E-01
-0.54621E-01 -0.55591E-01 -0.55693E-01 -0.52219E-01 -0.46063E-01 -0.42434E-01
-0.42226E-01 -0.41912E-01 -0.43646E-01 -0.52672E-01 -0.63172E-01 -0.61837E-01
-0.49649E-01 -0.42294E-01 -0.47544E-01 -0.55050E-01 -0.54508E-01 -0.48184E-01
-0.42925E-01 -0.42046E-01 -0.48279E-01 -0.60972E-01 -0.70029E-01 -0.65720E-01
-0.52952E-01 -0.44722E-01 -0.44164E-01 -0.43742E-01 -0.39399E-01 -0.34038E-01
-0.29521E-01 -0.24846E-01 -0.20511E-01 -0.16828E-01 -0.13154E-01 -0.12602E-01
-0.20470E-01 -0.34046E-01 -0.43504E-01 -0.45333E-01 -0.46479E-01 -0.51582E-01
-0.56897E-01 -0.59051E-01 -0.59164E-01 -0.56179E-01 -0.47440E-01 -0.36913E-01
-0.31951E-01 -0.32671E-01 -0.33402E-01 -0.32814E-01 -0.33195E-01 -0.33330E-01
-0.32082E-01 -0.33970E-01 -0.41407E-01 -0.47291E-01 -0.46169E-01 -0.44178E-01
-0.47315E-01 -0.46775E-01 -0.31166E-01 -0.70626E-02 0.70478E-02 0.63446E-02
0.29173E-02 0.52143E-02 0.70349E-02 0.18216E-02 -0.44079E-02 -0.15312E-02
0.84182E-02 0.15322E-01 0.17729E-01 0.23076E-01 0.30586E-01 0.29928E-01
0.20317E-01 0.15395E-01 0.21623E-01 0.28871E-01 0.29707E-01 0.31053E-01
0.34196E-01 0.25678E-01 0.21502E-02 -0.14711E-01 -0.81014E-02 0.98549E-02
0.20020E-01 0.23498E-01 0.29286E-01 0.33137E-01 0.27688E-01 0.19199E-01
0.17163E-01 0.17498E-01 0.12299E-01 0.50100E-02 0.33277E-02 0.63678E-02
0.10326E-01 0.16879E-01 0.25718E-01 0.28909E-01 0.22588E-01 0.15995E-01
0.17488E-01 0.20838E-01 0.16166E-01 0.76427E-02 0.70133E-02 0.13852E-01
0.16570E-01 0.11034E-01 0.49368E-02 0.42265E-02 0.75049E-02 0.12436E-01
0.18284E-01 0.23392E-01 0.27143E-01 0.32165E-01 0.38763E-01 0.41626E-01
0.38470E-01 0.33882E-01 0.28641E-01 0.16578E-01 0.33229E-03 -0.55070E-02
```

```
0.45878E-02 0.16791E-01 0.18954E-01 0.17226E-01 0.21485E-01 0.28715E-01
0.31842E-01 0.32547E-01 0.33238E-01 0.30029E-01 0.22709E-01 0.20025E-01
0.24904E-01 0.28032E-01 0.23388E-01 0.18210E-01 0.19014E-01 0.20558E-01
0.15404E-01 0.56223E-02 -0.23361E-02 -0.59451E-02 -0.62755E-02 -0.50068E-02
-0.49761E-02 -0.68159E-02 -0.54618E-02 0.33200E-02 0.13679E-01 0.16056E-01
0.10785E-01 0.66445E-02 0.71625E-02 0.82663E-02 0.79497E-02 0.83114E-02
0.78023E-02 0.13366E-02 -0.96376E-02 -0.16938E-01 -0.17387E-01 -0.16517E-01
-0.17708E-01 -0.17889E-01 -0.15991E-01 -0.16090E-01 -0.18397E-01 -0.16893E-01
-0.10613E-01 -0.72697E-02 -0.11059E-01 -0.15905E-01 -0.16687E-01 -0.16378E-01
-0.17026E-01 -0.14345E-01 -0.70729E-02 -0.18231E-02 -0.22880E-02 -0.36595E-02
-0.24559E-02 -0.31088E-02 -0.88192E-02 -0.14835E-01 -0.16060E-01 -0.14856E-01
