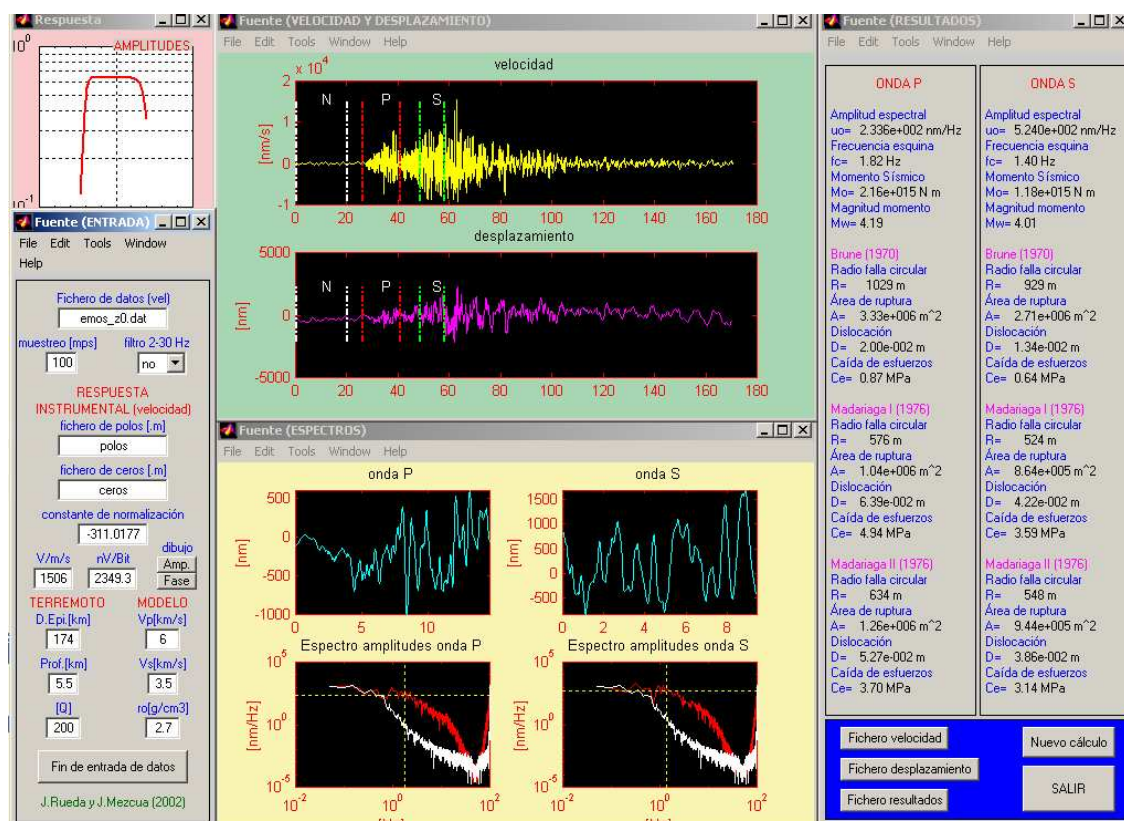


INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



FUENTE 1.0

J. Rueda y J. Mezcua

junio, 2002

FUENTE 1.0

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA
FUENTE SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS ESPECTRAL DE
REGISTROS DE BANDA ANCHA.

Introducción

Este programa permite realizar el cálculo de los parámetros dinámicos y geométricos de la fuente sísmica: ***momento sísmico, magnitud momento, radio, área de ruptura, dislocación y caída de esfuerzos***, supuesta esta una falla circular, según los modelos de Brune (1970, 1971) y Madariaga I y II (1976).

El programa está escrito para **MATLAB 5.3**® y se suministran junto con este manual todos los códigos fuente de la aplicación.

Los datos de entrada son los procedentes del registro de cualquier estación de banda ancha en un formato “espagueti” escritos en ficheros ASCII, un fichero por estación y componente.

Para efectuar la corrección de los datos por respuesta instrumental, es necesario conocerla en su forma de polos y ceros. A partir de estos datos corregidos y de los datos de la localización hipocentral, del modelo de tierra y del factor de calidad Q , se obtienen los parámetros de la fuente.

El programa además de dar un fichero de salida con los valores del momento sísmico, de la magnitud momento, radio, área, dislocación y caída de esfuerzos para cada onda utilizada, ofrece la posibilidad de obtener ficheros de salida con el registro corregido de respuesta instrumental, en velocidad y desplazamiento, para su uso en otras aplicaciones.

Fundamentos

En el dominio del tiempo, el sismograma observado $s(t)$ en un sismógrafo electromagnético, es un registro de la velocidad del movimiento del suelo y puede considerarse que es el resultado de la convolución de una serie de funciones temporales que intervienen en el sistema. En primer lugar la función que caracteriza a la fuente $a(t)$ (que es la que realmente desconocemos), la función de respuesta del instrumento en el que estamos registrando $i(t)$, la función que caracteriza el efecto local del sitio de observación $r(t)$ y la que define el efecto de la atenuación $b(t)$:

$$s(t) = a(t) * i(t) * r(t) * b(t)$$

De acuerdo con el teorema de la convolución, la expresión anterior puede resolverse fácilmente en el dominio de la frecuencia sin más que sustituir la operación convolución por el producto y las funciones temporales por sus transformadas de Fourier. La expresión anterior puede por tanto expresarse:

$$S(\omega) = A(\omega) \cdot I(\omega) \cdot R(\omega) \cdot B(\omega)$$

siendo ω la frecuencia angular.

La transformada de Fourier de una señal continua $s(t)$ se define como:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i\omega t} dt$$

al ser $S(\omega)$ una función compleja, podemos expresarla así:

$$S(\omega) = U(\omega) + i V(\omega)$$

El espectro de amplitud es entonces:

$$|S(\omega)| = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$$

y el espectro de fase:

$$\theta(\omega) = \arctan \frac{V(\omega)}{U(\omega)}$$

En el caso de una señal discretizada $s(t)$, la transformada de Fourier es:

$$S(\varpi) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k \Delta t) e^{\frac{-i \varpi k}{N}}$$

siendo N el número de muestras y Δt el intervalo de muestreo. Las unidades de estas amplitudes espectrales serán las mismas que las de la señal de entrada.

Ahora bien, estamos interesados en conocer el espectro de amplitud en la fuente $|A(\varpi)|$, en unidades de desplazamiento del suelo, puesto que este valor, junto con la función temporal, constituye la función fuente. Sin embargo nosotros podemos conocer no $|A(\varpi)|$ sino únicamente $|S(\varpi)|$ que es el espectro del sismograma observado convertido a unidades de desplazamiento.

Para llegar a conocer el espectro $|A(\varpi)|$ tendríamos que hacer:

$$|A(\varpi)| = \frac{|S(\varpi)|}{|I(\varpi)| \cdot |R(\varpi)| \cdot |B(\varpi)|}$$

El espectro del sismograma observado, corregido por instrumento $I(\varpi)$, convertido a desplazamiento, corregido por efecto de amplificación local $R(\varpi)$ y atenuación $B(\varpi)$, será el lugar en el que realizaríamos nuestras medidas.

Las correcciones de instrumento y de atenuación se realizarán en el dominio de la frecuencia y se explican a continuación, en cambio, el efecto de amplificación local al no depender de la frecuencia se corregirá directamente en el cálculo del momento sísmico.

El efecto de la atenuación $B(\varpi)$ puede calcularse en función del parámetro de calidad Q del medio según:

$$B(\varpi) = e^{-\frac{\varpi t}{2Q}}$$

siendo t el tiempo de recorrido, Aki y Richards (1980).

Para que podamos hacer la corrección instrumental, el fabricante de la instrumentación sísmica nos ha tenido que proporcionar la función de respuesta en velocidad del sensor, ya que se trata generalmente de sismógrafos electromagnéticos. La forma usual es en forma de polos y ceros normalizada junto con la constante de normalización a 1 Hz. Esta función de respuesta es la función que resulta de dividir la transformada de Fourier de la señal de entrada al sensor por la transformada de Fourier de la señal obtenida en la salida. Se advierte no confundirla con la función de transferencia, que resulta de dividir la transformada de Laplace de la señal de entrada por la transformada de Laplace de la señal obtenida en la salida. La transformada de Fourier no es más que una particularización de la de Laplace, en la que la variable s de Laplace se sustituye por $i \varpi$.

La función de respuesta en velocidad del sistema sensor-registro digital para un sistema de L ceros y N polos será, Scherbaum (1996):

$$I(\omega) = \frac{G}{b} k \frac{\prod_{k=1}^L (i\omega - s_{0k})}{\prod_{k=1}^N (i\omega - s_{pk})}$$

siendo S_0 los ceros, S_p los polos, k la constante de normalización, G la constante generadora del sismómetro en $V s m^{-1}$ y b la sensibilidad del sistema digital en nV/bit . De esta forma la función que obtenemos es la función compleja de respuesta en velocidad de todo el sistema sensor-registro digital con unidades de $bit s m^{-1}$, también llamada sensibilidad en velocidad.

El registro en velocidad corregido de instrumento $v(t)$, será:

$$v(t) = REAL \left(IFFT \frac{S(\omega)}{I(\omega)} \right)$$

siendo $IFFT$ la operación inversa de la transformada rápida de Fourier.

