

EFFECTOS LOCALES UN CASO DE APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Juan Sebastián Murillo Salazar

Universidad EAFIT
Jmuril10@eafit.edu.co

Medellín, Antioquia, Colombia

Abstract: Tomando como punto de partida el modelo unidimensional de onda de corte, se estiman los 4 parámetros dinámicos que caracterizan la respuesta dinámica de un perfil de suelo (velocidad de propagación ondas de corte, altura del perfil de suelo, amortiguamiento, impedancia). Para este caso en particular, el proceso de estimación implementa el heurístico de Recocido Simulado (Simulated Annealing); el cual fue desarrollado en el software MATLAB. El proceso se efectúa estrictamente en el dominio de la frecuencia; para 6 estaciones acelerográficas pertenecientes a la RAM (Red Acelerográfica de Medellín) con código EET, SEM, UEA, SOL, CSJ, FMI. A pesar de la incertidumbre asociada a los parámetros, la complejidad del problema; tanto desde el aspecto geofísico y computacional; se logra obtener de forma satisfactoria buenas soluciones en un tiempo de cómputo razonable.

Keywords: Microzonificación sísmica, Función de transferencia, Estimación de parámetros, optimización, Heurística, RAM.

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos matemáticos y físicos desarrollados en este documento, se fundamentan en los trabajos realizados por (Jaramillo ,2003), (Restrepo, Jaramillo), (Smith, 2007), (Zill, 2006), (O'Neil, (2004) y (Roesset, 1969). Con respecto al proceso de estimación, optimización, e implementación del algoritmo, se toman se como referencia a (Díaz, 1996) (Palacio, Gallego), (Álvarez, Vélez), y (Londoño, Vélez, 2009).

La ubicación geográfica de la ciudad de Medellín, así como las características geomorfológicas y geométricas de los diferentes suelos que la componen; hacen de la ciudad un ambiente propicio para el estudio del comportamiento dinámico que tienen los diferentes perfiles de suelo; cuando son sometidos a esfuerzos por cargas provenientes de solicitaciones sísmicas.

El Valle de Aburrá, está localizado en la parte alta del norte de la cordillera Central, con un área de 1152 km² y una longitud aproximada de 80 km.

Desde el punto de vista tectónico el Valle se encuentra localizado en una zona de gran actividad sísmica, puesto que en este lugar Convergen las placas Nazca, Suramérica y del Caribe; con una cuarta placa denominada microplaca de de Panamá.

Según (Smith, 2007) debido a su localización, el Valle está expuesto a una amenaza sísmica intermedia, con eventos sísmicos superficiales provenientes principalmente de sismo-fuentes del noroccidente de Colombia; ubicadas en el Chocó y el Urabá Antioqueño. Igualmente está expuesta a sismo-fuentes profundas y superficiales del Eje Cafetero, así como a sismos pertenecientes al sistema Cauca Romeral. Debido a la proximidad que tiene el Valle a sismo-fuentes del sistema de fallas Cauca-Romeral, la amenaza sísmica esperada dentro del Valle es variable; siendo mayor en el extremo suroccidental, que hacia los municipios localizados hacia la parte noroccidental; como Girardota y Barbosa.

La Historia ha evidenciado que el Valle ha estado sometido a sismos con intensidades intermedias que han causado daños significativos, como el sismo de Mistrató de 1979, Murindó y Opogadó de 1992, y el más reciente Armenia 1999. Estos eventos sísmicos mostraron la vulnerabilidad y las consecuencias que puede presentar la ciudad de Medellín ante sismos de mayor intensidad.

Fue por esta razón que en el año de 1996 el SIMPAD (Sistema de Prevención y Atención de desastres de Medellín), adscrito a la secretaria privada de la alcaldía, ejecuto el consorcio de Microzonificación sísmica con el GSM (Grupo de sismología de Medellín); conformado por Solingral S.A, Integral S.A, Inteinsa, Universidad EAFIT, Universidad Nacional sede Medellín. Este consorcio se realizo con el objetivo final de mejorar la seguridad sísmica de la ciudad y por ende definir y proponer una normativa local para el diseño sismoresistente de estructuras.

El proyecto de Microzonificación consistió principalmente en la instalación de una red de sensores (Acelerógrafos) que registran y almacenan la aceleración del suelo cuando se presenta un evento sísmico. Los datos registrados por estos acelerógrafos son procesados y utilizados posteriormente por los expertos en la operación de la red, para el proceso de análisis y estudio. Esta red nombrada RAM (Red Acelerográfica de Medellín) y la RAVA (Red Acelerográfica del Valle de Aburrá) cuentan en la actualidad con aproximadamente 40 sensores instalados en 14 zonas homogéneas definidas en el proyecto de Microzonificación sísmica de la ciudad. En la (Tabla 1), se puede ver localización de algunas de las estaciones pertenecientes a la red RAM.

Toda La información histórica proporcionada por la RAM en forma de acelerogramas, es utilizada como el insumo principal para todo el proceso de estimación de los parámetros; de cada una de las funciones de transferencia de las 6 estaciones mencionadas anteriormente.

2. ELEMENTOS MATEMÁTICOS FUNDAMENTALES

2.1. Una mirada de cerca a las vibraciones mecánicas forzadas

En un primer intento por analizar la respuesta dinámica de los perfiles de suelo en el dominio del tiempo, así como un primer paso para poder entender el problema de la ecuación de onda, se considera como aproximación, el paradigma masa-resorte; el cual puede ser expresado de la siguiente forma:

$$[Inercia] y'' + [Amortiguamiento] y' + [Rigidez] y = F_{\text{Externa}}$$

Esta igualdad se puede representar de una manera más conveniente como:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = F_{\text{Externa}} \quad (1)$$

Tabla 1. Localización de estaciones acelerográficas pertenecientes a la RAM

Estación	Código	Lat (°N)	Lon (°W)	Alt (m)	Equipo	Suelo	Sector
Jardín Botánico	BOT	6.271	75.565	1460	ETNA	C	Jardín
Colegio San José	CSJ	6.247	75.555	1620	ETNA	B	Enciso
Tanque de Aures EPM	EAU	6.296	75.602	2026	ETNA	C	Aures
Centro de control EPM	ECC	6.271	75.608	1450	ETNA	C	Sta. Rosa de
Tanque el Tesoro EPM	EET	6.201	75.557	1650	K2	C	El Poblado
Planta la Montaña EPM	EMO	6.284	75.541	2170	ETNA	C	Sto. Domingo
Santa Elena	ESE	6.194	75.532	2820	ETNA	A	Sta. Elena
Planta Villahermosa	EVH	6.262	75.552	1730	ETNA	B	Villahermosa
Tanque Villa Tina	EVT	6.244	75.544	1822	ETNA	B	Villa Tina
Facultad de Minas	FMI	6.278	75.595	1537	ETNA	B	Robledo
Itaguí	ITA	6.182	75.665	1611	EPISENSOR		Itaguí
ISA	ISA	6.262	75.552	1730	ETNA	C	El Poblado
Inspección San Joaquín	ISJ	6.373	75.591	1427	ETNA	B	San Joaquín
Liceo U. De Medellín	LIC	6.236	75.547	1688	ETNA	B	Buenos Aires
Colegio Padre	MAN	6.222	75.613	1605	ETNA	C	Belén
Fund. Amigo Policía	POL	6.253	75.616	1633	ETNA	C	La América
Seminario Mayor	SEM	6.225	75.554	1877	ETNA	C	Las Palmas
Fun. Solidaridad. por	SOL	6.236	75.546	1460	ETNA	C	Zamora
Sena Pedregal	SPE	6.35	75.5	1499	ETNA	B	Pedregal
Universidad de	UDM	6.235	75.616	1595	ETNA	D	Belén
Universidad EAFIT	UEA	6.203	75.581	1518	ETNA	C	La Aguacatala
Universidad Nacional	UNA	6.258	75.578	1488	ETNA	C	Carlos E.

En la ecuación diferencial de segundo orden (1),

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = F_0 \cos \gamma t \quad (2)$$

m := representa la masa del sistema

b := constante de viscosidad

k := constante de rigidez del resorte

$F_{Externa}$:= Fuerza externa

La ecuación diferencial (1) es empleada ampliamente en ingeniería y otras ramas de la ciencia para analizar la dinámica de vibraciones mecánicas forzadas, las cuales son de interés particular en el desarrollo del problema que aquí se trata; ver (Fig. 1), para una representación simplificada del problema. Con el objetivo de encontrar una solución $y(t)$ a la ecuación diferencial (1), se sustituirá $F_{Externa}$ por $F_0 \cos \gamma t$. Así (1) queda de la siguiente forma:

Donde γ representa la frecuencia de excitación de la fuerza externa. Una solución de (2) tiene la forma $y(t)_G + y(t)_P$, en la que $y(t)_G$ representa la solución general de la correspondiente ecuación diferencial homogénea, es decir:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = 0 \quad (3)$$

y $y(t)_P$ la solución particular. La ecuación auxiliar asociada a (3) es:

$$mr^2 + br + k = 0 \quad (4)$$

y sus raíces son:

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4mk}}{2m} = -\frac{b}{2m} \pm \frac{1}{2m} \sqrt{b^2 - 4mk} \quad (5)$$

La forma de la solución a la ecuación (3) depende de la naturaleza de estas raíces, y en particular, del discriminante $b^2 - 4mk$, (Zill, 2006). Para nuestro interés, el caso en el que $b^2 < 4mk$ es relevante; ya que representa un movimiento de tipo subamortiguado, es decir, es el caso cuando el valor de la constante de viscosidad o amortiguamiento b^2 , es menor en comparación con la masa y la constante de rigidez del resorte; y por lo tanto la fuerza externa proporcionada al sistema tiene la capacidad de poner en oscilación a la masa alrededor de un punto de equilibrio. Cuando $b^2 < 4mk$, implica que, el discriminante $b^2 - 4mk$ es negativo y por lo tanto existen dos raíces complejas conjugadas de la ecuación auxiliar (4), y estas raíces son $\alpha \pm i\beta$, donde:

$$\alpha := -\frac{b}{2m}, \quad \beta := \frac{1}{2m} \sqrt{4mk - b^2} \quad (6)$$

Y una solución general de (3) sería:

$$y(t) = e^{\alpha t} (C_1 \cos \beta t + C_2 \sin \beta t) \quad (7)$$

Con C_1 y C_2 constantes por determinar. Así como en el caso del movimiento armónico simple, es decir cuando

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + ky = 0 \quad (9)$$

Podemos expresar (7) en una forma alternativa como:

$$y(t) = Ae^{\alpha t} \sin(\beta t + \phi) \quad (10)$$

En la que A representa la amplitud, $\beta t + \phi$ la fase y ϕ la fase inicial. Donde:

$$A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \quad \text{y} \quad \tan \phi = \frac{C_1}{C_2}$$

Tomando los elementos mencionados en los párrafos anteriores, y recordando que una solución a la ecuación (2) tiene la forma $y(t)_G + y(t)_P$; se puede expresar $y(t)_G$ como:

$$y(t)_G = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \sin\left(\frac{\sqrt{4mk - b^2}}{2m}t + \phi\right) \quad (11)$$

Para hallar $y(t)_P$ se puede usar el método de los coeficientes indeterminados. Por la forma del término no homogéneo la forma de la solución $y(t)_P$ puede ser escrita como:

$$y(t)_P = A_1 \cos \gamma t + A_2 \sin \gamma t \quad (12)$$

En la cual A_1 y A_2 son constantes por determinar. Al sustituir esta expresión en (2) y simplificar se tiene:

$$\begin{aligned} [(k - m\gamma^2)A_1 + b\gamma A_2] \cos \gamma t + \\ [(k - m\gamma^2)A_2 + b\gamma A_1] \sin \gamma t = F_0 \cos \gamma t \end{aligned} \quad (13)$$

Al igualar los coeficientes correspondientes de ambos lados de (13) se obtiene:

$$A_1 = \frac{F_0(k - m\gamma^2)}{(k - m\gamma^2)^2 + b^2\gamma^2} \quad \text{y} \quad (14)$$

$$A_2 = \frac{F_0 b \gamma}{(k - m\gamma^2)^2 + b^2\gamma^2} \quad (15)$$

De esta manera una expresión para $y(t)_P$ sería:

$$y_p(t) = \frac{F_0 b \gamma}{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2} \times [(k - m\gamma^2) \cos \gamma t + b \sin \gamma t] \quad (16)$$

Operando algebraicamente la expresión entre corchetes en (16) se obtiene una forma equivalente $\sqrt{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2} \text{sen}(\gamma t + \theta)$. De este modo se puede expresar $y_p(t)$ en forma alternativa

$$y_p(t) = \frac{F_0}{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2} \text{sen}(\gamma t + \theta) \quad (17)$$

$$\text{Donde } \theta = \frac{A_1}{A_2} = \frac{k - m\gamma^2}{\gamma^2}$$

Realizando la suma de (17) y (11) se obtiene por fin una solución al paradigma masa-resorte:

$$y(t) = Ae^{-\frac{b}{2m}t} \text{sen}\left(\frac{\sqrt{4mk - b^2}}{2m}t + \phi\right) + \frac{F_0}{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2} \text{sen}(\gamma t + \theta) \quad (18)$$

Como se puede ver en la ecuación (18) y la (Fig. 2), la solución total está conformada por dos términos, el primero de ellos representa la oscilación amortiguada (subamortiguada), la cual depende solo de los parámetros del sistema m , b , k y las condiciones iniciales. En el primer término es visible un factor $Ae^{-\frac{b}{2m}t}$ de amortiguamiento el cual decrece exponencialmente cuando $t \rightarrow \infty$. Este primer término se conoce como la solución transitoria.