-0.16266E-01 -0.21273E-01 -0.27858E-01 -0.34379E-01 -0.39156E-01 -0.40829E-01
-0.40500E-01 -0.40117E-01 -0.39020E-01 -0.34606E-01 -0.26667E-01 -0.17195E-01
-0.94131E-02 -0.61808E-02 -0.79848E-02 -0.94375E-02 -0.30964E-02 0.12318E-01
0.28342E-01 0.34365E-01 0.27383E-01 0.12479E-01 -0.25257E-02 -0.11622E-01
-0.12441E-01 -0.73925E-02 -0.15263E-02 0.13331E-02 0.41876E-03 -0.36669E-02
-0.10693E-01 -0.19234E-01 -0.25706E-01 -0.27009E-01 -0.23616E-01 -0.18807E-01
-0.16438E-01 -0.19828E-01 -0.29690E-01 -0.41645E-01 -0.48898E-01 -0.49281E-01
-0.46428E-01 -0.41287E-01 -0.30006E-01 -0.13399E-01 -0.70106E-03 0.37338E-02
0.75151E-02 0.16704E-01 0.24419E-01 0.22427E-01 0.15762E-01 0.13576E-01
0.13012E-01 0.52510E-02 -0.74365E-02 -0.13106E-01 -0.62856E-02 0.79498E-02
0.22488E-01 0.33164E-01 0.36117E-01 0.29070E-01 0.15831E-01 0.45650E-02
0.87560E-03 0.38807E-02 0.96839E-02 0.16030E-01 0.22940E-01 0.28162E-01
0.27187E-01 0.20534E-01 0.16421E-01 0.20410E-01 0.26682E-01 0.26758E-01
0.22076E-01 0.18630E-01 0.14033E-01 0.35307E-02 -0.53513E-02 0.10600E-02
0.21171E-01 0.38156E-01 0.42563E-01 0.43187E-01 0.49779E-01 0.57111E-01
0.54027E-01 0.41078E-01 0.30031E-01 0.28879E-01 0.34731E-01 0.40506E-01
0.42602E-01 0.41764E-01 0.41232E-01 0.44444E-01 0.50553E-01 0.54162E-01
0.53255E-01 0.53899E-01 0.59943E-01 0.63592E-01 0.55768E-01 0.41358E-01
0.31979E-01 0.29360E-01 0.27763E-01 0.26822E-01 0.28646E-01 0.28409E-01
0.21469E-01 0.14376E-01 0.15810E-01 0.21714E-01 0.22595E-01 0.19535E-01
0.20310E-01 0.25109E-01 0.28851E-01 0.31621E-01 0.36506E-01 0.41105E-01
0.40231E-01 0.34221E-01 0.28381E-01 0.24930E-01 0.21180E-01 0.15394E-01
0.94840E-02 0.48646E-02 0.10014E-02 -0.16506E-02 -0.11781E-02 0.10566E-02
-0.17735E-03 -0.64909E-02 -0.11710E-01 -0.10109E-01 -0.46946E-02 -0.11951E-02
0.83486E-03 0.46673E-02 0.89754E-02 0.11326E-01 0.13737E-01 0.18818E-01
0.23536E-01 0.23750E-01 0.21049E-01 0.20622E-01 0.23196E-01 0.23338E-01
0.16261E-01 0.44768E-02 -0.41835E-02 -0.59413E-02 -0.46822E-02 -0.51158E-02
-0.63079E-02 -0.59105E-02 -0.56061E-02 -0.67666E-02 -0.57553E-02 -0.22208E-03
0.50730E-02 0.56625E-02 0.45045E-02 0.53771E-02 0.52047E-02 0.95598E-04
-0.69341E-02 -0.10228E-01 -0.97292E-02 -0.89251E-02 -0.95930E-02 -0.11949E-01
-0.16417E-01 -0.21643E-01 -0.24763E-01 -0.25085E-01 -0.24750E-01 -0.25166E-01
-0.25595E-01 -0.25539E-01 -0.25741E-01 -0.26550E-01 -0.27258E-01 -0.27373E-01
-0.27274E-01 -0.27574E-01 -0.28374E-01 -0.29334E-01 -0.29566E-01 -0.27765E-01