Mediante integración, el registro de velocidad $v(t)$ ya corregido de instrumento será convertido en registro de desplazamiento $d(t)$. Si ahora se aplica la transformada rápida de Fourier se formará el espectro $D(\omega)$, base del estudio de los parámetros de la fuente.

La transformada rápida de Fourier (FFT) de una función discreta no estacionaria (transitoria) a la que hemos asociado el sismograma nos proporciona amplitudes espectrales que dependen del tamaño de la ventana temporal elegida, T , por lo que la estimación apropiada del espectro será la densidad de amplitud espectral, $D(\omega)_d$, que tiene unidades de energía por unidad de ancho de banda, es decir, en el caso del sismograma: nm/Hz :

$$D(\omega)_d = T D(\omega)$$

La forma práctica de formar estos espectros es mediante la transformada rápida de Fourier (FFT) del registro en desplazamiento del sismograma registrado, ya corregido de instrumento y después multiplicar por $T = N \Delta t$, siendo Δt el intervalo de muestreo.

$$D(\omega)_d = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} s(k \Delta t) e^{\frac{-i \omega k}{N}}$$

Las unidades entonces serán energía por unidad de ancho de banda, es decir las amplitudes de la señal de entrada divididas por Hz .

El procedimiento operativo desarrollado en este programa para la formación de los espectros de amplitud y cálculo de parámetros de la fuente comienza con la obtención de los registros digitales de banda ancha en la componente vertical que han sido corregidos de respuesta instrumental para obtener el registro en velocidad del movimiento del suelo. Mediante la integración del mismo en el dominio del tiempo se obtiene el registro en unidades de desplazamiento.

Se seleccionan manualmente segmentos de unos 5 segundos de registro en torno a las fases **P** y **S** a los que se les aplica una ventana coseno al 10% en el dominio del tiempo y se obtiene también un segmento de señal previa al terremoto representativo del nivel de ruido de la estación. Mediante la aplicación de la transformada rápida de Fourier (FFT) se pasa al dominio de la frecuencia. Las unidades de la estimación de este espectro son Amplitud/Hz, es decir densidad espectral. Posteriormente se corrigen estos espectros por atenuación. En estos espectros corregidos y representados en escala bilogarítmica se determinan de forma manual la amplitud de la parte plana en las bajas frecuencias u_0 y el valor de la frecuencia a partir del cual el espectro muestra un decaimiento del orden de f^{-2} hacia las altas frecuencias, llamada frecuencia esquina f_0 , que es proporcional a las dimensiones de la fractura.

El momento sísmico escalar, introducido por Aki (1966) es definido como:

$$M_0 = \mu \Delta \bar{u} A$$

siendo μ el modulo de rigidez [$3.24 \times 10^{10} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$], $\Delta \bar{u}$ el valor medio de la dislocación y A el área de ruptura, depende de u_0 .

Obtenido el momento sísmico escalar, la magnitud momento M_w definida por Hanks y Kanamori (1979), expresado el momento en [din×cm] es:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$

Para determinar los parámetros de la fuente sísmica es necesario la consideración de un modelo en el que se establezcan las relaciones entre los elementos que definen la fuente y los datos que se reciben en la superficie, generalmente considerados en el dominio de la frecuencia, como por ejemplo Hanks y Wyss (1976).

El primer modelo de fractura propuesto para la fuente sísmica se debe a Keilis-Borok (1959). Este modelo considera una falla circular y en él se estableció la primera relación entre los esfuerzos aplicados en la fuente y el desplazamiento sobre la falla (vector deslizamiento) que ellos generan. Según este modelo, el momento sísmico escalar M_0 , se obtiene a partir del valor medio, para las bajas

frecuencias, de la densidad espectral del desplazamiento del suelo registrado a una cierta distancia d :

$$M_0 = \frac{4 \pi d \rho V_{P/S}^3 u_0}{K R_{\theta,\phi}}$$

siendo d la distancia hipocentral, ρ la densidad, $V_{P/S}$ la velocidad de propagación para la onda **P** o **S** utilizada en el espectro de amplitudes y $K R_{\theta,\phi}$ una función correctora para las amplitudes observadas por la influencia de la amplificación superficial K y del patrón de radiación de la fuente sísmica $R_{\theta,\phi}$, y que es el equivalente de haber corregido el espectro por el efecto local.

Podemos considerar un valor medio para el patrón de radiación $R_{\theta,\phi}$ de acuerdo con Baumbach y Bormann (1999):

	Onda P	Onda S
$R_{\theta,\phi}$	0.64	0.52

Calculando el ángulo de incidencia desde la vertical mediante:

$$i = \arccos \frac{h}{d}$$

siendo h la profundidad focal y d la distancia hipocentral, el factor de amplificación superficial K , suponiendo un modelo homogéneo y un coeficiente de Poisson de valor 1.73, se puede obtener según Baumbach y Bormann (1999) de la tabla:

i	K	i	K	i	K
0	2.00	30	1.70	60	1.02
5	1.99	35	1.60	65	0.90
10	1.96	40	1.49	70	0.79
15	1.92	45	1.38	75	0.67
20	1.86	50	1.26	80	0.54
25	1.79	55	1.14	85	0.35

Para la estimación del tamaño de la ruptura y de la dislocación hemos adoptado tres modelos de falla circular. El primero de ellos propuesto por Brune (1970), corregido por Brune (1971), es un modelo que relaciona la función temporal del desplazamiento con el esfuerzo efectivo, modelando la fuente en el campo cercano y en el lejano donde supone una geometría de falla circular. El radio de la falla r es función de la frecuencia esquina f_c de acuerdo a Brune (1970) corregido por Brune (1971):

$$r = \frac{\beta K_{P/S}}{2 \pi f_{c_{P/S}}}$$

siendo β la velocidad para las ondas **S** y $f_{c_{P/S}}$ la frecuencia esquina en el espectro de amplitudes de la onda **P** y de la onda **S**. Los valores de K para la onda **P** y para la onda **S** son respectivamente $K_P = 3.36$ y $K_S = 2.34$.

El área de la ruptura A puede determinarse entonces como:

$$A = \pi r^2$$

El tamaño de la dislocación $\Delta \bar{u}$ se obtiene de la relación que liga esta con el momento sísmico y el área de ruptura, Aki (1966):

$$\Delta \bar{u} = \frac{M_0}{\mu A}$$

La dislocación $\Delta \bar{u}$ puede relacionarse con la caída de esfuerzos $\Delta \sigma$ que es la diferencia entre los esfuerzos de cizalla que actúan sobre el plano de falla antes y después del terremoto. En el caso de falla circular según Brune (1970) corregido por Brune (1971):

$$\Delta \sigma = \frac{7 \mu \pi}{16 r} \Delta \bar{u}$$

Los otros dos modelos considerados han sido los denominados *primer modelo de Madariaga* y *segundo modelo de Madariaga*, Madariaga (1976). En el primer modelo la ruptura se presenta de forma instantánea mientras que en el segundo comienza en un punto y se extiende a gran velocidad hasta que de forma repentina se para en un cierto radio r . La geometría de la falla es también circular, por lo que son de aplicación las relaciones anteriores con los valores de K_P y K_S de la tabla:

	K_P	K_S
Brune	3.36	2.34
Madariaga I	1.88	1.32
Madariaga II	2.07	1.38

Instalación y arranque del programa

Es imprescindible tener instalado en el ordenador **MATLAB 5.3**® con el toolbox “*Signal Processing*”.

El programa no requiere proceso de instalación, solamente descomprimir el fichero llamado **fuentes.zip** en un directorio del disco duro, que copia en él los siguientes ficheros:

Fichero	Características
fuentes.m	Programa principal.
espectros.m	Rutina de corrección instrumental, integración, corrección de atenuación, cálculo de espectros y medidas en los mismos.
polos.m	Fichero de datos de los polos de la respuesta instrumental.
ceros.m	Fichero de datos de los ceros de la respuesta instrumental.
amplitud.m	Rutina para el dibujo de la respuesta instrumental en amplitud.
fase.m	Rutina para el dibujo de la respuesta instrumental en fase.
resultados.m	Rutina de cálculo del momento sísmico, magnitud momento, radio, área, dislocación y caída de esfuerzos.
escribo_desplazamiento.m	Rutina para escribir en un fichero el sismograma corregido de respuesta instrumental en desplazamiento.
escribo_velocidad.m	Rutina para escribir en un fichero el sismograma corregido de respuesta instrumental en velocidad.
escribo_resultados.m	Rutina para escribir los resultados del cálculo en un fichero.
emos_z0.dat	Fichero de datos de ejemplo. Estación de banda ancha componente vertical. 100 Hz.
emos_z0.res	Fichero salida de resultados para el ejemplo emos_z0.
emos_z0.des	Fichero de sismograma corregido de respuesta instrumental en desplazamiento para el ejemplo emos_z0.
emos_z0.vel	Fichero de sismograma emos_z0 corregido de respuesta instrumental en velocidad para el ejemplo emos_z0.
emos_z0.esp	Fichero con los valores del espectro de la onda P para el ejemplo emos_z0.
emos_z0.ess	Fichero con los valores del espectro de la onda S para el ejemplo emos_z0.
emos_z0.esn	Fichero con los valores del espectro del ruido previo para el ejemplo emos_z0.
fuentes.pdf	Este manual.

Arrancar **MATLAB 5.3**® y situarse en el directorio en el que reside el programa. Desde la ventana de **MATLAB 5.3**® ejecutar **fuentes**.