El segundo término en (18) es el resultado de la acción de la fuerza externa $f(t) = F_0 \cos \gamma t$ con frecuencia angular γ .

En la (Fig. 1) se puede observar la solución (18). La solución $y_p(t)$ se encuentra desfasada de $f(t) = F_0 \cos \gamma t$ por un ángulo de $\theta - \pi/2$ y su magnitud difiere por el factor

$$\frac{1}{\sqrt{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2}} \quad (19)$$

En su totalidad el término 2 en (18) se conoce como solución de estado estable y es el término que queda al extinguirse la solución transitoria.

De esta manera se puede concluir que la solución total es la suma de una solución transitoria y una en estado estable. El factor (19) es denominado como, ganancia de frecuencia o factor de ganancia y representa la razón entre la magnitud de la respuesta sinusoidal y la magnitud de la fuerza de entrada. Obsérvese que este factor depende de la frecuencia γ y tiene unidades de longitud/fuerza. Es de interés conocer la forma en que el sistema reacciona a sinusoides de varias frecuencias para un vector de parámetros fijos $\Theta = [m, b, k]$, para este fin es útil trazar la gráfica de la ganancia:

$$M(\gamma) := \frac{1}{\sqrt{(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2}} \quad (20)$$

Conocida como curva de respuesta en frecuencia, o curva de resonancia para el sistema (Zill, 2006) Para trazar la curva de respuesta en frecuencia analicemos de (20) que, cuando $\gamma \rightarrow \infty$ la ganancia $M(\gamma) \rightarrow 0$. Si se deriva (20) se obtiene

$$M'(\gamma) := \frac{2m^2 \gamma \left[\gamma^2 - \left(\frac{k}{m} - \frac{b^2}{2m^2} \right) \right]}{[(k - m\gamma^2)^2 + b^2 \gamma^2]^{3/2}} \quad (21)$$

Para calcular los máximos y los mínimos de la función $M(\gamma)$ analicemos los puntos críticos donde la derivada (21) se hace cero, es decir $M'(\gamma) = 0$ si y solo si $\gamma = 0$ o

$$\gamma = \gamma_r = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}} \quad (22)$$

Cuando $b^2 < 4mk$ (subamortiguado), γ_r es un real positivo, y $M(\gamma)$ tiene un máximo en γ_r y el valor $\gamma_r / 2\pi$ se le llama frecuencia de resonancia. Cuando el sistema es estimulado por una fuerza externa que posee esta misma frecuencia, se dice que, el sistema está en un estado de resonancia.

Para ilustrar el efecto que tiene la constante de amortiguamiento sobre la curva de resonancia, se puede observar la (Fig. 3). Obsérvese que cuando $b \rightarrow 0$ la magnitud de la frecuencia de ganancia se hace máxima.

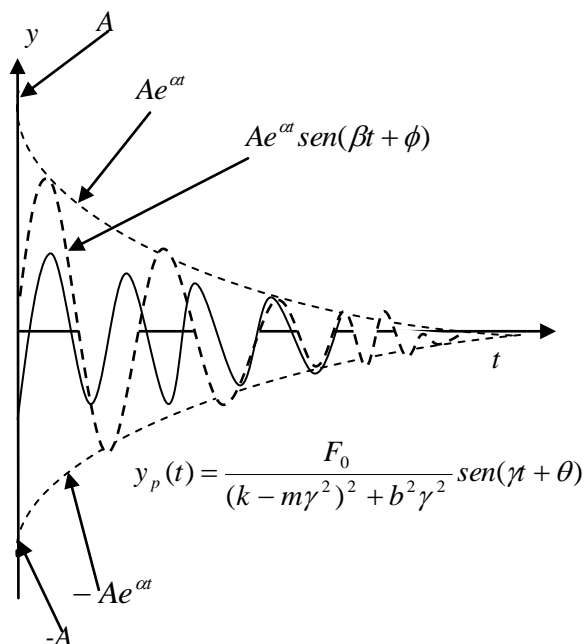


Fig. 2. Respuesta de un sistema masa-resorte, amortiguador viscoso ante una fuerza externa de frecuencia angular γ .

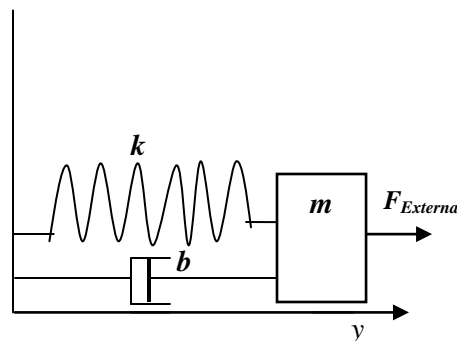


Fig. 1. Representación esquemática de un oscilador masa-resorte amortiguador viscoso con parámetros k, m, b .

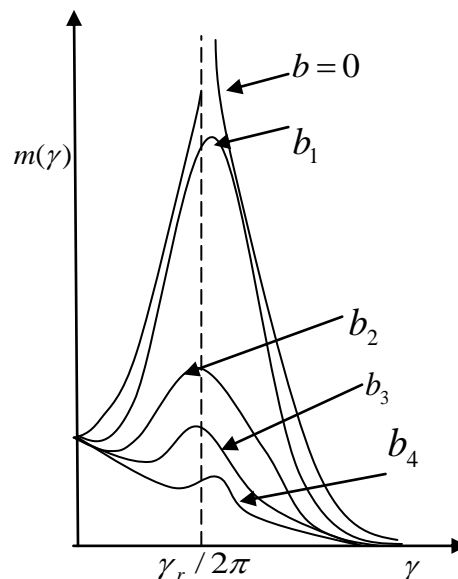


Fig. 3. Curva de resonancia para diferentes valores de la constante de amortiguamiento b , con $b_1 < b_2 < b_3 < b_4$ y γ_r frecuencia de resonancia.

2.2. Sistemas análogos

Así como un ingeniero civil puede utilizar la ecuación diferencial (2) para analizar el movimiento de una estructura (edificio, puente, elemento estructural) y el fenómeno de resonancia de la misma; un economista o un ingeniero electricista pudieran estar utilizando la misma ecuación para modelar un fenómeno totalmente diferente.

Haciendo analogía con (2), el ingeniero electricista por ejemplo, podría estar interesado en analizar las vibraciones eléctricas en un circuito, y/o determinar la carga $q(t)$ del mismo. De acuerdo con la segunda ley de Kirchhoff, en un circuito en serie LRC (Inductor, Resistor, Capacitor) ver (Fig. 4), sometido a un voltaje $E(t)$; la suma de las caídas del voltaje a través de los elementos del inductor, capacitor y resistor es igual al voltaje aplicado al circuito, esto es,

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C}q = E(t) \quad (23)$$

Donde $i = \frac{dq}{dt}$, relaciona la corriente $i(t)$ con la carga del capacitor $q(t)$, de manera que la ecuación (23) se transforma en la ecuación diferencial de segundo orden

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = E(t) \quad (24)$$

En la que el valor del discriminante $R^2 - 4L/C$ determinará la característica del circuito, si esta cantidad es menor que cero el circuito se encuentra sub-amortiguado. Si el problema fuera encontrar una solución particular $q_p(t)$ de estado estable en un dispositivo sometido a un voltaje $E(t) = E_0 \text{sen} \gamma t$; entonces una solución podría tener la forma

$$q_p(t) = A \text{sen} \gamma t + B \text{sen} \gamma t \quad (25)$$

Si se sustituye (25) en (24), se aplica el método de coeficientes indeterminados, se simplifica y se igualan los coeficientes se obtienen los siguientes valores de A y B:

$$A = \frac{E_0(L\gamma - 1/C\gamma)}{-\gamma^2(L^2\gamma^2 - 2L/C + 1/C^2\lambda^2 + R^2)} \quad (26)$$

$$B = \frac{E_0R}{-\gamma(L^2\gamma^2 - 2L/C + 1/C^2\lambda^2 + R^2)} \quad (27)$$

Si se expresa A y B en términos de dos nuevos símbolos X y Z se tiene que:

$$X = L\gamma - \frac{1}{C\gamma} \quad \text{y} \quad (28)$$

$$X^2 = L^2\gamma^2 - \frac{2}{LC} + \frac{1}{C^2\gamma^2} \quad (29)$$

y por consiguiente

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2} \quad (30)$$

Las cantidades definidas en (28) y (30) se llaman reactancia e impedancia del circuito. En el caso análogo del oscilador masa resorte gobernado por (2), la impedancia quedaría definida por

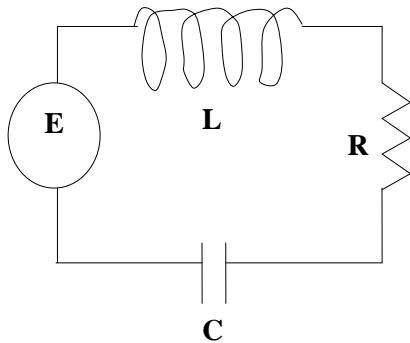
$$Z = \sqrt{(m\gamma - k/\gamma)^2 + \lambda^2} \quad (31)$$

$$X = m\gamma - k/\gamma \quad (32)$$

$$R = \lambda \quad (33)$$

Esta última cantidad Z es el parámetro adicional que distingue los osciladores forzados. Haciendo analogía entre los osciladores eléctricos y mecánicos, el parámetro impedancia de un perfil de suelo; relaciona la densidad y el módulo de corte, entre el suelo y la roca por medio de la siguiente expresión:

$$I = \sqrt{\frac{G_s \rho_s}{G_r \rho_r} (1 + 2i\xi_s)} \quad (34)$$



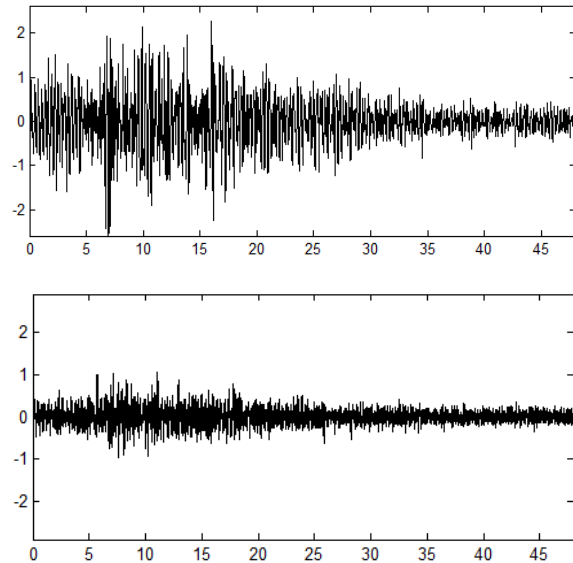
(Fig. 4) Circuito eléctrico en serie RLC.

2.3. Sistemas Dinámicos y Análisis de Fourier

Cuando se quiere analizar la respuesta de un sistema dinámico ante entradas y/o señales de excitación, por lo general esta respuesta se mide en el dominio del tiempo, ver (Fig. 5); características como, sobrepaso máximo, tiempo de levantamiento t_r , tiempo de retardo t_d y tiempo de asentamiento t_s son las más empleadas en los análisis de desempeño de sistemas dinámicos en este dominio.

Sin embargo, encontrar soluciones analíticas en el dominio del tiempo para sistemas de orden superior es más complejo en comparación con el análisis en el dominio de la frecuencia; en el cual se cuenta con métodos gráficos que no están limitados a sistemas de bajo orden. Además, es importante notar que existe una correlación entre las propiedades en el dominio del tiempo y el de la frecuencia en un sistema lineal; de tal manera que las características en el dominio del tiempo se pueden estimar con base en las características en el dominio de la frecuencia, (Kuo, 1996).