-0.24516E-01 -0.22787E-01 -0.24557E-01 -0.26530E-01 -0.25603E-01 -0.24430E-01
-0.29406E-01 -0.37937E-01 -0.39880E-01 -0.32430E-01 -0.26576E-01 -0.28580E-01
-0.29516E-01 -0.21260E-01 -0.11164E-01 -0.95123E-02 -0.12136E-01 -0.93978E-02
-0.43376E-02 -0.80401E-02 -0.20918E-01 -0.33488E-01 -0.42151E-01 -0.51022E-01
-0.60649E-01 -0.66186E-01 -0.66293E-01 -0.64442E-01 -0.61404E-01 -0.54905E-01
-0.46939E-01 -0.43214E-01 -0.44178E-01 -0.44535E-01 -0.43104E-01 -0.46135E-01
-0.56201E-01 -0.65424E-01 -0.64898E-01 -0.57433E-01 -0.52973E-01 -0.55992E-01
-0.61319E-01 -0.62184E-01 -0.57629E-01 -0.52343E-01 -0.49968E-01 -0.48514E-01
-0.44268E-01 -0.38449E-01 -0.35146E-01 -0.33251E-01 -0.27924E-01 -0.20477E-01
-0.17433E-01 -0.18463E-01 -0.17243E-01 -0.16060E-01 -0.24902E-01 -0.42248E-01
-0.53570E-01 -0.53235E-01 -0.51648E-01 -0.55698E-01 -0.60389E-01 -0.62852E-01
-0.68113E-01 -0.75488E-01 -0.75348E-01 -0.63793E-01 -0.49010E-01 -0.38961E-01
-0.33495E-01 -0.29535E-01 -0.25440E-01 -0.20405E-01 -0.17184E-01 -0.20297E-01
-0.28080E-01 -0.32586E-01 -0.31706E-01 -0.31191E-01 -0.33378E-01 -0.33983E-01
-0.32643E-01 -0.34135E-01 -0.37043E-01 -0.34449E-01 -0.27220E-01 -0.23613E-01
-0.24906E-01 -0.25608E-01 -0.25288E-01 -0.27083E-01 -0.28485E-01 -0.26871E-01
-0.26984E-01 -0.30642E-01 -0.29853E-01 -0.22004E-01 -0.18014E-01 -0.23388E-01
-0.29317E-01 -0.30971E-01 0 0 0 0];
```

## Anexo IV

Resultados obtenidos en el cálculo de duraciones

Identificador	Duración umbral $D_u(s)$	Duración de la energía $D_e(s)$	Duración estacionaria equivalente $T_{gs}(s)$
sis_162x.m	4.39	0.83	1.74
sis_888x.m	4.64	1.58	1.83
sis_176x.m	8.45	1.86	1.85
sis_692x.m	5.87	1.45	1.90
sis_846x.m	9.49	1.6	1.90
sis_69x.m	4.88	1.98	1.90
sis_59x.m	6.48	2.15	1.91
sis_158x.m	8.82	2.98	1.93
sis_6154x.m	13.85	2.89	1.94
sis_5030x.m	7.65	1.8	1.95
sis_5079x.m	8.33	2.92	2.02
sis_6059x.m	20.48	3.81	2.03
sis_6857x.m	6.2	2.5	2.05
sis_122x.m	9.18	3.49	2.07
sis_686x.m	16.06	3.11	2.10
sis_856x.m	7.26	2.93	2.12
sis_5891x.m	10.06	3.3	2.13
sis_6576x.m	6.24	2.2	2.17
sis_5267x.m	7.28	3.96	2.17
sis_6280x.m	15.16	4.67	2.18
sis_44x.m	13.78	4.86	2.18
sis_384x.m	58.31	3.55	2.18
sis_83x.m	10.66	2.89	2.19
sis_239x.m	7.16	2.78	2.19
sis_1415x.m	20.69	3.45	2.20
sis_214x.m	13.64	4.13	2.21
sis_105x.m	13.81	5.01	2.21
sis_124x.m	11.1	3.85	2.23
sis_75x.m	13.53	3.48	2.23
sis_501x.m	9.87	3	2.25
sis_159x.m	14.1	4.04	2.25
sis_206x.m	17.2	4.36	2.25
sis_857x.m	8.6	3	2.27
sis_1882x.m	13.18	3.96	2.28

sis_42x.m	16.64	5	2.30
sis_363x.m	8.67	4.57	2.30
sis_113x.m	15.7	3.45	2.31