Entrada de datos

Al ejecutar **fuentes** se abre en el escritorio un menú (figura 1) para la introducción de los datos con las siguientes entradas:

Fichero de datos [vel]: Nombre del fichero de datos del registro del terremoto en velocidad en la componente vertical.

El fichero de entrada será un fichero ASCII con una sola columna en la que cada muestra alcanza una posición. Las unidades serán bit/s, por ejemplo:

```
-67
-66
-69
-76
-75
-75
-84
-86
-87
-94
-97
-97
-101
-107
-110
-116
-120
-122
-127
-132
-134
etc ....
```

El tamaño del fichero de entrada está solamente limitado por la memoria del sistema, no obstante, en ficheros con mas de 30.000 muestras el tiempo de lectura puede demorarse algunos segundos.

muestreo [mps]: Valor de la frecuencia de muestreo en muestras por segundo.

filtro 2-30 hz: Si está seleccionado **Si** el sismograma se mostrará filtrado entre 2 y 30 Hz con el fin de eliminar las bajas frecuencias que pueden distorsionar el espectro. El filtro utilizado es un filtro de Butterworth de tercer orden con un paso banda entre 2 y 30 Hz.

The screenshot shows the 'Fuente (ENTRADA)' window with the following fields and values:

- Fichero de datos (vel):** emos_z0.dat
- muestreo [mps]:** 100
- filtro 2-30 Hz:** no
- RESPUESTA INSTRUMENTAL (velocidad):**
 - fichero de polos [m]:** polos
 - fichero de ceros [m]:** ceros
- constante de normalización:** -311.0177
- Units:**
 - V/m/s:** 1506
 - nV/Bit:** 2349.3
 - dibujo:** Amp. (selected), Fase (disabled)
- TERREMOTO:**
 - D.Epi.[km]:** 174
 - Prof.[km]:** 5.5
 - [Q]:** 200
- MODELO:**
 - Vp[km/s]:** 6
 - Vs[km/s]:** 3.5
 - ro[g/cm3]:** 2.7
- Fin de entrada de datos** (button)
- Footer:** J. Rueda y J. Mezcuca (2002)

Figura 1.- Ventana de entrada de datos

RESPUESTA INSTRUMENTAL [velocidad]

La respuesta instrumental en velocidad ha tenido que ser facilitada por el fabricante en su forma de polos y ceros, por ejemplo un sistema con cuatro polos y tres ceros:

Polos :

$$\begin{aligned} & -0.044422 \pm 0.044422i \\ & -505.796420 \pm 193.522110i \end{aligned}$$

Ceros :

$$\begin{aligned} & 0 \\ & 0 \\ & 945.6194 \end{aligned}$$

fichero de polos [.m]: Nombre del fichero en el que se han introducido los valores de los polos de la curva de respuesta en velocidad [rad/s] suministrada por el fabricante. El nombre que se pondrá en la ventana tiene que figurar sin extensión, aunque el nombre del fichero tiene que tener la extensión .m. Un fichero de polos de ejemplo es:

$$\begin{aligned} p = & [-0.044422+0.044422i \\ & -0.044422-0.044422i \\ & -505.796420+193.522110i \\ & -505.796420-193.522110i]; \end{aligned}$$

fichero de ceros [.m]: Nombre del fichero en el que se han introducido los valores de los ceros de la curva de respuesta en velocidad [rad/s] suministrada por el fabricante. El nombre que se pondrá en la ventana tiene que figurar sin extensión, aunque el nombre del fichero tiene que tener la extensión .m. Un fichero de ceros de ejemplo es:

$$\begin{aligned} z = & [0 \\ & 0 \\ & 945.6194]; \end{aligned}$$

constante de normalización: Constante de normalización a 1 Hz en rad/s de la curva de respuesta dada por el fabricante del sensor.

V/m/s: Valor de la constante generadora del sismómetro en voltios/metro/segundo.

nV/bit: Sensibilidad del convertidor analógico digital en nanovoltios/bit.

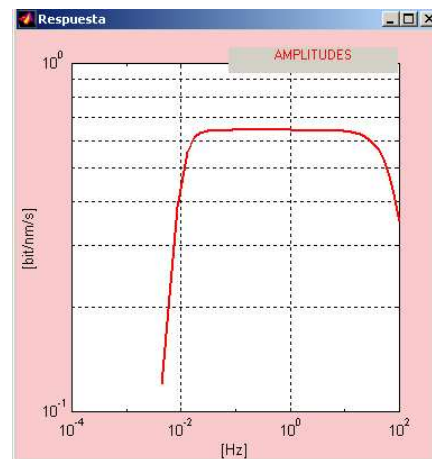


Figura 2.- Curva de respuesta en amplitud del sistema sensor-registro en velocidad.

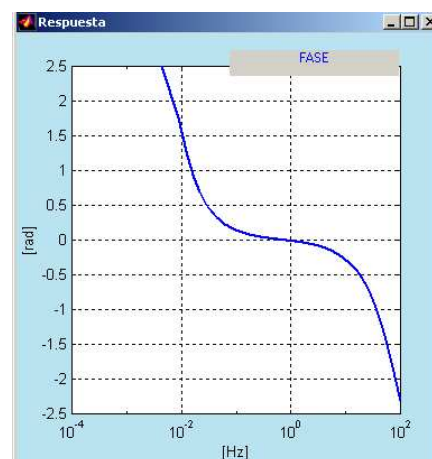


Figura 3.- Curva de respuesta en fase del sistema sensor-registro en velocidad.

dibujo Amp.: Este botón permite obtener el dibujo de la curva de respuesta de amplitudes del sistema sensor-registro en velocidad sobre un gráfico log-log (figura 2).

dibujo Fase.: Este botón permite obtener el dibujo de la curva de respuesta de fase del sistema sensor-registro en velocidad sobre gráfico semilogarítmico (figura 3).

TERREMOTO

D. Epi. [km]: Distancia epicentral en kilómetros.

Prof. [km]: Profundidad hipocentral en kilómetros.

[Q]: Factor de calidad.

MODELO

Vp [km/s]: Velocidad de propagación para las ondas P.

Vs [km/s]: Velocidad de propagación para las ondas S.

ρ [g/cm³]: Densidad.

Una vez completada la ventana de entrada de datos, pulsando el botón **fin de entrada de datos** aparece en el escritorio la ventana **VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO**.

Velocidad y desplazamiento

En la ventana **VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO** se muestra el registro en unidades de velocidad (nm/s) corregido de respuesta instrumental y por integración en el dominio del tiempo se presenta el mismo registro en desplazamiento (nm).

Si en la ventana de entrada de datos se ha seleccionado **filtro 2-30 Hz**, los registros aparecerán con el filtro aplicado. En la figura 4 se puede ver el mismo registro directamente banda ancha y con la aplicación del filtro. Como con posterioridad se tendrán que acotar segmentos entorno a las fases P y S, la aplicación del filtro en algunos casos puede ser de gran ayuda.

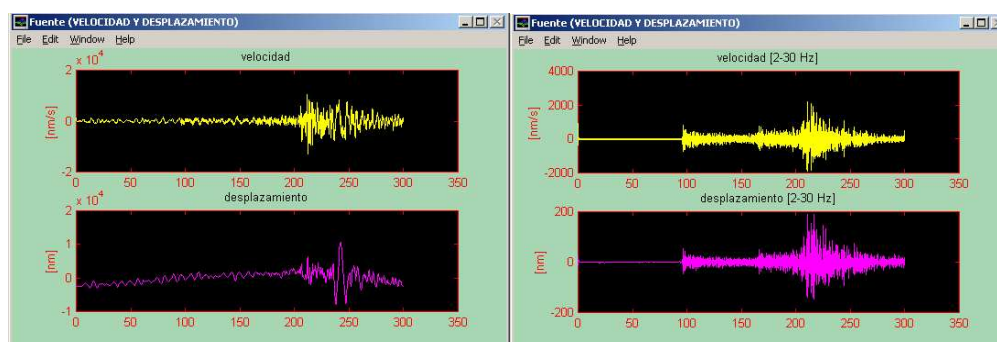


Figura 4.- Registro en banda ancha, velocidad y desplazamiento, (izquierda) y el mismo registro con el filtro 2-30 Hz aplicado (derecha).

En esta ventana aparecen unos cursores para que usando el botón izquierdo del ratón comencemos señalando el comienzo y el final de tres ventanas. La primera marcada con una letra **N** contendrá una muestra de ruido previo al terremoto. La segunda ventana, marcada con la letra **P**, incluirá un segmento entorno a la onda **P** y la tercera y última, señalada con la letra **S**, un segmento entorno a la onda **S** (figura 5). Estos

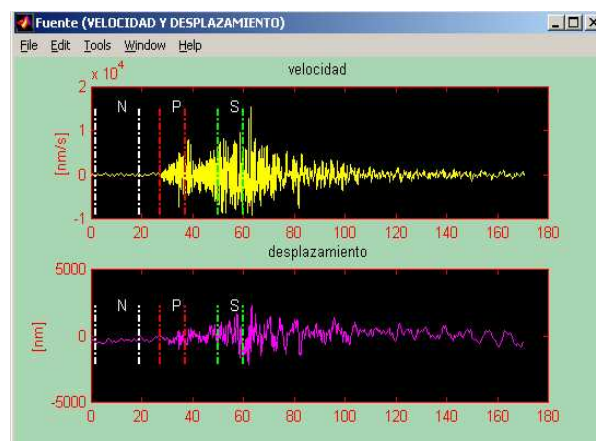


Figura 5.- Ventanas temporales seleccionadas para el ruido (N), la onda P (P) y para la onda S (S).

segmentos pueden seleccionarse en el registro de velocidad o en el de desplazamiento indistintamente. Los espectros se realizarán utilizando el registro en desplazamiento independientemente de donde se hayan acotado.