También es importante resaltar que, conducir el análisis de un sistema en el dominio de la frecuencia,



(Fig. 5). Acelerograma. Respuesta en el tiempo del perfil de suelo (Sector Tesoro, Medellín) ante un sismo.

Implicar que, éste deba ser sometido solamente a entradas senoidales. Por otro lado el dominio de la frecuencia es más apropiado para mediciones de sensibilidad al ruido así como de variaciones a los parámetros.

El punto de partida para el análisis en el dominio de la frecuencia de un sistema lineal es su función de transferencia, la cual deduciremos después de exponer algunos elementos fundamentales en el desarrollo de la misma.

2.3.1 Especificaciones en el dominio de la frecuencia

Así como en la variable tiempo se pueden definir características tales como el sobrepaso máximo, tiempo de levantamiento y otros; en la frecuencia se emplean el pico de resonancia, frecuencia de resonancia y al ancho de banda; como las tres cualidades principales para identificar un sistema en la variable frecuencia.

Si un sistema puede ser representado por una ecuación diferencial ordinaria en el tiempo, entonces su equivalente función de transferencia en la frecuencia, está dada por el cociente entre la Transformada de Laplace de la salida y la Transformada de Laplace de la entrada del sistema. La cual se puede representar como:

$$G(s) = \frac{\ell\{y(t)\}}{\ell\{u(t)\}} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (35)$$

En la cual

$G(s)$: Función de Transferencia

$$\ell\{y(t)\} = \int_0^{\infty} y(t)e^{-st} dt \quad (36)$$

$$\ell\{u(t)\} = \int_0^{\infty} u(t)e^{-st} dt \quad (37)$$

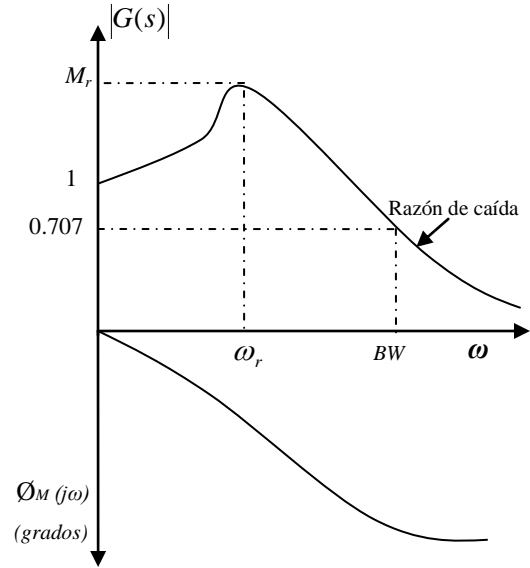
El pico de resonancia M_r se define como el máximo valor de $|G(s)|$. Normalmente un valor grande de M_r corresponde a un sobrepaso máximo grande de la respuesta escalón. La frecuencia de resonancia ω_r es la frecuencia en la cual el pico de resonancia M_r ocurre. El ancho de banda BW es la frecuencia en la cual $|G(s)|$ cae al 70.7% de, o 3 dB debajo de su valor en la frecuencia cero, ver (Fig. 5). En general, un ancho de banda grande corresponde a un tiempo de levantamiento corto, ya que las señales de la más alta frecuencia pasan más fácil a través del sistema. Los valores de M_r . Los valores de M_r , ω_r y BW se para un sistema prototipo de segundo orden se pueden calcular como:

$$M_r = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (38)$$

$$\omega_r = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad (39)$$

$$BW = \omega_n[(1-2\zeta^2) + \sqrt{\zeta^4 - 4\zeta^2 + 2}]^{1/2} \quad (40)$$

Con ω_n y ζ , la frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento relativo.



(Fig. 6). Características típicas de ganancia y fase. El valor de ω_r se calcula como

$$\omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2}$$

El pico de resonancia M_r depende de ζ solamente. Cuando $\zeta = 0$, M_r es infinita. Cuando ζ se incrementa, M_r aumenta. BW es directamente proporcional a ω_n e inversamente proporcional al tiempo de levantamiento. El ancho de banda y M_r son proporcionales entre sí para $0 \leq \zeta \leq 0.707$. El ancho de banda y el tiempo de levantamiento son inversamente proporcionales. Por tanto, a mayor ancho de banda, el sistema responderá más rápido. Cuando se incrementa ω_n aumenta BW y disminuye t_r . Al aumentar ζ disminuye BW e incrementa t_r .

Además del ancho de banda, otro parámetro importante es la razón de corte o de caída, la cual junto con el ancho de banda permiten identificar la capacidad que tiene un sistema en distinguir señales de ruido.

2.3.2. Análisis de Fourier

En general, el punto de partida del análisis de Fourier se basa en el hecho de que; una función se puede representar de forma equivalente por una serie de constantes multiplicadas por funciones seno y/coseno de diferentes frecuencias, de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(n\pi x/L) + b_n \text{cos}(n\pi x/L) \quad (41)$$

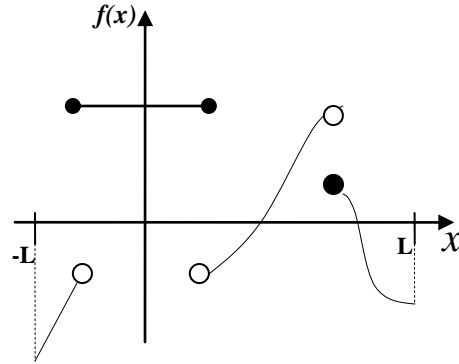
En (41) las constantes a_0 , a_n y b_n se definen por los números

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx \quad (42)$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \text{cos}(n\pi x/L) dx \quad (43)$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \text{sen}(n\pi x/L) dx \quad (44)$$

La ecuación (41) se conoce como la Serie de Fourier de una función, en el intervalo $[-L, L]$. Tanto esta igualdad como las ecuaciones (42), (43) y (44) se cumplen bajo ciertas condiciones sobre la función $f(x)$; características como continuidad y suavidad a pedazos o a trozos, son esenciales para garantizar la convergencia de la serie de Fourier a la función original $f(x)$, (O'Neil, 2005). En términos simples una función es continua a pedazos en un intervalo $[a, b]$, si cumple con las condiciones de discontinuidad; excepto para un número finito de puntos en este intervalo, los puntos donde esto sucede se denominan discontinuidades de salto de la función. La (Fig 7.) representa esquemáticamente una función continua a pedazos. Ahora, una función f es suave a pedazos en $[a, b]$ si tanto f como su derivada f' son continuas a pedazos en $[a, b]$.

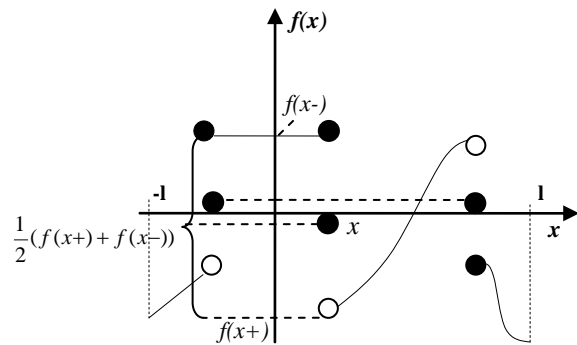


(Fig. 7). Gráfica típica de una función continua a pedazos.

Si se cumplen las condiciones especificadas sobre $f(x)$, la serie de Fourier converge entonces a

$$\frac{1}{2}(f(x+) + f(x-)) \quad (45)$$

Para cada punto del intervalo $(-L, L)$. Esto quiere decir, que la serie converge al promedio de los límites izquierdo y derecho en cada x del intervalo abierto, además si la función es continua en x estos límites izquierdo y derecho son iguales; y por lo tanto la serie converge al valor de la función en x . La (Fig. 8) muestra la Serie de Fourier de la función de la (Fig. 7)

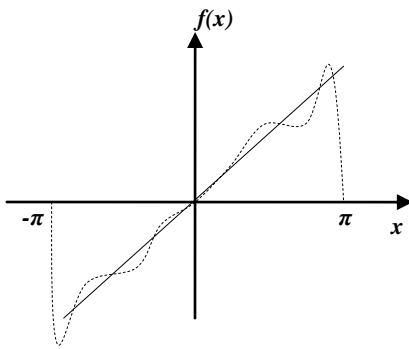


(Fig. 8) Serie de Fourier de la Fig anterior

Análogamente, la convergencia de la serie en los extremos del intervalo $[-L, L]$; es decir en $-L$ y L es:

$$\frac{1}{2}(f(L-) + f(L+)) \quad (46)$$

La serie de Fourier converge al mismo valor en los extremos del intervalo, en la (Fig. 9) se puede apreciar, la convergencia de la serie de Fourier para $f(x) = x$.



(Fig. 9) Cuarta suma parcial de la serie de Fourier

$$S_4(x) = \sum_{n=1}^4 \frac{2(-1)^{n+1}}{n} \text{sen}(nx)$$

Es significativo resaltar que, aunque la función f que nos interese puede estar definida en $[-L, L]$; su serie de Fourier está definida para todo número real. Surge entonces la pregunta de ¿cómo igualar la representación de una función que está definida sólo en un intervalo con una función que es periódica y puede estar definida en toda la recta real?. Esto se puede resolver tomado como premisa la periodicidad de la serie de Fourier, de hecho, la serie de Fourier tiene periodo $2L$; lo que implica que, la serie no cambia si se reemplaza x por $x + 2l$. Si se toma la grafica de $f(x)$ en $[-L, L]$ y se la reproduce en intervalos sucesivos de longitud $2L$, esto define una nueva función periódica f_p que coincide con $f(x)$ para toda $-L \leq x \leq L$.

Una función es periódica con periodo p si $f(x + p) = f(x)$. De hecho, si una función tiene un periodo, dicha función tiene muchos periodos. Por ejemplo, la función $\text{COS}(x)$ tiene periodos $2\pi, 4\pi, 6\pi, -2\pi, -4\pi, -6\pi$, o de forma más general, $2n\pi$ para cualquier entero n . El periodo positivo mínimo de una función se llama periodo fundamental. El periodo fundamental de $\text{COS}(x)$ y $\text{sen}(x)$ es 2π . Esta cualidad de periodicidad de la serie y de algunas funciones $f(x)$, permiten escribir una forma alterna de la serie de Fourier definida en (41). Esta forma alterna es denominada la forma de ángulo fase de la serie de Fourier, y se define de la siguiente manera:

$$\frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{COS}(n\omega_0 + \delta_n) \quad (47)$$

Con

$$\omega_0 = 2\pi / p \quad (48)$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{Para } n=1, 2, 3, \dots \quad (49)$$

$$\delta_n = \tan^{-1}(-b_n / a_n) \quad (50)$$

En las igualdades (49) y (50) los números a_n y b_n se calculan de la misma manera que se hizo en (43) y (44), con la diferencia que, en esta forma (47) se reemplaza L por $p/2$, y por ende ya no integramos de $-L$ a L sino de $-p/2$ a $p/2$.

La expresión (47) también es conocida como forma armónica, en la que, el termino $\text{COS}(n\omega_0 + \delta_n)$ es la n -ésima armónica de f , c_n la n -ésima amplitud armónica y δ_n el n -ésimo ángulo fase de f .

Como se mencionó anteriormente, la solución de problemas en la variable frecuencia; dispone de herramientas gráficas y otros elementos que, simplifican la interpretación y estimación de la solución a un problema en particular inclusive si este es de orden superior. El espectro de amplitud es una de ellas, y en el caso de una función periódica f es una grafica de los valores de $n\omega_0$ en el eje x versus $c_n/2$ en el eje y ; es decir, el espectro de amplitud es el conjunto de puntos $(n\omega_0, c_n/2)$ para $n = 0, 1, 2, \dots$. La importancia del espectro radica en que, permite visualizar la magnitud de las armónicas de las cuales está compuesta la función periódica y esclarecer cuales armónicas dominan en la función.

Muchas veces en la solución de problemas reales de ingeniería y ciencia es conveniente trabajar en términos de los números complejos, los cuales están compuestos de; una parte real y otra imaginaria y se pueden representar de la forma $a + bi$, con a y b reales e i la unidad imaginaria. En este campo de los complejos también se puede encontrar una representación para la serie de Fourier de una función, sustituyendo en (41) por:

$$\text{sen}(x) = \frac{1}{2i}(e^{ix} - e^{-ix}) \quad (51)$$

Y

$$\text{cos}(x) = \frac{1}{2}(e^{ix} + e^{-ix}) \quad (52)$$

Operando algebraicamente se puede deducir que, sí f tiene periodo fundamental p y $\omega_0 = 2\pi/p$, entonces la serie de Fourier compela de f es:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} d_n e^{in\omega_0 x} \quad (53)$$

Con

$$d_n = \frac{1}{p} \int_{-p/2}^{p/2} f(t) e^{-in\omega_0 t} dt \quad (54)$$

Para $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Los números d_n son llamados los coeficientes de Fourier complejos de f . En la fórmula para d_n , la integración se puede realizar sobre cualquier intervalo de longitud p , debido a la periodicidad de f . De forma análoga con la serie ángulo fase el espectro de amplitud de la serie de Fourier compleja de una función periódica es la gráfica de los puntos $(n\omega_0, |d_n|)$, en donde $|d_n|$ es la magnitud del coeficiente complejo d_n .