sis_762x.m	12.37	4.66	2.35
sis_771x.m	11.7	4.29	2.36
sis_126x.m	9.25	3.61	2.38
sis_661x.m	14.57	4.28	2.40
sis_670x.m	11.21	3.81	2.42
sis_2005x.m	17.51	4.05	2.44
sis_160x.m	10.01	5.16	2.45
sis_765x.m	12.63	4.05	2.46
sis_770x.m	11.68	4.38	2.46
sis_4x.m	7.33	4	2.47
sis_63x.m	11.2	5.42	2.48
sis_89x.m	9.83	3.13	2.49
sis_1714x.m	13.88	3.86	2.50
sis_948x.m	22.7	8.2	2.53
sis_318x.m	14.36	6.36	2.58
sis_6053x.m	12.06	5.43	2.58
sis_228x.m	26.05	9.38	2.62
sis_12416x.m	28.99	7.67	2.64
sis_558x.m	18.45	6.66	2.64
sis_651x.m	15.78	5.53	2.64
sis_535x.m	20.6	7.49	2.65
sis_310x.m	28.31	26.11	2.65
sis_990x.m	34.14	10.22	2.66
sis_978x.m	28.07	25.06	2.68
sis_222x.m	13.77	5.3	2.69
sis_6040x.m	17.46	5.25	2.70
sis_440x.m	19.98	6.21	2.71
sis_70x.m	8.21	3.23	2.71
sis_6762x.m	4.44	3.38	2.72
sis_6050x.m	13.84	4.84	2.74
sis_6377x.m	20.86	6.86	2.75
sis_135x.m	14.22	4.64	2.76
sis_13006x.m	9.46	3.8	2.76
sis_12619x.m	25.46	12.85	2.77
sis_7187x.m	15.83	6	2.81
sis_1900x.m	18.03	5.16	2.82
sis_766x.m	10.73	4.46	2.83
sis_414x.m	18.82	5.12	2.84
sis_578x.m	13.74	4.26	2.85
sis_219x.m	11.8	5.7	2.87

sis_136x.m	13.48	8.81	2.88
sis_3802x.m	11.04	6.14	2.88
sis_6959x.m	14.79	4.64	2.89
sis_1313x.m	14.82	5.84	2.89
sis_12422x.m	30.54	9.94	2.90
sis_2025x.m	16.95	4.25	2.91
sis_12555x.m	14.19	4.19	2.94
sis_490x.m	17.8	8.48	2.94
sis_175x.m	19.88	7.88	2.95
sis_221x.m	14.87	4.83	2.96
sis_4677x.m	9.63	4.25	2.97
sis_7956x.m	18.64	6.97	2.97
sis_623x.m	11.51	4.74	2.99
sis_6383x.m	24.02	5.41	3.00
sis_1312x.m	19.73	7.1	3.00
sis_7329x.m	8.42	4.96	3.00
sis_7273x.m	14	5.88	3.01
sis_665x.m	17.64	4.14	3.02
sis_624x.m	11.56	4.72	3.06
sis_6328x.m	17.67	5.85	3.08
sis_259x.m	15.66	7.02	3.09
sis_4674x.m	12.23	3.93	3.14
sis_361x.m	11.74	5.13	3.18
sis_7154x.m	19.08	5.96	3.20
sis_7142x.m	23.87	4.57	3.21
sis_7157x.m	21.01	8.84	3.23
sis_242x.m	21.39	5.7	3.25
sis_6770x.m	28.85	14.25	3.25
sis_6115x.m	19.42	6.46	3.25
sis_6854x.m	8.1	4.8	3.26
sis_55x.m	18.2	4.36	3.26
sis_1560x.m	17.21	8.56	3.35
sis_439x.m	19.62	8.83	3.40
sis_1226x.m	24.6	11.72	3.45
sis_1875x.m	28.33	7.3	3.46
sis_312x.m	108.32	53.37	3.53
sis_6265x.m	21.21	10.4	3.57
sis_5651x.m	12.7	2.26	3.62
sis_336x.m	18.07	9.18	3.63
sis_234x.m	24.19	10	3.63
sis_776x.m	18.58	7.21	3.64
sis_1711x.m	23.61	8.56	3.64
sis_13012x.m	21.51	6.58	3.64

sis_68x.m	16.1	8.24	3.65
sis_7957x.m	24.23	10.01	3.69
sis_591x.m	14.09	5.28	3.74
sis_530x.m	29.34	7.75	3.83
sis_594x.m	20.5	5.04	3.84
sis_5613x.m	6.04	2.56	3.85
sis_365x.m	27.82	9.9	3.92
sis_5657x.m	18	4.66	3.93
sis_1726x.m	27.25	13.01	4.03