Una vez seleccionadas las ventanas temporales el programa nos muestra la ventana **ESPECTROS**.

Espectros

La ventana **ESPECTROS** tiene cuatro subventanas. En la parte superior aparecen los segmentos de sismograma en desplazamiento para la onda **P** y para la onda **S** seleccionados en el apartado anterior y en la parte inferior se muestran los espectros de amplitudes (densidad espectral) para estos dos segmentos. En color blanco se superpone a ambas figuras el espectro de la ventana de ruido seleccionada. La parte de espectro que se encuentra por debajo del espectro del ruido no debe considerarse, figura 6.

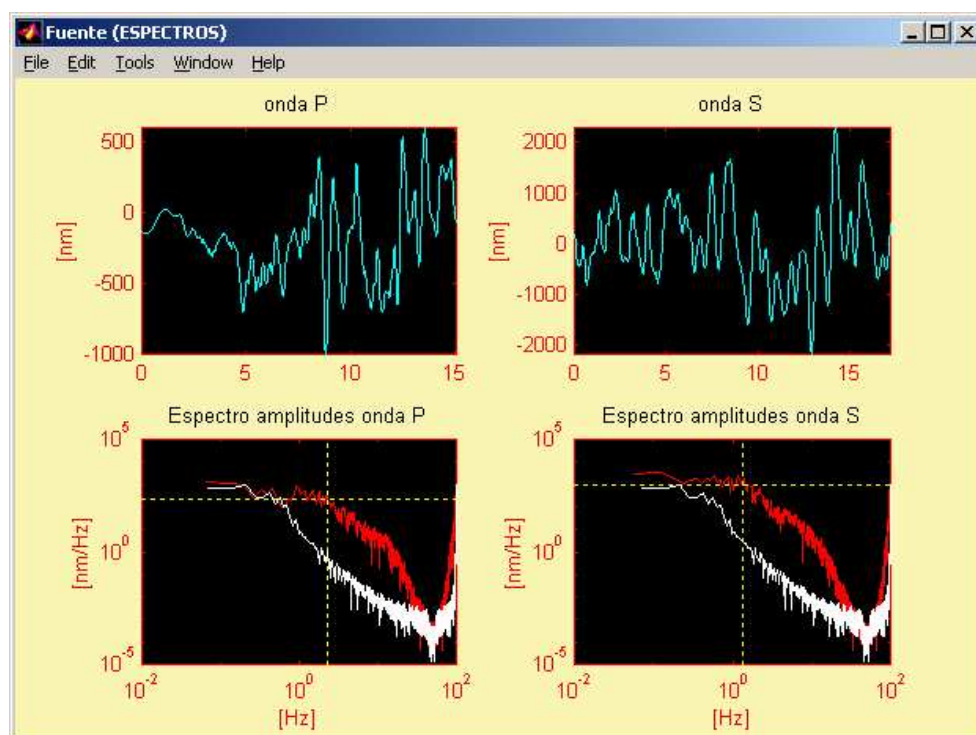


Figura 6.- Ventana ESPECTROS.

Es el momento de fijar con el botón izquierdo del ratón el punto, dentro del espectro, donde se produce la caída desde la parte plana en las bajas frecuencias hacia las altas con un decaimiento del orden de f^{-2} , primero en el espectro de amplitudes de la onda P y después en el de la S. Este punto determina la amplitud u_0 y la frecuencia esquina f_c que se utilizarán en la ventana **RESULTADOS**.

Resultados

La ventana **RESULTADOS** aparece dividida en dos. La mitad izquierda muestra los resultados con la onda **P** y la parte derecha con la onda **S**.

Se comienza mostrando los datos: *Amplitud espectral* y la *Frecuencia esquina* obtenidos de la ventana **ESPECTROS**, el *Momento Sísmico* y la *Magnitud momento* y también aparecen los parámetros: *Radio de la falla circular*, *Área de ruptura*, *Dislocación* y *Caída de esfuerzos* para los modelos de Brune (1970 y 1971) y Madariaga I y II (1976) citados en el apartado Fundamentos.



Figura 7.- Ventana de resultados.

En la parte inferior de la ventana aparecen cinco botones:

Fichero velocidad

Genera un fichero con el registro sísmico en velocidad corregido de respuesta instrumental para su posible uso en otras aplicaciones. El nombre del fichero será el mismo del fichero de datos de entrada con la extensión **.vel**.

```
=====
Sismograma en velocidad [nm/s]
corregido de respuesta instrumental
=====
-20.8949
 8.9423
28.7769
42.1566
50.5236
61.0480
70.3663
75.3773
81.4967
88.4779
93.1733
98.1953
102.0237
etc .....
```

Fichero desplazamiento

Genera un fichero con el registro sísmico en desplazamiento corregido de respuesta instrumental para su posible uso en otras aplicaciones. El nombre del fichero será el mismo del fichero de datos de entrada con la extensión **.des**.

```
=====
Sismograma en desplazamiento [nm]
corregido de respuesta instrumental
=====
-406.5129
-406.4235
-406.1357
-405.7142
-405.2089
-404.5984
-403.8948
-403.1410
-402.3260
-401.4413
-400.5095
-399.5276
-398.5073
-397.4452
etc .....
```

Fichero resultados

Genera un fichero con el resumen de los cálculos realizados. El nombre del fichero será el mismo del fichero de entrada con la extensión **.res**.

```
=====
Resultados del calculo de parametros de la fuente
Programa FUENTE 1.0, J.Rueda y J.Mezcua (2002)
=====
Fichero de entrada: emos_z0.dat

ONDA P

Amplitud espectral uo= 1.909e+002 nm/Hz
Frecuencia esquina fc= 1.92 Hz
Momento sismico Mo= 1.76e+015 N m
```

```
Magnitud momento Mw= 4.13

Modelo de Brune (1970)
-----
Radio de la falla circular R=      977 m
Area de ruptura A= 3.00e+006 m^2
Dislocacion D= 1.81e-002 m
Caída de esfuerzos Ce= 0.83 MPa

Primer modelo de Madariaga (1976)
-----
Radio de la falla circular R=      546 m
Etc .....
```

Además se crean tres ficheros con los datos de frecuencia y amplitud de los espectros de la onda **P**, onda **S** y ruido. Los nombres de los ficheros serán el mismo del fichero de entrada con la extensión **.esp**, **.ess** y **.esn** respectivamente.

```
=====
valores del espectro para la onda P
frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]
=====
0.00      3.014524e+003
0.07      8.645648e+002
0.14      1.068347e+003
0.21      6.697263e+002
0.28      2.143444e+002
0.35      6.191712e+002
0.42      5.993865e+002
0.49      5.367308e+002
0.56      8.740785e+001
0.63      7.208466e+001
0.71      2.680199e+002
0.78      1.467101e+002
0.85      3.221386e+002
Etc .....
```

```
=====
valores del espectro para la onda S
frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]
=====
0.00      8.972439e+002
0.06      3.222391e+003
0.13      2.636200e+003
0.19      1.250981e+003
0.26      1.015013e+003
0.32      2.369074e+003
0.39      9.688292e+002
0.45      1.780938e+003
0.52      1.031459e+003
0.58      1.796524e+003
0.65      1.332275e+003
0.71      8.178989e+002
0.78      9.926032e+002
0.84      1.651996e+003
Etc .....
```

```
=====
valores del espectro para el ruido
frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]
=====
0.00      4.599161e+003
0.08      5.354174e+002
0.15      2.640930e+002
0.23      9.095460e+002
0.30      5.678287e+002
0.38      4.618565e+002
0.45      1.124076e+002
0.53      2.482170e+002
```

0.60	9.868660e+001
0.68	1.524518e+002
0.75	2.568142e+001
0.83	3.694159e+001
Etc

Nuevo cálculo

Elimina todas las ventanas menos la de **ENTRADA DE DATOS** con el fin de poder iniciar otra vez el proceso de cálculo.

SALIR

Se sale del programa y cierra todas las ventanas de **FUENTE 1.0**.

Referencias

- **Aki, K. (1966).** Generation and propagation of G waves from Niigata earthquake of june 16, 1964. Estimation of earthquake movement, released energy and stress-strain drop from G wave spectrum. *Bull. Earthq. Res. Inst.* 44, 23-88.
- **Aki, K. y P. Richard (1980).** Quantitative seismology, theory and methods. *W.H. Freeman and Company, CA*, 932 pp.
- **Baumbach, M y P. Bormann (1999).** Exercise on the Determination of Source Parameters Derived from Seismic Spectra. *In New Manual of Seismological Observatory Practice, Global Seismological Services.*
- **Brune, J.N. (1970).** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.* 75, 4997-5009.
- **Brune, J.N. (1971).** Correction (to brune(1970)). *J. Geophys. Res.* 76, 5002.
- **Hanks, T.C. y H. Kanamori (1979).** A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res.* 84, 2348-50.
- **Hanks, T.C. y M. Wyss (1972).** The use of body-spectra in the determination of seismic-source parameters. *Bull. Seism. Soc. Am.* 62, 551-559.
- **Keilis-Borok, V.I. (1959).** On estimation of the displacement in a earthquake source and of source dimensions. *Ann. Geofis.*, 12, 205-214.
- **Madariaga, R. (1976).** Dynamics of an expanding circular fault. *Bull. Seism. Soc. Am.* 66, 639-666.
- **Scherbaum, F. (1996).** Of Poles and Zeros, Fundamentals of Digital Seismology. *Kluwer Ac. Pub.* 256 pp.