2.3.2.1. La Integral y la Transformada Fourier

En la sección anterior vimos como se puede hacer una representación en serie de f , con la condición de qué, la función fuera periódica de periodo p . En este sentido, la integral de Fourier no exige periodicidad para la representación de una función en la recta real; exige que f sea absolutamente integrable y suave a pedazos. Bajo estas hipótesis, en cada x , la integral de Fourier converge a

$$\frac{1}{2}(f(x-) + f(x+))$$

En particular, si la función es continua en x la integral converge a $f(x)$. Frecuentemente esta integral de Fourier se escribe así:

$$\int_0^{\infty} [A_{\omega} \cos(\omega x) + B_{\omega} \text{sen}(\omega x)] d\omega \quad (55)$$

En donde los coeficientes de la integral de Fourier de f son

$$A_{\omega} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \cos(\omega\xi) d\xi \quad (56)$$

Y

$$B_{\omega} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \sin(\omega\xi) d\xi \quad (57)$$

Así como con la serie de Fourier, se puede representar la integral en forma compleja:

$$\frac{1}{2}(f(x+) + f(x-)) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C_{\omega} e^{i\omega x} d\omega \quad (58)$$

Con

$$C_{\omega} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (59)$$

Se denomina a C_{ω} como el coeficiente de la integral de Fourier compleja. La integral de Fourier compleja (58), nos conduce de forma natural a la Transformada de Fourier. Así dicha transformada es el coeficiente C_{ω} en la representación de integral de Fourier compleja, la cual se expresa normalmente por:

$$\mathfrak{F}[f](\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (60)$$

Debido a que la transformada de Fourier es bastante empleada en el análisis de señales, se define a t como la variable tiempo y a ω , la frecuencia. Es usual escribir $\hat{f}(\omega)$ en vez de $\mathfrak{F}[f](\omega)$, con el objetivo de simplificar la nomenclatura en los cálculos. Debido a la ecuación (58), la representación en integral de Fourier de f es:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Ahora, si f es continua y f' es continua a pedazos en todo intervalo $[-L, L]$; entonces la integral de Fourier de f representa a f , es decir:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (61)$$

Se dice que la integral que define la transformada, (60) y la integral (61), que da su inversa constituyen el par de Fourier.

En el contexto de la transformada de Fourier, el espectro de amplitud frecuentemente se interpreta como la gráfica de $|\hat{f}(\omega)|$.

La transformada de Fourier cumple con varios axiomas, para ver con más detalle los teoremas de; corrimiento del tiempo, corrimiento de la frecuencia, teorema de escala, inversión del tiempo, simetría y modulación, entre otros; ver capítulo dos de (O'Neil, 2005).

Teoremas como la regla operacional juegan un rol importante en la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, ya que definen una regla general de cálculo para resolver transformadas de derivadas. Dicha regla se expresa así:

$$\mathfrak{F}[f^{(n)}(t)] = (i\omega)^n \hat{f}(\omega) \quad (61)$$

De igual forma se puede definir la transformada de una integral por:

$$\mathfrak{F}\left[\int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau\right](\omega) = \frac{1}{i\omega} \hat{f}(\omega) \quad (62)$$

Otra propiedad adicional, que también desempeña un papel importante en las propiedades de la transformada, es la convolución. Si f y g son funciones definidas en la recta real, entonces se puede definir la convolución entre ellas como:

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t - \tau)g(\tau)d\tau \quad (63)$$

Siempre y cuando

$\int_a^b f(t)dt$ y $\int_a^b g(t)dt$ existan para todo intervalo

$[a, b]$ y Además, $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t - \tau)| d\tau$ converja.

La convolución, cumple con propiedades de conmutatividad y linealidad; lo cual permite definir los siguientes resultados:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f * g(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \int_{-\infty}^{\infty} g(t)dt \quad (64)$$

$$\widehat{f * g}(\omega) = \hat{f}(\omega) \hat{g}(\omega) \quad (65)$$

$$\widehat{f(t)g(t)}(\omega) = \frac{1}{2\pi}(\hat{f} * \hat{g})(\omega) \quad (66)$$

Las igualdades definidas en (65) y (66) representan la convolución en el tiempo y le frecuencia respectivamente.

2.3.2.2. Transformada de Fourier ventaneada

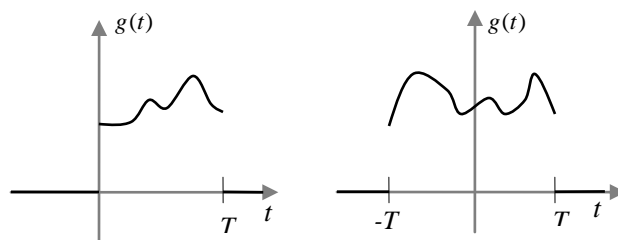
Al considerar f como una señal, algunas veces se quiere analizar $f(t)$ localizando su contenido de frecuencia respecto a la variable tiempo. Esto se puede realizar calculando $\hat{f}(\omega)$, la cual contiene información acerca de las frecuencias de la señal.

Sin embargo, $\hat{f}(\omega)$ no particulariza la información para intervalos de tiempo específicos ya que,

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

Y la integración se realiza sobre todo tiempo. Así que, la imagen que se obtiene no contiene información sobre tiempos específicos, sino, sobre todo el espectro de amplitud total $|\hat{f}(\omega)|$. A pesar de esto, es posible obtener una imagen del contenido de frecuencia de $f(t)$ dentro de intervalos de tiempo dados; ventaneando la función antes de aplicar la transformada de Fourier.

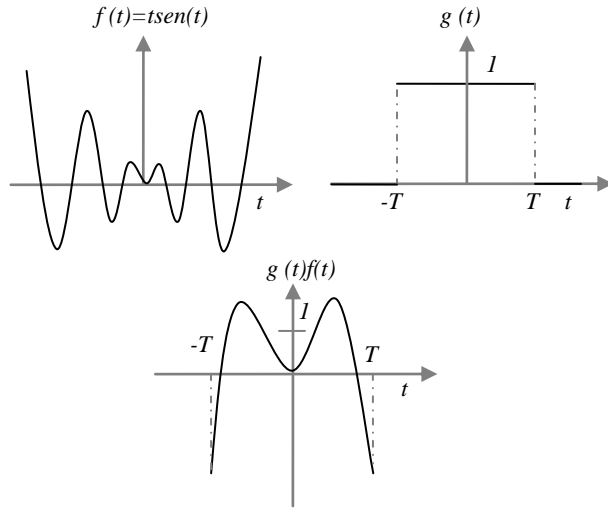
Para poder hacer esto, primero se debe definir una función ventana g , que es una función que toma valores distintos de cero sólo en algún intervalo cerrado, usualmente en $[0, T]$ o en $[-T, T]$. En la (Fig. 10) se muestran funciones ventana típica. Los intervalos $[0, T]$ y $[-T, T]$ se llaman el soporte de g , y en este caso, dado que son cerrados se dice que g tiene soporte compacto. La función g vale cero fuera de este intervalo.



(Fig 10.) Funciones ventana típicas con soporte compacto en $[0, T]$ y $[-T, T]$.

Con estos elementos, se puede decir que, ventaneamos una función f con g haciendo el producto $f(t)g(t)$, el cual vale cero fuera del soporte de g . Para observar con más claridad este proceso de ventanear, considérese la función

Ventana como la que se muestra en la (Fig. 11b). Al ventanear una función f como la que se muestra en la (Fig. 11a) con g , por medio del producto $g(t)f(t)$, se obtiene la función f ventana con g , representada en la (Fig. 11c)



(Fig. 11) Proceso de ventanear f con g .

Expuesto el proceso de ventanear una función por medio de otra llamada función ventana, se puede definir la transformada de Fourier Ventaneada respecto a la elección de g como:

$$\mathfrak{F}_{ven}[f](\omega) = \hat{f}_{ven}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t)e^{-i\omega t} dt$$

$$\hat{f}_{ven}(\omega) = \int_{-T}^T f(t)g(t)e^{-i\omega t} dt \quad (67)$$

Otro elemento fundamental dentro del análisis de Fourier, y de gran utilidad en algunas áreas de la ingeniería y la ciencia, es el teorema de muestreo de Shannon; el cual afirma que, una señal de banda limitada puede reconstruirse a partir de ciertos valores muestrales.

En este sentido, una señal es de banda limitada si su transformada de Fourier \hat{f} Tiene soporte compacto. Lo que significa que,

$$\hat{f}(\omega) = 0 \text{ si } |\omega| > L$$

Por lo general se elige el valor de L , de forma q sea el menor número q cumpla con esta condición. En este caso, L es el ancho de banda de la señal. El contenido total de frecuencia de dicha señal f se encuentra en la banda $[-L, L]$. Bajo este análisis, se puede reconstruir una señal $f(t)$ mediante el muestreo en los tiempos $0, \pm \pi/L, \pm 2\pi/L, \dots$ Una vez conocidos los valores de $f(t)$ para estos tiempos, entonces la siguiente ecuación reconstruye toda la señal

$$f(t) = \frac{1}{2L} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f\left(\frac{n\pi}{L}\right) \frac{1}{i(t - n\pi/L)} (e^{i(Lt - n\pi)} - e^{-i(Lt - n\pi)}) \quad (68)$$

En el caso que $L = \pi$, la ecuación (68) tiene la siguiente forma simple:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n) \frac{\text{sen}(\pi(t - n))}{\pi(t - n)} \quad (69)$$

3. PROBLEMA PARTICULAR

3.1. Algunos aspectos específicos

El Vallé de Aburrá, se conoce dentro del ámbito de la geología cómo un valle de depósitos gravitacionales; el cual a través de su historia geológica ha recibido material proveniente de la ladera oriental y occidental. Igualmente, el Rio ha hecho aportes de sedimentos; que han ido conformando los distintos perfiles de suelo.

Otras Actividades como la minería, y acciones propias del ser humano han generado rellenos antrópicos; sobre los cuales se han asentado y construido un gran número de las edificaciones que hoy están presentes en el Valle. Toda esta actividad humana, acontecimientos y características geológicas han generado un ambiente propicio para estudiar la respuesta dinámica de los diferentes perfiles de suelo.

Cuando ocurre un fenómeno sísmico, el fenómeno ondulatorio generado está compuesto principalmente por dos tipos de ondas; ondas s y ondas p . Las ondas p se distinguen por inducir esfuerzos de compresión en el terreno, mientras las ondas s se caracterizan por inducir esfuerzos de tipo cortante en el suelo y por ende en las estructuras construidas en ellos. A diferencia de las ondas p , las ondas s tienen la propiedad de ser más destructivas debido a que, poseen una mayor amplitud de onda. Otro rasgo que diferencia estos dos tipos de ondas es su velocidad de propagación. Una vez el sismo se ha generado, los primeros pequeños movimientos que se perciben se deben a la llegada de las ondas p , y unos pocos segundos después arriban las ondas s , las cuales generan un movimiento de mayor magnitud en comparación con el generado por las p .

Una de las características que poseen los suelos del municipio de Medellín, es que, se encuentran sobre un basamento rocoso; el cual gracias a procesos geológicos afloró en el costado oriental del valle. Este afloramiento rocoso es conocido, como el Cerro Pan de Azúcar. Es en este lugar, donde se encuentra localizada la estación acelerográfica Santa Elena Aerocivil, con código ESE en la red RAM.