sis_566x.m	18.92	8.59	4.03
sis_559x.m	23.57	10.78	4.04
sis_13009x.m	15	5.9	4.07
sis_313x.m	67.88	51.29	4.08
sis_6093x.m	13.79	5.94	4.08
sis_532x.m	29.46	11.53	4.08
sis_288x.m	29.66	10.23	4.14
sis_6764x.m	42.09	16.46	4.16
sis_133x.m	24.01	8.13	4.18
sis_134x.m	24.01	8.13	4.18
sis_1932x.m	26.45	9.31	4.22
sis_200x.m	42.01	10.94	4.23
sis_43x.m	18.87	10.33	4.26
sis_333x.m	40.43	15.43	4.27
sis_592x.m	26.16	9.71	4.31
sis_1928x.m	27.42	11.54	4.35
sis_5488x.m	19.04	5.56	4.35
sis_761x.m	25.71	11.8	4.36
sis_173x.m	18.19	10.28	4.36
sis_6167x.m	20.62	6.91	4.37
sis_428x.m	25.13	15.89	4.43
sis_233x.m	27.76	8.63	4.44
sis_268x.m	13.82	8.91	4.46
sis_1736x.m	20.78	11.53	4.49
sis_1769x.m	16.68	11.76	4.52
sis_2015x.m	19.77	9.24	4.52
sis_199x.m	45.54	21.41	4.52
sis_334x.m	36.06	15.4	4.62
sis_335x.m	28.44	16.25	4.69
sis_171x.m	25.06	8	4.76
sis_7097x.m	30.32	14.22	4.80
sis_1911x.m	22.54	10.48	4.81
sis_347x.m	20.17	10.62	5.01
sis_12778x.m	49.83	20.2	5.02

sis_6209x.m	32.02	7.46	5.02
sis_1761x.m	31.78	13.49	5.03
sis_6757x.m	20.68	9.61	5.04
sis_12602x.m	19.81	7.01	5.08
sis_153x.m	28.27	18.52	5.09
sis_537x.m	22.76	16.06	5.12
sis_6278x.m	53.6	19.57	5.12
sis_74x.m	11.98	6.48	5.14
sis_6753x.m	54.84	27.43	5.22
sis_435x.m	29.53	14.84	5.34
sis_5819x.m	47.1	20	5.42
sis_12553x.m	18.47	12.3	5.42
sis_7171x.m	48.97	23.45	5.59
sis_12418x.m	47.82	13.04	5.65
sis_1250x.m	69.35	30.14	5.94
sis_12403x.m	51.71	28.87	6.08
sis_287x.m	72.36	41.07	6.16
sis_1249x.m	69.84	36.72	6.20
sis_7186x.m	41.96	11.42	6.36
sis_5850x.m	59.85	30.19	6.43
sis_949x.m	36.88	12.68	6.49
sis_6494x.m	23.96	12.76	6.52
sis_8003x.m	39.4	8	6.55
sis_12601x.m	29.34	13.16	6.61
sis_290x.m	65.03	40.01	6.64
sis_879x.m	27.03	16.9	6.75
sis_8010x.m	36.69	15.76	6.77
sis_344x.m	37.72	20.44	7.09
sis_6362x.m	54.55	16.96	7.20
sis_7174x.m	24.46	14.47	7.25
sis_3801x.m	25.85	14.06	7.25
sis_549x.m	23.3	10.6	7.28
sis_596x.m	49.99	22.07	7.34
sis_12779x.m	40.63	15.11	7.61
sis_179x.m	39.35	27.67	7.64
sis_12777x.m	46.05	17.87	7.76
sis_354x.m	29.01	19.72	7.87
sis_12540x.m	57.61	29.88	7.88
sis_129x.m	30.37	23.81	8.14
sis_5820x.m	46.29	17.87	8.17
sis_182x.m	39.62	32.41	8.22
sis_7200x.m	41.47	23.22	8.28
sis_1722x.m	27.52	13.6	8.32

sis_481x.m	48.61	31.88	8.61
sis_5794x.m	50.76	23.29	8.68
sis_12410x.m	45.7	26.89	8.97
sis_49x.m	41.21	21.2	11.24
sis_204x.m	48.07	29.52	11.56
sis_1881x.m	66.6	36.44	11.72
sis_6142x.m	39.4	24.19	12.13
sis_475x.m	29.48	24.22	12.81
sis_1251x.m	115.57	41.4	13.82
sis_294x.m	71.61	50.04	15.90
sis_12563x.m	56.74	37.36	17.33