Programa fuente.m

```
% =====
% CALCULO DE PARAMETROS DE LA FUENTE
% J.Rueda y J.Mezcua (2001)
% =====
% Entrada de datos para espectros
close all, clear, clc, echo off;
%=====
    % Inicio gráficos y defino frame
    oldFigNumber = watchon;
    figNumber = figure;
    set(1, ...
        'NumberTitle','off', ...
        'Name','Fuente (ENTRADA)', ...
        'backingstore','off',...
        'position',[10 30 180 500]...
    );
    kk=uicontrol(1,...
        'Style','frame', ...
        'Units','normalized', ...
        'Position',[0.01 0.01 0.98 0.98]);
    %=====
    % variables por defecto
    velo='emos_z0.dat';
    filtro=1;
    mues=100;
    disepi=174;
    prof=5.5;
    Q=200;
    filepolos='polos';
    fileceros='ceros';
    k=-311.0177;
    m1=1506;
    m2=2349.3;
    vp=6;
    vs=3.5;
    ro=2.7;
    % boton fichero de entrada
    kk = uicontrol(1,...
        'style','text',...
        'string','Fichero de datos (vel)',...
        'foregroundcolor','b',...
        'Units','normalized', ...
        'Position',[0.02 0.93 0.96 0.04]);
    fichero = uicontrol(1,...
        'Style','edit',...
        'String','emos_z0.dat',...
        'Units','normalized',...
        'BackgroundColor','w',...
        'Position',[0.22 0.9 0.56 0.04],...
        'Callback',[...
            'velo=get(fichero, 'String')']);
    %=====
    % boton muestreo
    kk = uicontrol(1,...
        'style','text',...
        'string','muestreo [mps]',...
        'foregroundcolor','b',...
        'Units','normalized', ...
        'Position',[0.02 0.85 0.40 0.04]);

    mues_bo = uicontrol(1,...
        'Style','edit',...
        'String','100',...
        'Units','normalized', ...
        'BackgroundColor','w',...
        'Position',[0.16 0.82 0.16 0.04],...
```

```

        'CallBack',[...
            'mues=str2num(get(mues_bo,'String'))']);

% boton filtro

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','filtro 2-30 Hz',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.52 0.85 0.40 0.04]);

filtro_bo = uicontrol(1,...
    'Style','popup',...
    'String','no|si',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.62 0.82 0.25 0.04],...
    'CallBack',[...
        'filtro=(get(filtro_bo,'value'))']);

%=====
% boton polos y boton ceros

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','RESPUESTA',...
    'foregroundcolor','r',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.02 0.76 0.96 0.04]);

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','INSTRUMENTAL (velocidad)',...
    'foregroundcolor','r',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.02 0.73 0.96 0.04]);

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','archivo de polos [.m]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.02 0.70 0.96 0.04]);

p_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','polos',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.22 0.67 0.56 0.04],...
    'CallBack',...
    'filepolos=get(p_bo,'String')');

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','archivo de ceros [.m]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.02 0.62 0.96 0.04]);

c_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','ceros',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.22 0.59 0.56 0.04],...
    'CallBack',...
    'fileceros=get(c_bo,'String')');

%=====
% boton constante de normalización

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','constante de normalización',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.02 0.54 0.96 0.04]);

```

```
k_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','-311.0177',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.32 0.51 0.36 0.04],...
    'Callback',[...
    'k=str2num(get(k_bo,'String'))']);

%=====
% boton V/m/s
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','V/m/s',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.10 0.46 0.20 0.04]);

m1_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','1506',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.10 0.43 0.20 0.04],...
    'Callback',[...
    'm1=str2num(get(m1_bo,'String'))']);

%=====
% boton nV/Bit
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','nV/Bit',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.40 0.46 0.20 0.04]);

m2_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','2349.3',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.37 0.43 0.25 0.04],...
    'Callback',[...
    'm2=str2num(get(m2_bo,'String'))']);

% boton dibujo respuesta amplitud
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','dibujo',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.72 0.48 0.20 0.04]);

kk = uicontrol(1,...
    'Style','push',...
    'string','Amp.',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.72,0.46 0.20 0.03],...
    'callback',[...
    'amplitud']);

% boton dibujo respuesta fase
kk = uicontrol(1,...
    'Style','push',...
    'string','Fase',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.72,0.43 0.20 0.03],...
    'callback',[...
    'fase']);
```

```
%=====
% boton TERREMOTO

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','TERREMOTO',...
    'foregroundcolor','r',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.07 0.38 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','MODELO',...
    'foregroundcolor','r',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.55 0.38 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','D.Epi.[km]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.10 0.35 0.30 0.04]);
disepi_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','174',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.16 0.32 0.18 0.04],...
    'CallBack',...
    'disepi=str2num(get(disepi_bo,'String'))');
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','Prof.[km]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.12 0.27 0.26 0.04]);
prof_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','5.5',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.17 0.24 0.16 0.04],...
    'CallBack',...
    'prof=str2num(get(prof_bo,'String'))');
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','[Q]',...
    'Units','normalized', ...
    'foregroundcolor','b',...
    'Position',[0.12 0.19 0.26 0.04]);

Q_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','200',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.16 0.16 0.18 0.04],...
    'CallBack',[...
    'Q=str2num(get(Q_bo,'String'))']);

kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','Vp[km/s]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.60 0.35 0.30 0.04]);
vp_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','6',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.66 0.32 0.18 0.04],...
    'CallBack',...
```



```
'vp=str2num(get(vp_bo,'String'))');
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','Vs[km/s]',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.62 0.27 0.26 0.04]);
vs_bo = uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','3.5',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.67 0.24 0.16 0.04],...
    'CallBack',...
    'vs=str2num(get(vs_bo,'String'))');
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','ro[g/cm3]',...
    'Units','normalized', ...
    'foregroundcolor','b',...
    'Position',[0.62 0.19 0.26 0.04]);

ro_bo= uicontrol(1,...
    'Style','edit',...
    'String','2.7',...
    'Units','normalized', ...
    'BackgroundColor','w',...
    'Position',[0.66 0.16 0.18 0.04],...
    'CallBack',[...
    'ro=str2num(get(ro_bo,'String'))']);

% boton de fin de entrada de datos

kk = uicontrol(1,...
    'Style','push',...
    'string','Fin de entrada de datos',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.12,0.08 0.76 0.06],...
    'callback',[...
    'espectros']);

%Autor
kk = uicontrol(1,...
    'style','text',...
    'string','J.Rueda y J.Mezcuca (2002)',...
    'Units','normalized', ...
    'foregroundcolor',[0,0.4,0],...
    'Position',[0.07 0.02 0.86 0.04]);
```