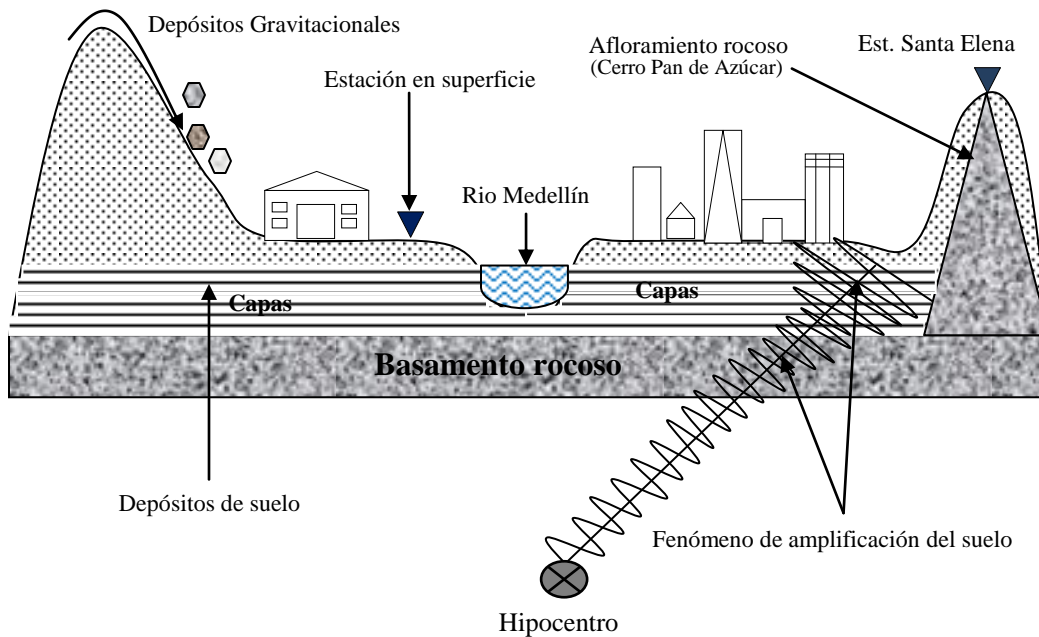
Esta diferencia de localización de la estación ESE, con el resto de las estaciones instaladas en los diferentes sitios de Medellín y el Valle; es la que permitirá calcular la función de transferencia de cada depósito de suelo, dado que, los registros obtenidos por esta estación se considerarán como la entrada del sistema; y los registros proporcionados por cada una de las otras estaciones se tomarán como la salida.

Para este caso particular, se considera como sistema dinámico a cada columna de suelo, cuando ella es perturbada por la acción de un sismo.

La característica principal de los depósitos de suelo o suelos blandos, donde se encuentran construidas la mayor parte de las estructuras, es la capacidad que tienen los depósitos de amplificar o magnificar la señal de entrada; es decir, si dos personas se exponen al mismo evento sísmico, una ubicada en el basamento rocoso y la otra en cualquier otro depósito de suelo; la persona ubicada en el suelo superficial sentiría un movimiento mayor que la del basamento, debido principalmente al fenómeno de amplificación del suelo. La (Fig. 12) representa un corte transversal del Valle de Aburrá, el cual muestra esquemáticamente la particularidad de amplificación del suelo y el contexto general del problema.

De acuerdo con Roesset (1969), la determinación apropiada de los movimientos inducidos por temblores en algún sitio envuelven dos pasos fundamentales. El primero es evaluar el riesgo sísmico de la región, el cual para un área sometida a grandes y frecuentes temblores; puede ser relativamente fácil de determinar. De esta manera ingenieros y sismólogos pueden predecir o saber, si una ciudad está sujeta periódicamente a sismos de algún promedio de magnitud con epicentros con alguna distancia promedio. Para regiones con escasos registros de sismos, la evaluación del riesgo es mucho más compleja; requiriéndose en general estudios geológicos y sismológicos, con el objetivo de identificar posibles fuentes de temblores o fallas activas.

El segundo paso, es obtener registros de uno o más sismos, que hayan ocurrido en el sitio. Con estos registros, el próximo paso es estudiar como estos movimientos pueden ser modificados por las condiciones locales del lugar específico (efectos locales). Estas modificaciones se entienden por considerar el depósito de suelo como un filtro natural, incrementado la amplitud de la señal de entrada en algunos rangos de frecuencia y disminuyéndola para otros.



(Fig. 12) Corte Transversal del valle. Municipio de Medellín

3.2. Deducción de la Función de Transferencia del suelo

Para el desarrollo analítico de la función de transferencia se toma como referencia principal, los trabajos realizados por (Jaramillo, 2003), (Restrepo, *et al.*) y (Roesset, 1969).

Como se expuso en la sección anterior, los movimientos inducidos por sismos pueden ser descompuestos en una serie de ondas las cuales se propagan desde el foco en todas las direcciones. Estas ondas son básicamente ondas p y s . Las ondas s pueden ser descompuestas de nuevo en otro par de ondas, por proyección del movimiento en dos direcciones ortogonales. Ondas SV y SH son generadas por esta proyección, las cuales se propagan en el plano vertical y horizontal respectivamente.

Cuando este tipo de ondas se propagan a través de un medio continuo y encuentran una superficie libre, un nuevo tipo de onda es generada, ondas Rayleigh. Además si el suelo no es homogéneo, pero existe una clara discontinuidad en algún punto del perfil del suelo; se generan otros tipos de ondas denominadas Rayleigh.

Aunque el fenómeno de propagación de ondas sísmicas, es un problema dinámico de tres grados de libertad; la solución para el modelo aquí descrito resuelve el problema de la ecuación de onda unidimensional. Esto es más que válido en un primer intento por abordar una solución del problema, ya que, la solución tridimensional se puede aproximar mediante la unidimensional; resolviendo el problema para el grado de libertad predominante.

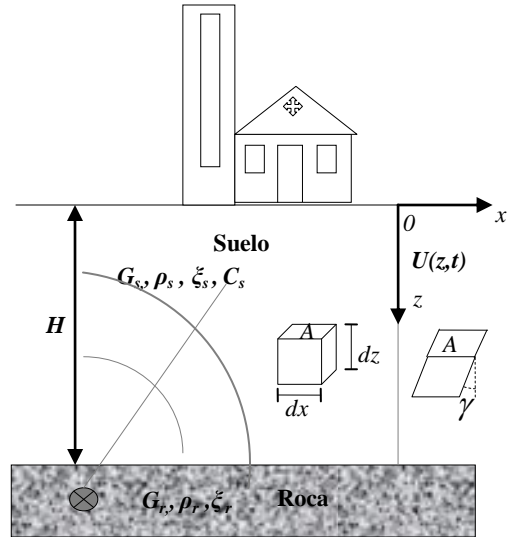
Para la solución de la ecuación de onda unidimensional, se debe tener presente las siguientes consideraciones:

- 1) Solo ondas de corte s son consideradas, junto con ondas SH o SV , si ellas se propagan verticalmente; y solo SH si se propagan en ángulo
- 2) Las diferentes capas del suelo se asumen paralelas, y extendiéndose en la dirección horizontal para una distancia varias veces más grande que la profundidad del bedrock.

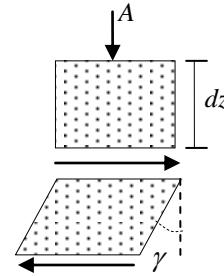
El efecto de filtrado que poseen los depósitos de suelo puede medirse de dos formas diferentes (Roesset, 1969). Aquí abordaremos una de ellas; la cual considera un estado armónico de oscilación del suelo y la roca subyacente, y calcula el ratio de amplitud entre la superficie libre y el basamento rocoso (bedrock). Este ratio es una función de la frecuencia del movimiento, y si existe amortiguamiento será una función compleja. Esto es lo que se conoce como la función de transferencia del suelo, y su modulo o magnitud es la función de amplificación, ratio de amplificación o espectro de amplificación.

Debido a que, solo se considerará movimientos producidos por las ondas de corte para la solución de la ecuación de onda unidimensional; se tomará un elemento diferencial de volumen (Cubo) del suelo de altura dz y área A , y se desarrollará la función de transferencia del depósito en base a este elemento, ver (Fig 13). Para caracterizar los efectos locales mecánicos y geométricos de cada depósito, se tendrán en cuenta los siguientes parámetros; G_s, ρ_s, ξ_s, C_s representan el módulo de corte, la densidad, el amortiguamiento y la velocidad de propagación de las ondas de corte del suelo respectivamente, y G_r, ρ_r , los parámetros del basamento rocoso. Para caracterizar los efectos locales geométricos, se define el parámetro H , el cual representa la altura del perfil de suelo, y puede considerarse conformado por n capas, ver (Fig. 12).

Los esfuerzos producidos por los movimientos cortantes o transversales de las ondas s , se pueden interpretar como la diferencia de desplazamientos



(Fig. 13) Parámetros mecánicos y geométricos suelo-roca involucrados en la solución de la ecuación de onda unidimensional.



(Fig. 14) Diferencia de desplazamientos entre la cara superior e inferior del cubo, inducida por el efecto de las ondas de corte s .

entre la cara superior e inferior del elemento diferencial, y se denotará con la letra γ (deformación unitaria), observar (Fig. 14).

La deformación unitaria o esfuerzo cortante γ , se puede expresar como, el cambio en el desplazamiento $U(z,t)$ con respecto a la coordenada z ; de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{\partial U(z,t)}{\partial z} \quad (70)$$

Y el cortante o función cortante como:

$$\tau(z,t) = G_s \frac{\partial U(z,t)}{\partial z} \quad (71)$$

El desequilibrio en cada punto z del suelo inducido por las ondas s en el instante t se define por:

$$\frac{\partial \tau(z,t)}{\partial z} dz \quad (72)$$

De esta manera se puede definir una función de fuerzas dada por:

$$V(z,t) = A \tau(z,t) \quad (73)$$

Dado el sistema coordenado de la (Fig. 13), si el desequilibrio dado por (72) es mayor que cero, la dirección de la fuerza neta en el elemento diferencial de volumen sería hacia la derecha, ver (Fig. 15), y la fuerza neta estaría dada por:

$$FN = \frac{\partial \tau(z,t)}{\partial z} Adz \quad (74)$$

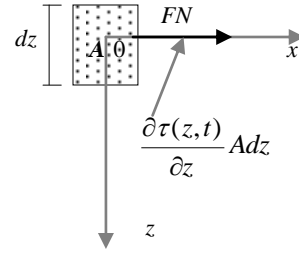
Debido a que cualquier cubo debe estar en equilibrio dinámico, debe aparecer una fuerza que iguale la fuerza neta. Según la Segunda Ley de Newton, la suma de las fuerzas debe ser igual al producto entre la masa y la aceleración del cuerpo:

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad (75)$$

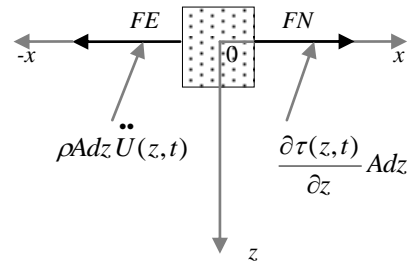
Haciendo uso de la relación, $\rho = m/V$ se puede deducir que, $m = V\rho$. Con estos resultados en mano, se puede definir que la fuerza equilibrante, está dada por:

$$FE = \rho Adz \ddot{U}(z,t) \quad (76)$$

En la (Fig. 16.), se puede apreciar el sistema en equilibrio.



(Fig. 15) Fuerza neta positiva sobre un elemento



(Fig. 16). Elemento diferencial en equilibrio dinámico.

Igualando ambas fuerzas, FN y FE se obtiene la siguiente igualdad:

$$\rho A \frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial t^2} dz = G_s A \frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial z^2} dz \quad (77)$$

Cancelando A y dz en (77) se puede obtener la siguiente expresión

$$\frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial z^2} \quad (78)$$

Con $c^2 = \frac{G_s}{\rho}$, la ecuación (78) se conoce como la ecuación de onda unidimensional, en la que, la velocidad c de propagación de la onda depende de las propiedades del medio, modulo de Corte y densidad del suelo.

La función $U(z,t)$ debe satisfacer la ecuación de onda para todo el dominio, con $c = \sqrt{\frac{G_s}{\rho}}$. Todas las funciones que satisfacen la ecuación (78) son llamadas ondas.