Programa espectros.m

```
% =====
% CALCULO DEL ESPECTRO
% J.Rueda y J.Mezcuca (2001)
% =====

% Lectura de datos. Calculo desplazamiento

fid = fopen (velo);
veloci= fscanf (fid,'%g');
fclose(fid);
t=1/mues:1/mues:length(veloci)/mues;
disipo=sqrt(disepi^2+prof^2);
veloci=veloci-mean(veloci);

%funcion de transferencia en velocidad
f=(0.000000001:length(veloci))*100/length(veloci);

j=sqrt(-1);
w=2*pi*f;
s=j*w;
feval(filepolos);
feval(fileceros);

[num,den]=zp2tf(z,p,k);

trans=(m1/m2)*...
(polyval(num,s)./polyval(den,s));
veloci=real(ifft(fft(veloci)./trans));

%integral para obtener desplazamiento
veloci=veloci-mean(veloci);

%filtro
nis=mues/2;
[b,a]=butter(3,[2,30]/nis);
if filtro == 2;
    veloci=filter(b,a,veloci);
end

despla=cumsum(veloci)*1/mues;

despla=despla-mean(despla);

%Enseño el sismograma completo y selecciono ventanas de P y S
figNumber = figure(3);
set(3, ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Fuente (VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO)', ...
    'backingstore','off',...
    'position',[195 400 540 330],...
    'color',[0.66 0.84 0.70]...
    );

yrange=[min(despla) max(despla)];
yrangev=[min(veloci) max(veloci)];
if filtro == 2;
    subplot (2,1,1), plot (t,veloci,'y-'),ylabel('[nm/s]'),title('velocidad [2-30 Hz]')
    set(gca, 'Color', 'k');
    set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
    subplot (2,1,2), plot (t,despla,'m-'),ylabel('[nm]'),title('desplazamiento [2-30 Hz]')
    set(gca, 'Color', 'k');
    set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
else
```

```

subplot (2,1,1), plot (t,veloci,'y-'),ylabel('[nm/s]'),title('velocidad')
set(gca, 'Color', 'k');
set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
subplot (2,1,2), plot (t,despla,'m-'),ylabel('[nm]'),title('desplazamiento')
set(gca, 'Color', 'k');
set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
end

[nmin kk]=ginput(1);
nomin=nmin*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(nomin,yrange,'w-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(nomin,yrangev,'w-.', 'LineWidth', 2);hold off
echo off
[nmax kk]=ginput(1);
nomax=nmax*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(nomax,yrange,'w-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(nomax,yrangev,'w-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,2), text((nmax+nmin)/2, max(despla), 'N','color','w');
subplot (2,1,1), text((nmax+nmin)/2, max(veloci), 'N','color','w');
echo off

[pmin kk]=ginput(1);
pemin=pmin*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(pemin,yrange,'r-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(pemin,yrangev,'r-.', 'LineWidth', 2);hold off
echo off
[pmax kk]=ginput(1);
pemax=pmax*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(pemax,yrange,'r-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(pemax,yrangev,'r-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,2), text((pmax+pmin)/2, max(despla), 'P','color','w');
subplot (2,1,1), text((pmax+pmin)/2, max(veloci), 'P','color','w');
echo off
[smin kk]=ginput(1);
semin=smin*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(semin,yrange,'g-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(semin,yrangev,'g-.', 'LineWidth', 2);hold off
echo off
[smax kk]=ginput(1);
semax=smax*[1 1];
subplot (2,1,2), hold on, plot(semax,yrange,'g-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,1), hold on, plot(semax,yrangev,'g-.', 'LineWidth', 2);hold off
subplot (2,1,2), text((smax+smin)/2, max(despla), 'S','color','w');
subplot (2,1,1), text((smax+smin)/2, max(veloci), 'S','color','w');

% Hacemos zoom de P y zoom de S
figNumber = figure(4);
set(gcf, ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Fuente (ESPECTROS)', ...
    'backingstore','off',...
    'position',[195 30 540 330],...
    'color',[0.98 0.96 0.70]...
);

nmin=sprintf('%1.0f',nmin*mues);, nmin=sscanf(nmin,'%f');
nmax=sprintf('%1.0f',nmax*mues);, nmax=sscanf(nmax,'%f');
pmin=sprintf('%1.0f',pmin*mues);, pmin=sscanf(pmin,'%f');
pmax=sprintf('%1.0f',pmax*mues);, pmax=sscanf(pmax,'%f');
smin=sprintf('%1.0f',smin*mues);, smin=sscanf(smin,'%f');
smax=sprintf('%1.0f',smax*mues);, smax=sscanf(smax,'%f');
no=despla (nmin:nmax);
pe=despla (pmin:pmax);
ese=despla (smin:smax);
tn=1/mues:1/mues:length(no)/mues;
tp=1/mues:1/mues:length(pe)/mues;
ts=1/mues:1/mues:length(ese)/mues;
figure (4)
if filtro == 2;
    subplot (2,2,1), plot(tp,pe,'c-'), title('onda P [2-30 Hz]'),...
    ylabel('[nm]'), ax=[0 length(tp)/mues min(pe) max(pe)];, axis(ax);
    set(gca, 'Color', 'k');
    set(gca, 'XColor','r','YColor','r');

```

```

subplot (2,2,2), plot(ts,ese,'c-'), title('onda S [2-30 Hz]'),...
ylabel(' [nm]'), ax=[0 length(ts)/mues min(ese) max(ese)];, axis(ax);
set(gca, 'Color', 'k');
set(gca, 'XColor', 'r', 'YColor', 'r');
else
    subplot (2,2,1), plot(tp,pe,'c-'), title('onda P'),...
    ylabel(' [nm]'), ax=[0 length(tp)/mues min(pe) max(pe)];, axis(ax);
    set(gca, 'Color', 'k');
    set(gca, 'XColor', 'r', 'YColor', 'r');
    subplot (2,2,2), plot(ts,ese,'c-'), title('onda S'),...
    ylabel(' [nm]'), ax=[0 length(ts)/mues min(ese) max(ese)];, axis(ax);
    set(gca, 'Color', 'k');
    set(gca, 'XColor', 'r', 'YColor', 'r');
end

% ventana taper 10% cosine
% ventana para el ruido
wl=length(no);
wcn=ones(wl,1);
n=(0:(wl-1)*.1)/wl;
m=length(n);
wcn(1:m)=wcn(1:m).*(1-cos(pi*n/0.1))/2;
n=(wl-(wl-1)*.1:wl)/wl;
m=length(n);
wcn(1+wl-m:wl)=wcn(1+wl-m:wl).*(1-cos(pi*(1-n)/0.1))/2;
% ventana para la P
wl=length(pe);
wcp=ones(wl,1);
n=(0:(wl-1)*.1)/wl;
m=length(n);
wcp(1:m)=wcp(1:m).*(1-cos(pi*n/0.1))/2;
n=(wl-(wl-1)*.1:wl)/wl;
m=length(n);
wcp(1+wl-m:wl)=wcp(1+wl-m:wl).*(1-cos(pi*(1-n)/0.1))/2;
% ventana para la S
wl=length(ese);
wcs=ones(wl,1);
n=(0:(wl-1)*.1)/wl;
m=length(n);
wcs(1:m)=wcs(1:m).*(1-cos(pi*n/0.1))/2;
n=(wl-(wl-1)*.1:wl)/wl;
m=length(n);
wcs(1+wl-m:wl)=wcs(1+wl-m:wl).*(1-cos(pi*(1-n)/0.1))/2;
% aplico las ventanas a las señales
now=no.*wcn;
pew=pe.*wcp;
esew=ese.*wcs;

% Calculo las transformadas
specn=fft(now)/mues;
specp=fft(pew)/mues;
specs=fft(esew)/mues;
% calculo vector de frecuencias
frecn=(0:(length(specn)-1))*mues/length(specn);
frecp=(0:(length(specp)-1))*mues/length(specp);
frecs=(0:(length(specs)-1))*mues/length(specs);

% correccion del espectro por atenuación
vp=6; % km/s para P
vs=3.5; % km/s para S
atep=exp(sqrt(-1)*pi*frecp*disipo/(vp*Q));
ates=exp(sqrt(-1)*pi*frecs*disipo/(vs*Q/2));
specpc=specp./atep;
specsc=specs./ates;
specnco=specn;

frecndib=frecn;
specncodib=specnco;
frecpdib=frecp;
specpcodib=specpc;
frecsdib=frecs;
specscodib=specsc;

```

```
subplot (2,2,3), loglog(frecpdib,abs(specpcodib),'r-'),...
hold on, loglog(frecndib,abs(specncodib),'w'),...
title('Espectro amplitudes onda P');
ylabel('nm/Hz');
xlabel('Hz');
set(gca, 'Color', 'k');
set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
subplot (2,2,4), loglog(frecsdib,abs(specscodib),'r-'),...
hold on, loglog(frecndib,abs(specncodib),'w'),...
title('Espectro amplitudes onda S');
ylabel('nm/Hz');
xlabel('Hz');
set(gca, 'Color', 'k');
set(gca, 'XColor','r','YColor','r');
hold on;
subplot (2,2,3), [frcp ampp]=ginput(1);
s1=axis;
x=[s1(1) s1(2)]';
y=[ampp ampp]';
subplot (2,2,3), hold on, loglog(x,y,'y:');hold off
x=[frcp frcp]';
y=[s1(3) s1(4)]';
subplot (2,2,3), hold on, loglog(x,y,'y:');hold off

subplot (2,2,4), [frcs amps]=ginput(1);
s1=axis;
x=[s1(1) s1(2)]';
y=[amps amps]';
subplot (2,2,4), hold on, loglog(x,y,'y:');hold off
x=[frcs frcs]';
y=[s1(3) s1(4)]';
subplot (2,2,4), hold on, loglog(x,y,'y:');hold off

resultados
```

Programa amplitud.m

```
%funcion de transferencia en velocidad
figNumber = figure(2);
set(gcf, ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Respuesta', ...
    'backingstore','off',...
    'position',[10 570 180 180],...
    'menubar','none',...

    'color',[0.98 0.79 0.80]...
);

f=(0:23000) '*mues/23000;

j=sqrt(-1);
w=2*pi*f;

s=j*w;
feval(filepolos);
feval(fileceros);

[num,den]=zp2tf(z,p,k);

trans=(m1/m2)*...
(polyval(num,s)./polyval(den,s));
loglog(f,abs(trans),'r-','erase','none', 'LineWidth', 2);
ylabel(' [bit/nm/s] '); xlabel(' [Hz] ');
grid on;

kk = uicontrol(2,...
    'style','text',...
    'string','AMPLITUDES',...
    'foregroundcolor','r',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.50 0.90 0.40 0.06]);
```

Programa fase.m

```
%funcion de transferencia en velocidad
figNumber = figure(2);
set(gcf, ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Respuesta', ...
    'backingstore','off',...
    'position',[10 570 180 180],...
    'menubar','none',...

    'color',[0.73 0.89 0.95]...
);

f=(0:23000)/23000;

j=sqrt(-1);
w=2*pi*f;

s=j*w;
feval(filepolos);
feval(fileceros);

[num,den]=zp2tf(z,p,k);

trans=(m1/m2)*...
(polyval(num,s)./polyval(den,s));
semilogx(f,(unwrap(angle(trans))), 'b-', 'erase', 'none', 'LineWidth', 2);
xlabel(' [Hz] '), ylabel(' [rad] ');grid on;
kk = uicontrol(2,...
    'style','text',...
    'string','FASE',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.50 0.90 0.40 0.06]);
```

Programa resultados.m

```
% =====  
% CALCULO DE PARAMETROS DE LA FUENTE  
% J.Rueda y J.Mezcuca (2001)  
% =====  
% Salida de Resultados  
% =====  
  
% Inicio gráficos y defino frame  
figure(6)  
set(6, ...  
    'NumberTitle','off', ...  
    'Name','Fuente (RESULTADOS)', ...  
    'backingstore','off',...  
    'position',[742 30 280 700]...  
);  
kk=uicontrol(6,...  
    'Style','frame', ...  
    'Units','normalized', ...  
    'Position',[0.01 0.145 0.49 0.84]);  
kk=uicontrol(6,...  
    'Style','frame', ...  
    'Units','normalized', ...  
    'Position',[0.51 0.145 0.49 0.84]);  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string','ONDA P',...  
    'foregroundcolor','r',...  
    'Units','normalized', ...  
    'Position',[0.05 0.93 0.40 0.04]);  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string','ONDA S',...  
    'foregroundcolor','r',...  
    'Units','normalized', ...  
    'Position',[0.55 0.93 0.40 0.04]);  
  
%escribo amplitud y frecuencia esquina  
  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string','Amplitud espectral',...  
    'foregroundcolor','b',...  
    'Units','normalized', ...  
    'HorizontalAlignment','left',...  
    'Position',[0.03 0.89 0.40 0.04]);  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string','uo=',...  
    'foregroundcolor','b',...  
    'Units','normalized', ...  
    'HorizontalAlignment','left',...  
    'Position',[0.03 0.87 0.40 0.04]);  
ampp_t=num2str(sprintf('%5.3e nm/Hz',ampp));  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string',ampp_t,...  
    'foregroundcolor','k',...  
    'Units','normalized', ...  
    'HorizontalAlignment','left',...  
    'Position',[0.12 0.87 0.35 0.04]);  
  
kk = uicontrol(6,...  
    'style','text',...  
    'string','Amplitud espectral',...
```



```

        'foregroundcolor','b',...
        'Units','normalized', ...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.53 0.89 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','uo=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.87 0.40 0.04]);
amps_t=num2str(sprintf('%5.3e nm/Hz',amps));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',amps_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.87 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Frecuencia esquina',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.85 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','fc=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.83 0.40 0.04]);
frcp_t=num2str(sprintf('%4.2f Hz',frcp));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',frcp_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.83 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Frecuencia esquina',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.85 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','fc=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.83 0.40 0.04]);
frcs_t=num2str(sprintf('%4.2f Hz',frcs));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',frcs_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.83 0.35 0.04]);

%=====

%calculo momento y mw
inci=acos(prof/disipo)*180/pi;
i=(0:5:90)'; % angulo de incidencia
SA=[2 1.99 1.96 1.92 1.86 1.79 1.70 1.60 1.49 1.38 1.26 1.14 ...

```

```

1.02 0.90 0.79 0.67 0.54 0.35 0.14]'; % Amplificacion superficial para P
sam=interp1(i,SA,inci);

Ap=0.64; % patron de radiación para P
As=0.52; % patron de radiación para S

% cálculo con P
momentop=(4*pi*disipo*10^3*(vp*10^3)^3*ro*10^3*ampp*10^-9)/(sam*Ap); % N m
mwp=(2*(log10(momentop*10^7))/3)-10.7;

% cálculo con S
momentos=(4*pi*disipo*10^3*(vs*10^3)^3*ro*10^3*amps*10^-9)/(sam*As); % N m
mws=(2*(log10(momentos*10^7))/3)-10.7;

%escribo momento con p
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Momento Sísmico',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.81 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Mo=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.79 0.40 0.04]);
momentop_t=num2str(sprintf('%5.2e N m',momentop));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',momentop_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.79 0.35 0.04]);

%escribo momento con s
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Momento Sísmico',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.81 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Mo=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.79 0.40 0.04]);
momentos_t=num2str(sprintf('%5.2e N m',momentos));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',momentos_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.79 0.35 0.04]);

%escribo magnitud momento con p
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Magnitud momento',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...

```

```

        'Position',[0.03 0.77 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Mw=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.75 0.40 0.04]);
mwp_t=num2str(sprintf('%3.2f',mwp));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',mwp_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.75 0.35 0.04]);

%escribo magnitud momento con s

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Magnitud momento',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.77 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Mw=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.75 0.40 0.04]);
mws_t=num2str(sprintf('%3.2f',mws));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',mws_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.75 0.35 0.04]);

%modelo de Brune (1970)

vcr_b=0.9*vs;
kp_b=3.36;
ks_b=2.34;
nu=3.24*10^10;%kg m^-1 s^-2
radio_p_b=1000*vs*kp_b/(2*pi*frcp);%m
radio_s_b=1000*vs*ks_b/(2*pi*frcs);%m
area_p_b=pi*radio_p_b^2;%m^2
area_s_b=pi*radio_s_b^2;%m^2
dislocacion_p_b=momentop/(nu*area_p_b);%m
dislocacion_s_b=momentos/(nu*area_s_b);%m
caida_p_b=10^-6*7*momentop/(16*radio_p_b^3);%MPa
caida_s_b=10^-6*7*momentos/(16*radio_s_b^3);%MPa

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Brune (1970)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundcolor','m',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.03 0.71 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Brune (1970)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundcolor','m',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.53 0.71 0.40 0.04]);

kk = uicontrol(6,...

```

```
'style','text',...
'string','Radio falla circular',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.03 0.69 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','R=',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.03 0.67 0.40 0.04]);
radio_p_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_p_b));
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string',radio_p_t,...
'foregroundcolor','k',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.12 0.67 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','Radio falla circular',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...

'Position',[0.53 0.69 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','R=',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.53 0.67 0.40 0.04]);
radio_s_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_s_b));
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string',radio_s_t,...
'foregroundcolor','k',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.62 0.67 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','Área de ruptura',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.03 0.65 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','A=',...
'foregroundcolor','b',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.03 0.63 0.40 0.04]);
area_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_p_b));
kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string',area_p_t,...
'foregroundcolor','k',...
'Units','normalized',...
'HorizontalAlignment','left',...
'Position',[0.12 0.63 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
'style','text',...
'string','Área de ruptura',...
'foregroundcolor','b',...
```

```

        'Units','normalized', ...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.53 0.65 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','A=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.63 0.40 0.04]);
area_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_s_b));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',area_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.63 0.35 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.61 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.59 0.40 0.04]);
dislocacion_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_p_b));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_p_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.59 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.61 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.59 0.40 0.04]);
dislocacion_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_s_b));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.59 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.57 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...

```

```

        'string','Ce=',...
        'foregroundcolor','b',...
        'Units','normalized',...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.03 0.55 0.40 0.04]);

caida_p_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_p_b));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_p_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.55 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.57 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Ce=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.55 0.40 0.04]);
caida_s_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_s_b));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_s_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.55 0.35 0.04]);

%-----

%modelo de Madariaga I (1976)

vcr_M1=0.6*vs;
kp_M1=1.88;
ks_M1=1.32;
nu=3.24*10^10;%kg m^-1 s^-2
radio_p_M1=1000*vs*kp_M1/(2*pi*frcp);%m
radio_s_M1=1000*vs*ks_M1/(2*pi*frcs);%m
area_p_M1=pi*radio_p_M1^2;%m^2
area_s_M1=pi*radio_s_M1^2;%m^2
dislocacion_p_M1=momentop/(nu*area_p_M1);%m
dislocacion_s_M1=momentos/(nu*area_s_M1);%m
caida_p_M1=10^-6*7*momentop/(16*radio_p_M1^3);%MPa
caida_s_M1=10^-6*7*momentos/(16*radio_s_M1^3);%MPa

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Madariaga I (1976)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundcolor','m',...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.03 0.51 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Madariaga I (1976)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundcolor','m',...
    'Units','normalized',...
    'Position',[0.53 0.51 0.40 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Radio falla circular',...

```

```

        'foregroundColor','b',...
        'Units','normalized', ...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.03 0.49 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','R=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.47 0.40 0.04]);
radio_p_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_p_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',radio_p_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.47 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Radio falla circular',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.49 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','R=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.47 0.40 0.04]);
radio_s_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_s_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',radio_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.47 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Área de ruptura',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.45 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','A=',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.43 0.40 0.04]);
area_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_p_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',area_p_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.43 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Área de ruptura',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.45 0.40 0.04]);

```

```

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','A=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.43 0.40 0.04]);
area_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_s_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',area_s_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.43 0.35 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.41 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.39 0.40 0.04]);
dislocacion_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_p_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_p_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.39 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.41 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.39 0.40 0.04]);
dislocacion_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_s_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_s_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.39 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.37 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Ce=',...
    'foregroundcolor','b',...

```



```

        'Units','normalized', ...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.03 0.35 0.40 0.04]);
caida_p_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_p_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_p_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...

    'Position',[0.12 0.35 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.37 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Ce',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.35 0.40 0.04]);
caida_s_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_s_M1));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.35 0.35 0.04]);

%-----
%modelo de Madariaga II (1976)

vcr_M2=0.9*vs;
kp_M2=2.07;
ks_M2=1.38;
nu=3.24*10^10;%kg m^-1 s^-2
radio_p_M2=1000*vs*kp_M2/(2*pi*frcp);%m
radio_s_M2=1000*vs*ks_M2/(2*pi*frcs);%m
area_p_M2=pi*radio_p_M2^2;%m^2
area_s_M2=pi*radio_s_M2^2;%m^2
dislocacion_p_M2=momentop/(nu*area_p_M2);%m
dislocacion_s_M2=momentos/(nu*area_s_M2);%m
caida_p_M2=10^-6*7*momentop/(16*radio_p_M2^3);%MPa
caida_s_M2=10^-6*7*momentos/(16*radio_s_M2^3);%MPa

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Madariaga II (1976)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundColor','m',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.03 0.31 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Madariaga II (1976)',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'foregroundColor','m',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.53 0.31 0.40 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Radio falla circular',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized', ...