Según las características y la solución de d'Alembert, todas las funciones de la forma $f(z-ct)$ y/o $g(z+ct)$ cumplen (78). Las rectas $z-ct = k_1$ y $z+ct = k_2$ son denominadas las características de la ecuación de onda con, k_1 y k_2 constantes reales. Estas características forman un par de familias de rectas cuyas pendientes son $m_1 = -1/c$ y $m_2 = 1/c$, ver (Fig 17). Las funciones $f(z-ct)$ y $g(z+ct)$, son denominadas en términos generales como ondas hacia atrás y adelante respectivamente. Para nuestro problema y según el sistema coordenado definido en la (Fig. 13), estas funciones se llamaran funciones hacia abajo y hacia arriba, es decir, $f(z-ct)$ se mueve en el sentido de z^+ . En este sentido una solución a (78) debe tener la siguiente forma:

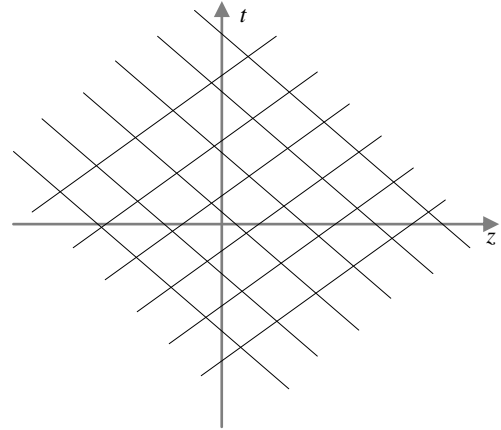
$$U(z,t) = F(z-ct) + G(z+ct) \quad (79)$$

Esta ecuación se denomina la solución de d'Alembert de la ecuación de onda. Bajo la suposición de que se sabe como es el movimiento en la base de la roca, y que este movimiento está descrito por una función armónica; la cual se puede representar en términos de los números complejos por medio de $e^{i\omega t}$; se propone la siguiente solución:

$$U(z,t) = A_1 e^{-ik(z-ct)} + A_2 e^{ik(z+ct)} \quad (80)$$

En (80), el primer término es la onda que sube y el segundo la que baja; con

$$k = \frac{\omega}{c} \Rightarrow \omega = kc \quad (81)$$



(Fig. 17) Características relacionadas con el movimiento de onda.

Para plantear las condiciones en la frontera para la ecuación (78), se tiene que $\tau(z,t) = 0$ en $z = 0$. Haciendo uso de la solución propuesta (80), (81) y la ecuación (71); la condición en la frontera

$$\tau(z,t) = G_s \frac{\partial U(z,t)}{\partial z} = 0 \text{ en } z = 0 \quad (81)$$

Queda determinada por:

$$\tau(z,t) = G_s e^{i\omega t} [A_2 e^{ikz} - A_1 e^{-ikz}] = 0 \quad (82)$$

La relación (81) es cero si, el término

$$[A_2 e^{ikz} - A_1 e^{-ikz}] = 0 \quad (83)$$

Y (83) es cero si

$$A_2 e^{ikz} = A_1 e^{-ikz} \quad (84)$$

De (84) se puede deducir que la amplitud de la onda que sube A_2 es igual a la amplitud de la onda que baja A_1 , y la solución (80) toma la forma

$$U(z,t) = A e^{i\omega t} [e^{-ikz} + e^{ikz}] \quad (85)$$

Ahora, la condición en la frontera para la ecuación (85) en $z = 0$ es

$$U(z, t)|_{z=0} = Ae^{i\omega t} [e^{-ik(0)} + e^{ik(0)}]$$

Lo que implica que,

$$U(z, t)|_{z=0} = 2Ae^{i\omega t} \quad (86)$$

De (86) se puede deducir que, en $z = 0$, o en la superficie del suelo, la amplitud es el doble de la onda que subía. Este fenómeno de de doble amplificación con respecto a la onda que sube, se debe principalmente a que esta onda cambia de medio, es decir, pasa de propagarse en el suelo a tocar la superficie libre del aire. La ecuación (86) se puede reescribir como:

$$U(z, t)|_{z=0} = U_{suelo}(z, t) = A_{Sup}e^{i\omega t} \quad (87)$$

Donde

$$A_{Sup} = 2A \quad (88)$$

representa la amplitud en la superficie. Dada la solución (85) y la relación (88), de la cual se deduce que, $A = A_{Sup}/2$; La condición en la frontera $z = H$ queda definida por :

$$\begin{aligned} U(z, t)|_{z=H} \\ = U_{roca}(z, t) = \frac{A_{Sup}}{2} e^{i\omega t} [e^{-ikH} + e^{ikH}] \end{aligned} \quad (89)$$

De (89) se puede deducir que, el desplazamiento en la roca es igual al del suelo en $z = H$. Ya que se tiene funciones de desplazamiento tanto para el suelo como para la roca, y teniendo presente que la función de transferencia está definida por el cociente (35), la función de transferencia del depósito de suelo queda definida por la siguiente expresión:

$$FT = \frac{U_{suelo}(z, t)}{U_{roca}(z, t)} = \frac{A_{Sup}e^{i\omega t}}{\frac{A_{Sup}}{2}e^{i\omega t} [e^{-ikH} + e^{ikH}]} \quad (90)$$

Haciendo uso de los números complejos y la igualdad (52), la función de transferencia (90) se puede simplificar así:

$$\frac{1}{\cos(kH)} \quad (91)$$

Reemplazando $k = \frac{\omega}{c}$ y $c = \sqrt{\frac{G_s}{\rho}}$ en (91), se puede

observar que, la función de transferencia es función de las propiedades mecánicas y geométricas del suelo. La función (91) es un primer modelo de la posible respuesta del suelo, este considera a la roca completamente rígida (Amortiguamientos nulos en el contacto roca suelo). En términos simples, este modelo desprecia el efecto que puede tener la presencia del suelo sobre la roca subyacente. En este sentido no existe mecanismo de amortiguamiento o de disipación de energía por radiación.

Según (91), los periodos fundamentales de la columna de suelo se pueden calcular a partir de la siguiente igualdad:

$$\frac{\omega H}{c} = \frac{(2n-1)\pi}{2} \quad (92)$$

Cuando las frecuencias de las cuales está compuesto el movimiento armónico de la roca, cumplen con la igualdad anterior la amplitud del movimiento en la superficie del suelo es infinita. Con $\omega = 2\pi/p$ y la relación (92), los periodos fundamentales se calculan como:

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)c} \quad (93)$$

Una función de transferencia más realista, y que será la que utilizaremos para el trabajo de estimación de parámetros aquí desarrollado, caracteriza los amortiguamientos en el contacto roca suelo por medio de un nuevo parámetro denominado impedancia. Para desarrollar esta nueva función de transferencia, se proponen dos soluciones, las cuales involucran los parámetros tanto del suelo como el de la roca, ver (Fig. 18).

$$U_s(z_s, t) = \frac{A_{\text{sup}}}{2} [e^{ik_s z_s} + e^{-ik_s z_s}] \quad (94)$$

$$U_r(z_r, t) = A_{1r} e^{ik_r z_r} + A_{2r} e^{-ik_r z_r} \quad (95)$$

En (95) A_{1r} y A_{2r} son las amplitudes de la onda que sube y la onda que baja. Con estas dos soluciones, se puede plantear una relación entre, A_{sup} y A_{1r} que es lo que sube. Debido a qué, los esfuerzos y los desplazamientos son iguales en el cambio de medio, se pueden igualar (94) y (95). Ahora, restando la derivada de esta igualdad y operando algebraicamente se puede concluir finalmente que la función de transferencia para roca elástica, dada por:

$$F.T = \frac{4A_{1r}}{e^{ik_s H} (1+I) + e^{-ik_s H} (1-I)} \quad (96)$$

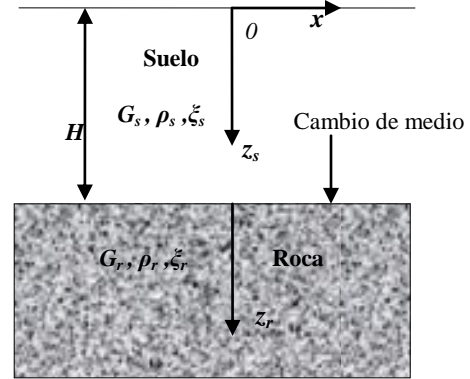
Con

$$I = \sqrt{\frac{G_s \rho_s}{G_r \rho_r} (1 + 2i\xi_s)} \quad (97)$$

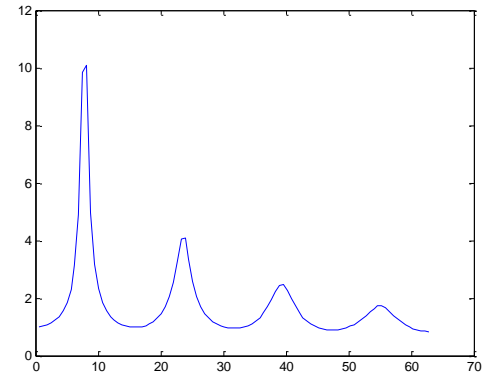
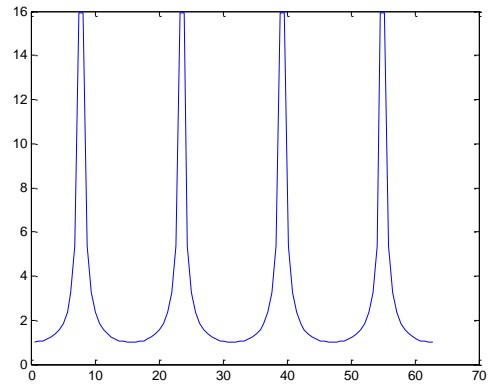
$$k_s = \frac{\omega}{\bar{C}} \quad (98)$$

$$\bar{C} = C_s \sqrt{1 + 2i\xi_s} \quad (99)$$

En la (Fig. 19), se puede observar la diferencia entre los módulos de las funciones de transferencia (91) y (96).



(Fig. 18) Representación de la relación de parámetros, roca-suelo, para roca elástica.



(Fig. 19) Módulo de las funciones de transferencia para roca rígida y roca elástica. Con parámetros $\xi_s = 0\%$ y $\xi_s = 5\%$, $C_s = 250$ m/s, $H = 50$ m.

Para roca rígida con amortiguamientos nulos se puede ver que, se presentan amplitudes infinitas debido a la ausencia de mecanismos de disipación. En el caso de roca elástica, el efecto del amortiguamiento disipa la energía; y por ende la amplitud del movimiento disminuye con cierta razón.

3. OPTIMIZACIÓN Y HEURÍSTICA

3.1 Optimización

Con los elementos analíticos y el modelo físico del problema de propagación de onda, se desarrollará un proceso de estimación para aproximar los valores de los 4 parámetros de la función de transferencia (96):

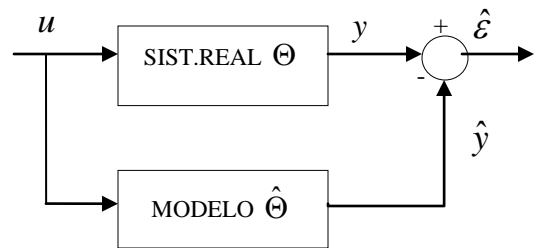
H : Altura del depósito de suelo

C_s : Velocidad de propagación de las ondas de corte en el perfil de suelo

ξ_s : Amortiguamiento del suelo

I : Impedancia del suelo

Para simplificar el proceso de estimación de los parámetros, se denotará a la función (96) como el modelo matemático del sistema real, al cual mediante algún método o técnica se le deben estimar sus parámetros. La (Fig. 20), representa un esquema general de estimación. Se habla de estimar, dado que, es imposible calcular el valor exacto de cada parámetro. Además, factores como el ruido, diferencias del modelo con la representación de la realidad y la incertidumbre intrínseca del fenómeno; hacen que el valor del parámetro se calcule como una aproximación y no como un valor exacto. Si $\Theta = [H, C_s, \xi_s, I]$ representa el vector de parámetros a hacer estimados; entonces, $\hat{\Theta} = [\hat{H}, \hat{C}_s, \hat{\xi}_s, \hat{I}]$ representa el vector estimado, y la diferencia entre ellos se conoce como el error de estimación, definido por:



(Fig. 20) Esquema general de estimación de parámetros para un sistema con entrada u y salida y .

$$\varepsilon = \Theta - \hat{\Theta} \quad (100)$$

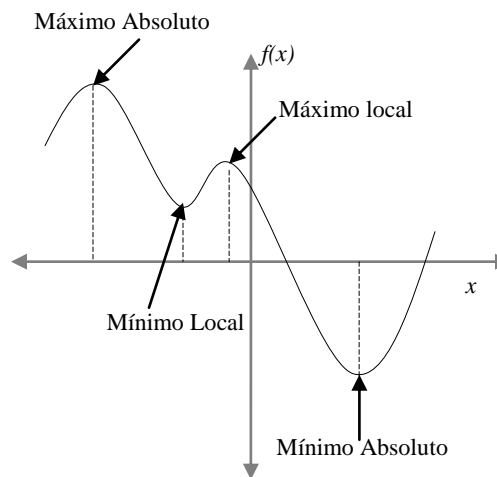
Definido el esquema general de estimación y el error de aproximación (100), se plantea como objetivo minimizar la diferencia entre Θ y $\hat{\Theta}$. Bajo esta interpretación, el proceso de estimación se puede entender como un problema de optimización; cuyo propósito es encontrar el vector $\hat{\Theta}$ que hace mínimo el valor de $\hat{\varepsilon}$.