```

```

        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.03 0.29 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','R=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.27 0.40 0.04]);
radio_p_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_p_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',radio_p_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.27 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Radio falla circular',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.29 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','R=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.27 0.40 0.04]);
radio_s_t=num2str(sprintf('%6.0f m',radio_s_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',radio_s_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.27 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Área de ruptura',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.25 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','A=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.23 0.40 0.04]);
area_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_p_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',area_p_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.23 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Área de ruptura',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.25 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...

```

```

        'string','A=,...
        'foregroundColor','b',...
        'Units','normalized',...
        'HorizontalAlignment','left',...
        'Position',[0.53 0.23 0.40 0.04]);
area_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m^2',area_s_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',area_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.23 0.35 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.21 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=,...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.19 0.40 0.04]);
dislocacion_p_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_p_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_p_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.19 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Dislocación',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.21 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','D=,...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.19 0.40 0.04]);
dislocacion_s_t=num2str(sprintf('%3.2e m',dislocacion_s_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',dislocacion_s_t,...
    'foregroundColor','k',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.19 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.17 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Ce=,...
    'foregroundColor','b',...
    'Units','normalized',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.03 0.15 0.40 0.04]);

```

```

caida_p_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_p_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_p_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.12 0.15 0.35 0.04]);

kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Caída de esfuerzos',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.17 0.40 0.04]);
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string','Ce=',...
    'foregroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.53 0.15 0.40 0.04]);
caida_s_t=num2str(sprintf('%4.2f MPa',caida_s_M2));
kk = uicontrol(6,...
    'style','text',...
    'string',caida_s_t,...
    'foregroundcolor','k',...
    'Units','normalized', ...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'Position',[0.62 0.15 0.35 0.04]);

%-----

kk=uicontrol(6,...
    'Style','frame', ...
    'backgroundcolor','b',...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[0.01 0.01 0.99 0.13]);

kk = uicontrol(6,...
    'Style','push',...
    'string','SALIR',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.65 0.02 0.30 0.06],...
    'callback',[...
        'close all']);

kk = uicontrol(6,...
    'Style','push',...
    'string','Nuevo cálculo',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.65 0.09 0.30 0.04],...
    'callback',[...
        'close all, fuente']);

kk = uicontrol(6,...
    'Style','push',...
    'string','Fichero resultados',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.06 0.02 0.35 0.03],...
    'callback',[...
        'escribo_resultados']);

kk = uicontrol(6,...
    'Style','push',...
    'string','Fichero velocidad',...
    'Units','normalized', ...
    'position',[0.06 0.10 0.35 0.03],...
    'callback',[...
        'escribo_velocidad']);

kk = uicontrol(6,...

```

```
'Style','push',...  
'string','Fichero desplazamiento',...  
'Units','normalized', ...  
'position',[0.06 0.06 0.45 0.03],...  
'callback',[...  
    'escribo_desplazamiento']);
```

Programa escribo_desplazamiento.m

```
%Escribo el sismograma en desplazamiento en un fichero
%=====
nom_file=abs(velo);
nom_file((length(nom_file)-2))=100;
nom_file((length(nom_file)-1))=101;
nom_file((length(nom_file)))=115;
nom_file=setstr(nom_file);

fid=fopen(nom_file,'w');

fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'Sismograma en desplazamiento [nm]\n');
fprintf(fid,'corregido de respuesta instrumental\n');
fprintf(fid,'J.Rueda y J.Mezcua (2002)\n');
fprintf(fid,'=====\n');

fprintf(fid,'%15.4f\n',despla);

fclose(fid);
```

Programa escribo_velocidad.m

```
%Escribo el sismograma en velocidad en un fichero
%=====
nom_file=abs(velo);
nom_file((length(nom_file)-2))=118;
nom_file((length(nom_file)-1))=101;
nom_file((length(nom_file)))=108;
nom_file=setstr(nom_file);

fid=fopen(nom_file,'w');

fprintf(fid,'=====\\n');
fprintf(fid,'Sismograma en velocidad [nm/s]\\n');
fprintf(fid,'corregido de respuesta instrumental\\n');
fprintf(fid,'J.Rueda y J.Mezcua (2002)\\n');
fprintf(fid,'=====\\n');

fprintf(fid,'%15.4f\\n',veloci);

fclose(fid);
```

Programa escribo_resultados.m

```
%Escribo los resultados en un fichero
%=====
nom_file=abs(velo);
nom_file((length(nom_file)-2))=114;
nom_file((length(nom_file)-1))=101;
nom_file((length(nom_file)))=115;
nom_file=setstr(nom_file);

fid=fopen(nom_file,'w');

fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'Resultados del calculo de parametros de la fuente\n');
fprintf(fid,' Programa FUENTE, J.Rueda y J.Mezcuca (2002)\n');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'Fichero de entrada: %s \n\n',velo);
fprintf(fid,'ONDA P\n\n');
fprintf(fid,'Amplitud espectral uo= %5.3e nm/Hz\n',ampp);
fprintf(fid,'Frecuencia esquina fc= %4.2f Hz\n',frcp);
fprintf(fid,'Momento sismico Mo= %5.2e N m\n',momentop);
fprintf(fid,'Magnitud momento Mw= %3.2f \n\n',mwp);
fprintf(fid,'Modelo de Brune (1970)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_p_b);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_p_b);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_p_b);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n\n',caida_p_b);
fprintf(fid,'Primer modelo de Madariaga (1976)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_p_M1);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_p_M1);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_p_M1);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n\n',caida_p_M1);
fprintf(fid,'Segundo modelo de Madariaga (1976)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_p_M2);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_p_M2);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_p_M2);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n\n',caida_p_M2);
fprintf(fid,'ONDA S\n\n');
fprintf(fid,'Amplitud espectral uo= %5.3e nm/Hz\n',amps);
fprintf(fid,'Frecuencia esquina fc= %4.2f Hz\n',frcs);
fprintf(fid,'Momento sismico Mo= %5.2e N m\n',momentos);
fprintf(fid,'Magnitud momento Mw= %3.2f \n\n',mws);
fprintf(fid,'Modelo de Brune (1970)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_s_b);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_s_b);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_s_b);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n\n',caida_s_b);
fprintf(fid,'Primer modelo de Madariaga (1976)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_s_M1);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_s_M1);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_s_M1);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n\n',caida_s_M1);
fprintf(fid,'Segundo modelo de Madariaga (1976)\n');
fprintf(fid,'-----\n');
fprintf(fid,'Radio de la falla circular R= %6.0f m\n',radio_s_M2);
fprintf(fid,'Area de ruptura A= %3.2e m^2\n',area_s_M2);
fprintf(fid,'Dislocacion D= %3.2e m\n',dislocacion_s_M2);
fprintf(fid,'Caída de esfuerzos Ce= %4.2f MPa\n',caida_s_M2);
fclose(fid);
%escribo fichero espectro P
nom_file=abs(velo);
```



```
nom_file((length(nom_file)-2))=101;
nom_file((length(nom_file)-1))=115;
nom_file((length(nom_file)))=112;
nom_file=setstr(nom_file);
fid=fopen(nom_file,'w');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'valores del espectro para la onda P\n');
fprintf(fid,'frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]\n');
fprintf(fid,'J.Rueda y J.Mezcua (2002)\n');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'    %5.2f    %9.6e\n',[frecpdib,abs(specpcodib)]');
fclose(fid);
%escribo fichero espectro S
nom_file=abs(velo);
nom_file((length(nom_file)-2))=101;
nom_file((length(nom_file)-1))=115;
nom_file((length(nom_file)))=115;
nom_file=setstr(nom_file);
fid=fopen(nom_file,'w');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'valores del espectro para la onda S\n');
fprintf(fid,'frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]\n');
fprintf(fid,'J.Rueda y J.Mezcua (2002)\n');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'    %5.2f    %9.6e\n',[frecsdib,abs(specscodib)]');
fclose(fid);
%escribo fichero espectro Ruido
nom_file=abs(velo);
nom_file((length(nom_file)-2))=101;
nom_file((length(nom_file)-1))=115;
nom_file((length(nom_file)))=110;
nom_file=setstr(nom_file);
fid=fopen(nom_file,'w');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'valores del espectro para el ruido\n');
fprintf(fid,'frecuencia [Hz]    amplitud [nm/Hz]\n');
fprintf(fid,'J.Rueda y J.Mezcua (2002)\n');
fprintf(fid,'=====\n');
fprintf(fid,'    %5.2f    %9.6e\n',[frecndib,abs(specncodib)]');
fclose(fid);
```

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	2
Fundamentos	3
Instalación y arranque del programa	9
Entrada de datos	10
Velocidad y desplazamiento	13
Espectros	15
Resultados	16
Referencias	20
Programa fuente.m	21
Programa espectros.m	26
Programa amplitud.m	30
Programa fase.m	31
Programa resultados.m	32
Programa escribo_desplazamiento.m	46
Programa escribo_velocidad.m	47
Programa escribo_resultados.m	48