De acuerdo con (Winston, 2005), fue a principios de la segunda guerra mundial cuando; en el campo de la investigación de operaciones surgió el algoritmo simplex como método de búsqueda del valor que optimizaba cierta función, de acuerdo a un conjunto de restricciones. Desde entonces, el algoritmo simplex ha sido uno de los métodos tradicionales en la solución de problemas de optimización lineal. En términos gráficos e independientes de la técnica empleada en la solución, un problema de optimización consiste en encontrar los valores máximos y/o mínimos de la función; dependiendo de si el problema es de maximización o minimización, ver (Fig. 21).

Al mismo tiempo que el simplex era utilizado de forma exitosa, surgían problemas de optimización en el área de investigación de operaciones; para los cuales el algoritmo simplex no era eficiente desde el punto de vista computacional, dado que; el tiempo de cómputo de dicho algoritmo crece exponencialmente con el número de ítems o variables involucradas en el problema.

Los dos problemas más representativos en el campo de la optimización combinatoria (Problemas en los que las variables de decisión son enteras) han sido por tradición el problema de la Mochila (Knapsack Problem) y el del Viajante (Traveling Salesman Problem, TSP). Básicamente el problema de la mochila consiste en seleccionar de entre un conjunto de n productos, cada uno con un valor c_i y un volumen v_i , aquellos que quepan en un recipiente con volumen V , y que tengan el mayor valor posible. Es decir, se debe elegir un subconjunto de los n elementos, tales que, la sumatoria de cada valor c_i sea máxima, sujeta a la restricción de que la suma de los volúmenes $v_i \leq V$. En el problema del TSP se trata de determinar, dada una ruta de carretera, en qué orden deben visitarse n ciudades, de forma que partiendo de una ciudad cualquiera, se recorra el menor número de kilómetros y se vuelva al punto de partida tras visitar una sola vez cada ciudad. En este caso la solución, no es un subconjunto de los n elementos, sino una permutación del orden en qué deben visitarse las n ciudades minimizando el costo de dicha visita, con la restricción de que cada ciudad puede visitarse una sola vez.

Estos dos problemas, como muchos otros en optimización combinatoria se han tratado de resolver como modelos de programación lineal con resultados no muy alentadores; debido al excesivo tiempo de cómputo que requiere el método simplex. En términos simples, el algoritmo simplex y otros métodos de solución exacta; realizan una enumeración completa del conjunto de soluciones factibles (las que satisfacen las restricciones), calculan para cada una el coste asociado y eligen finalmente la que haya dado el mejor de ellos. Según (Díaz, 1996), aunque este método garantiza la solución óptima buscada, no es eficiente, pues el tiempo de cálculo necesario crece exponencialmente con el número de ítems del problema.



(Fig. 21). Función de una sola variable con máximos y mínimos globales y locales

Considerando el problema de la mochila, el número posible de subconjuntos del conjunto $N = \{1, \dots, n\}$ es 2^n . Por tanto, si un computador pudiese realizar, en tan solo un segundo, generar un millón de esos subconjuntos y evaluar su valor, necesitaría solamente un segundo para hallar la solución a un problema con $n = 20$ ítems ($2^{20} = 1'048.580$). Sin embargo serían necesarias dos semanas para un problema con $n = 40$ ítems, y 365 siglos de cálculo para analizar las 2^{60} posibles soluciones de un problema con $n = 60$. Como expone Díaz, este tipo de problemas para los cuales no existe un algoritmo de solución en tiempo operativo (tiempo polinomial), fueron clasificados en el área de la complejidad computacional como problemas NP-completos y NP-duros de resolver.

Dado los inconvenientes que presentan los problemas NP, fue como a principio de la década de los 80 surgieron nuevas técnicas y estrategias de solución de problemas de optimización; que, aunque no garantizaban encontrar la solución óptima (máximo y/o mínimo global) si eran capaces de encontrar soluciones

Satisfactorias (máximo y/o mínimo local) en un tiempo de computo razonable. Estas nuevas técnicas fueron denominadas métodos heurísticos. A pesar de la incertidumbre que al principio generaron dentro de la academia, por no poseer mucho fundamento matemático; su interés práctico como herramienta útil en la solución de problemas, le fue abriendo las puertas hasta convertirlos en métodos de uso común, ver por ejemplo los trabajos propuestos por (Álvarez, Vélez), (Palacio, Gallego) y (Londoño, Vélez, 2009).

3.2 Heurísticas: Recocido simulado (Simulated Annealing)

En relación con (Díaz, 1996), los factores que determinan cuándo utilizar una heurística, en lugar de un método de solución exacta son:

1. Cuando no existe un método de solución exacto o este requiere mucho tiempo de cálculo o memoria
2. Cuando no se necesita la solución óptima
3. Cuando los datos son poco confiables
4. Cuando limitaciones de tiempo, espacio (para almacenamiento de datos), obliguen al empleo de métodos de rápida respuesta, aún a costa de la precisión
5. Como paso intermedio en la aplicación de otro algoritmo. En ocasiones son usadas soluciones heurísticas como punto de partida de algoritmos exactos de tipo iterativo

Quizás otra de las ventajas más importantes de emplear estos métodos, es que no requieren que la función objetivo o las restricciones del problema sean obligatoriamente lineales. Esto presenta una gran ventaja, ya que la gran mayoría de los problemas reales de ingeniería, ciencia y otras áreas del conocimiento son de tipo no lineal. Por el contrario, los métodos heurísticos también presentan ciertos inconvenientes, ya que, muchas veces no es posible conocer la calidad de la solución, es decir, que tan

Cerca está la solución óptima de la solución heurística.

Los métodos heurísticos se clasifican principalmente, según el modo que empleen para buscar y construir la solución. En este sentido Díaz los clasifica en, métodos constructivos, métodos de descomposición, métodos de reducción, manipulación del modelo y métodos de búsqueda por entornos. Es dentro de esta última categoría donde se encuentran la gran mayoría de las heurísticas modernas (Recocido Simulado, Búsqueda Tabú, Algoritmos Genéticos, Redes Neuronales, Grasp, etc.), las cuales son de nuestro interés.

El elemento fundamental de todas ellas es cómo realizan el paso de una solución factible a otra. Para entender como lo hacen, es necesario definir el concepto de entorno $N(s)$ (Neighborhood) de la solución s , es decir el conjunto de soluciones “similares” a ella. El significado de similar o parecido debe entenderse como la posibilidad de obtener una solución $s' \in N(s)$ a partir de la s realizando sólo un operación elemental, llamada movimiento sobre s . Este movimiento sobre s puede ser eliminar o añadir un elemento en el subconjunto solución, y/o intercambiar elementos en la solución s si ella representa un a permutación. El método de búsqueda de estas heurísticas consiste entonces, en buscar de entre los elementos del entorno $N(s)$ de la solución actual aquél que tenga un mejor valor de acuerdo con algún criterio predefinido, moverse a él y repetir la operación hasta que se considere que no es posible hallar una mejor solución, bien porque no haya ningún elemento en el entorno de la solución actual, o bien porque se verifique algún criterio de parada. Una clase especial dentro de esta metodología de búsqueda lo constituye el método de búsqueda local o de descenso. En este método, en cada iteración el movimiento se produce de la solución actual a una de su entorno que sea mejor que ella, finalizando la búsqueda cuando todas las de su entorno sean peores.

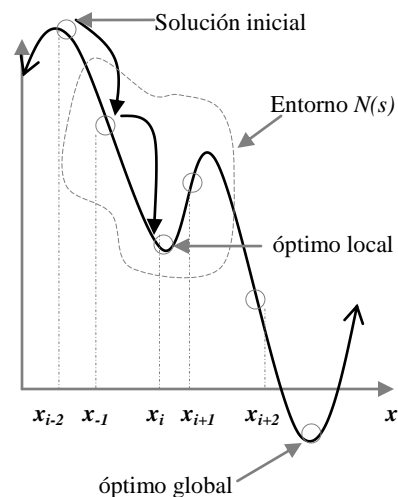
Es importante resaltar que, uno de los inconvenientes al que se puede enfrentar este método de búsqueda local o de descenso es quedar atrapados en óptimos locales que no sean absolutos. Si el problema es minimizar, se dice que una solución s es un mínimo local, si para toda solución s' que pertenece al entorno de s el costo de la solución s es menor que el costo de la solución s' . Si durante el proceso de búsqueda se cae en un óptimo local, en un principio la heurística no sabría continuar pues se quedaría pegada en ese punto, ver (Fig. 22).

Sin embargo, dada esa posibilidad de quedar atrapado en un local; las heurísticas utilizan mecanismos ingeniosos inspirados en algún fenómeno natural, Físico, social, y otros, para evadir los óptimos locales. Esto lo consiguen aceptando una solución más mala que el óptimo actual, para posteriormente buscar en otras regiones del conjunto o espacio solución que contiene todas las posibles. Quizás otro de los obstáculos no menos importante que presentan las heurísticas es que, la dependencia o no de quedar atrapado en un óptimo local depende mucho de la solución inicial. Por ejemplo, si en la (Fig. 22), la solución inicial hubiera sido x_{i+2} en vez de x_{i-2} se hubiera evitado ese local.

Pese a los inconvenientes que las heurísticas puedan presentar, su cualidad principal es que no necesitan evaluar todas las posibles soluciones para encontrar una buena solución. Esto lo consiguen haciendo uso de la regla 80/20. Una heurística explora exclusivamente las soluciones más interesantes.

3.2.1 Recocido Simulado (*Simulated Annealing*)

Así como casi todas las heurísticas modernas hacen analogías con fenómenos naturales y biológicos, el recocido simulado no es la excepción. Este se basa en procesos derivados inicialmente de la termodinámica y la mecánica estadística.



(Fig. 22). Ejemplo de función con óptimo local y global, siendo $N(x_i) = \{x_{i-1}, x_{i+1}\}$

Dentro de estas áreas, recocer es un proceso térmico que tiene como objetivo; obtener estados de baja energía de un sólido, principalmente metales. Este proceso consiste primero en, reblandecer el sólido sometándolo a una alta temperatura; para luego dejarlo enfriar lentamente hasta que las partículas por sí solas se van posicionando en el estado fundamental del sólido (estado de menor energía). Uno de los elementos claves del proceso de recocido es que el estado fundamental se alcanzara solo si el proceso de enfriamiento se realiza muy lentamente. Si este se efectúa de manera rápida, el sólido alcanzará estados de más alta energía y no el fundamental.

El núcleo fundamental del proceso de recocido, es el algoritmo de Metrópolis, el cual ha sido empleado para simular la evolución de un sólido cuando es sometido a un baño térmico. En este algoritmo, el equilibrio térmico solo se consigue haciendo un elevado número de transiciones entre estados, según la distribución de Boltzmann.

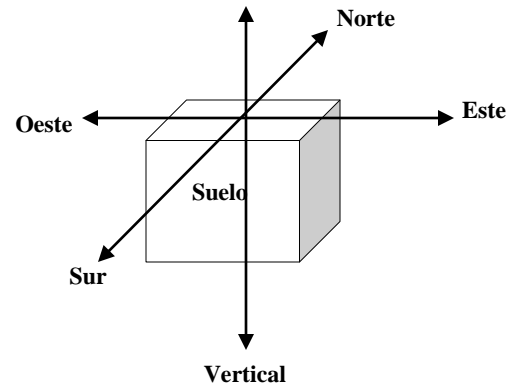
Esencialmente, el algoritmo realiza el paso de un estado al otro según las siguientes reglas: si estado generado posee una menor energía que el estado que actualmente se tiene, entonces se acepta el estado generado como el estado actual; en caso contrario el estado generado se aceptará con una determinada probabilidad según la distribución de Boltzmann. Esta probabilidad de aceptación es una función de la temperatura y de la diferencia entre los dos niveles de energía. Cuanto menor sea la temperatura, menor será la probabilidad de transformación en un estado de mayor energía; y cuanto mayor sea la energía del nuevo estado, menor será la probabilidad de que sea aceptado. Es decir, cada estado tiene una posibilidad de ser alcanzado, pero a diferentes temperaturas. En este sentido, el Recocido Simulado puede ser visto como un proceso iterativo de algoritmos de metrópolis que se van ejecutando con valores decrecientes del parámetro de control (temperatura). Conceptualmente, es un método de búsqueda por entornos, en el que el criterio de elección son las reglas de transición del algoritmo metrópolis.

Haciendo la analogía con los elementos empleados en los procesos de optimización, los estados del sistema se corresponden con las soluciones del problema; la energía de los estados con el criterio de evaluación de la calidad de la solución (costo), el estado fundamental con la solución óptima, mientras que los estados no fundamentales serán equivalentes con los óptimos locales. Por su parte la temperatura desempeñará un papel de control.

4. PROCESO DE ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Con los elementos analíticos del modelo físico y el proceso de optimización se puede entonces ejecutar el proceso de estimación de H , C_s , ξ_s , I . Para entender este proceso, se debe tener presente la orientación que tienen los acelerógrafos de la RAM. Estos equipos registran la aceleración del suelo en tres componentes espaciales cuando este es sometido a la acción de un sismo.

Estas tres componentes son: Transversal (Oeste-Este), Longitudinal (Sur-Norte) y Vertical, ver (Fig. 23).



(Fig. 23). Orientación de los acelerógrafos pertenecientes a la RAM.

Según la ecuación (35), se puede deducir que:

$$Y(s) = G(s)U(s) \quad (101)$$

Esto quiere decir que, la salida del sistema $Y(s)$ se puede obtener como el producto entre la función de transferencia $G(s)$ y la entrada $U(s)$. Para el problema particular, se puede inferir que, el espectro de amplitud en la superficie del suelo; se puede calcular como el producto entre la función de transferencia del suelo (96) y el espectro de amplitud de la roca. Según la orientación de los equipos de medición expuesta en la (Fig. 23) y la relación (101) el espectro de amplitud en la superficie del suelo está compuesto de 3 señales, correspondientes a cada registro de aceleración Oeste-Este, Sur-Norte y vertical; los cuales son obtenidos por el movimiento originado inicialmente en el basamento rocoso y la acción de filtro del depósito de suelo.

Para no tener que realizar un proceso de estimación del movimiento en superficie para cada componente, se decidió tomar como valores de entrada y salida del sistema; el promedio de los espectros de amplitud

de las tres componentes. Esto quiere decir que, se considera al movimiento en la superficie como la suma de los movimientos en esas tres direcciones o componentes.

Por otra parte, dado que el movimiento producido por las ondas de corte s , está más representado por el movimiento dado en las componentes Sur- norte y Oeste-Este; se empleara con más frecuencia el promedio de los espectros de estas dos direcciones durante el proceso de estimación.

Para el pre-proceso de las señales de entrada y salida se utilizo el software SSERIES, creado por el grupo de investigación en ingeniería sísmica de la universidad EAFIT. Con este software se calcularon principalmente los espectros de Fourier de los acelerogramas.

Una vez se han tratado las señales de entrada y salida, se puede plantear la función de error (costo), la cual dentro del problema de optimización quedó definida por (100). Con el objetivo de hacer coincidir la señal estimada por el recocido y la señal real proporcionada por los acelerógrafos de la RAM, se planteó como función de costo el error cuadrático medio:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2 \quad (102)$$

Donde (x_i, y_i) representan las coordenadas de cada punto del espectro del espectro de amplitud promedio de la señal real, y (\bar{x}, \bar{y}) las coordenadas de los puntos del espectro de amplitud promedio de la señal estimada.

Dado que la estimación se realiza estrictamente en la variable frecuencia, otro de los elementos importantes para una buena estimación es el cálculo del paso o delta de frecuencia, $\Delta\omega$; este valor depende del número de puntos con los que se debe calcular el espectro de Fourier de los registros de aceleración, para que los espectros de la señal de entrada y de salida coincidan en cada frecuencia; y no exista

Desfase entre ellas. Para calcular el valor de $\Delta\omega$ para un evento sísmico dado, se siguió el siguiente procedimiento:

- 1) Se toma el registro de mayor duración entre la estación Santa Elena y el resto de las estaciones instaladas en superficie.
- 2) Este registro de mayor duración se multiplica por el periodo de muestreo del acelerógrafo (Sampling Rate).
- 3) Con este producto y la cantidad 2^n , se halla el menor valor de n tal que; 2^n sea mayor que esa multiplicación.
- 4) Esa cantidad 2^n especifica el número de puntos con el que se debe calcular el espectro de Fourier, y por ende también la cantidad $\Delta\omega$.

Por ejemplo, un valor de $\Delta\omega = 0.00611035$ corresponde a un evento sísmico donde el registro de aceleración de la estación Tesoro (EET) tuvo una duración de 83 segundos; y 72 segundos para la estación Santa Elena (ESE). Debido a que, los equipos de medición de la RAM poseen un periodo de muestreo de 200 muestras por segundo; entonces $83 \times 200 = 16.600$ registros. Calculando el menor valor de n tal que, $2^n > 16.600$, se debe cumplir que $n = 15$; con lo que se obtiene $2^{15} = 32.768$ puntos, con los que se debe calcular el espectro de Fourier y por ende un valor de $\Delta\omega = 0.00611035$. Este valor de $\Delta\omega$ es el paso de frecuencia con el cual el Recocido simulado avanza de frecuencia en frecuencia, comparando ambos espectros (Entrada, salida).

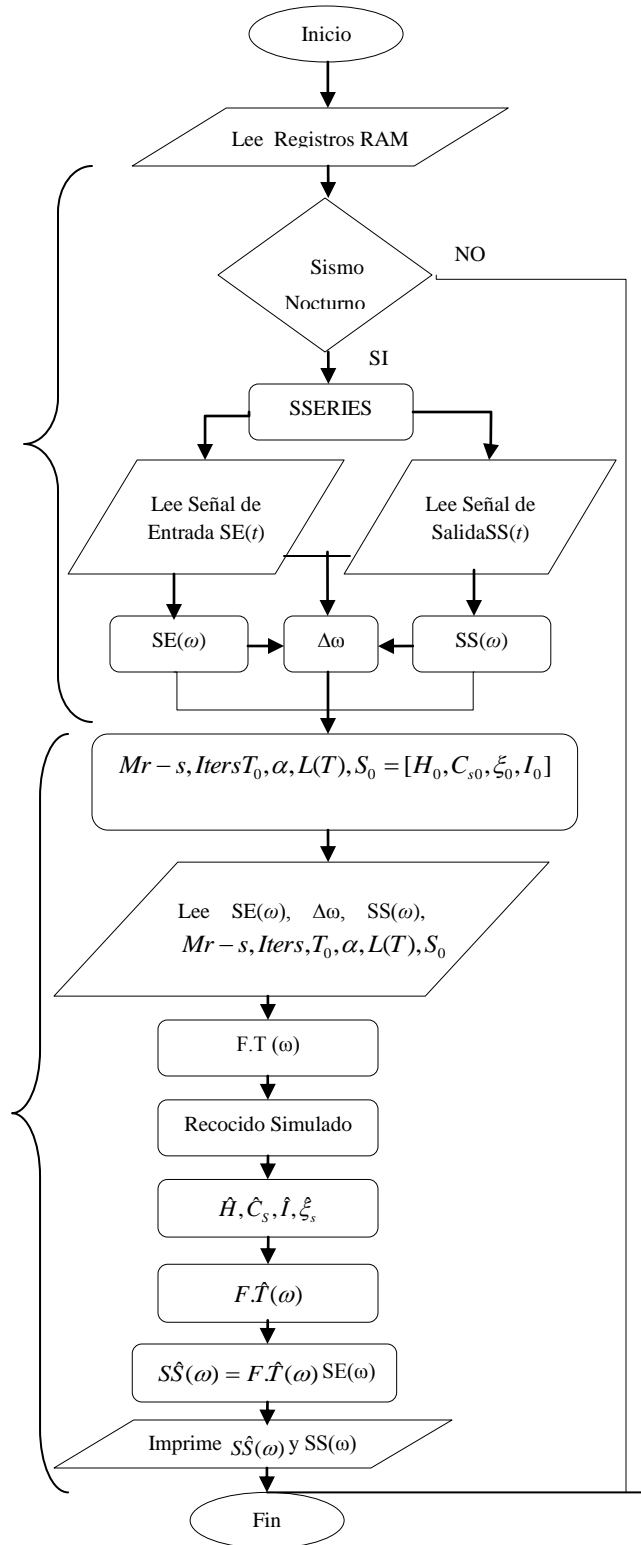
Con el propósito de mejorar la calidad de la estimación, se decidió eliminar gran parte del ruido contenido en los registros, eligiendo solamente sismos nocturnos ocurridos después de las 20:00 y antes de las 5:00 horas.

Se eligió ese lapso de tiempo, considerando que, en ese momento mucha de la actividad cotidiana del ser humano (Movimiento inducido por vehículos particulares, transporte público y pesado, actividades industriales, etc.) se puede encontrar en un nivel bajo.

Con estos elementos, el proceso de estimación aquí realizado se puede resumir en dos pasos; según la (Fig. 24). Paso1, procesamiento de señales (SSERIES) , y paso 2, proceso de identificación o estimación de los parámetros.

5. RESULTADOS

Con el propósito de generar las muestras Para cada estación acelerográfica, se realizo entre 50 y 120 corridas del Recocido Simulado. Para el analizar la convergencia del algoritmo al valor real de los parámetros de la función de transferencia, se les asigno diferentes valores a cada parámetro del Recocido (valores en Rojo en las tablas de resultados numéricos), y se observó que cambios se daban entre corridas, mientras el resto de los parámetros permanecían fijos. Así como se da el resultado numérico, también se presentan algunos resultados Gráficos, los cuales están enumerados según la corrida (Cor) en la tabla numérica. Estas gráficas representan el espectro de amplitud promedio real de la señal de salida (Trazo en azul), y el espectro promedio estimado (Trazo en verde). Como se podrá apreciar en algunas de ellas, hay unos espectros de trazado más suaves. Estos corresponden a espectros que fueron suavizados mediante la rutina Smooth Fact del SSERIES. La primera casilla de cada tabla contiene algunos códigos como 3C, 2C, SF-10-3C y SF-10-2C. Esto significa que, se han utilizado 3 y 2 componentes (Fig. 23) sin suavizar (3C,2C) , y/o 3 y 2 componentes suavizadas (SF-10-3C, SF-10-2C) mediante el Smooth Fact con un factor de 10.



(Fig. 24). Metodología empleada en el proceso de estimación.

SISMO 1

ESTACIÓN SEM

Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=126)

H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
42	54,2	198	2,2	518	299	998	16,2	0,042	0,037	0,1461	0,0002	0,0819	0,12	0,8695	0

Resultados numéricos:

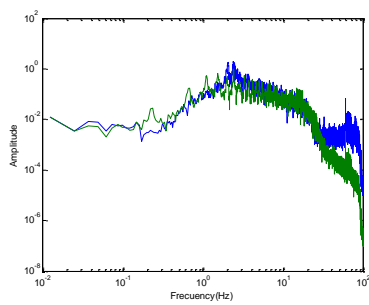
Sis	Parámetros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados						
	Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M_rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor	
3C	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	11 720 0.01 100	2000	1	0,88	1	33	17	62	504	0,0072	0,0103	44420	1	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	11 720 0.01 100	2000	1	0,89	1	33	17	21	821	0,0633	0,0418	38611	2	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	11 720 0.01 100	2000	1	0,89	1	33	17	51	581	0,0322	0,0083	44180	3	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	11 720 0.01 100	2000	1	0,89	1	33	17	11	891	0,054	0,1383	50525	4	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	2000	1	0,89	1	33	17	12	684	0,031	0,0718	48082	5	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	2000	1	0,89	1	33	17	162	504	0,0072	0,0103	44420	6	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	3000	1	0,89	1	25	14	13	906	0,1013	0,0768	47602	7	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	3000	1	0,89	1	25	14	21	600	0,1073	0,0142	46434	8	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	3000	1	0,89	1	25	14	17	720	0,035	0,0819	40427	9	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	3000	1	0,89	1	25	14	60	20	0,0676	0,1232	45352	10	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 100	3000	1	0,89	1	25	14	185	660	0,0105	0,0812	51212	11	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,89	1	25	14	23	648	0,0023	0,8695	58800	12	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,9	1	25	14	185	660	0,0105	0,0812	51212	13	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,9	1	800	400	16	594	0,1014	0	29021	14	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,91	1	25	17	45	45	0,0925	0,0261	49379	15	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,91	1	25	17	27	940	0,0823	0,0677	50502	16	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	21	821	0,0633	0,0418	38617	17	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	51	581	0,0322	0,0083	44180	18	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	28	224	0,028	0,0091	43930	19	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	12	684	0,031	0,0718	48082	20	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	800	520	12	321	0,1015	0	29021	21	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	50	711	0,0564	0,0001	47850	22	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	91	761	0,0136	0,0356	47903	23	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	20 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	11	209	0,0132	0,0319	40993	24	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,93	1	25	17	162	504	0,0072	0,0103	44420	25	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,95	1	25	17	21	821	0,0633	0,0418	38613	26	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,95	1	25	17	51	581	0,0322	0,0083	44180	27	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,98	1	28	16	196	546	0,0038	0,1099	50227	28	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	46	50	0,1186	0,2846	53930	29	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	20	431	0,0194	0,5796	57257	30	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	21	821	0,0633	0,0418	38613,3	31	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	51	581	0,0322	0,0083	44180,2	32	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	196	546	0,0038	0,1099	50227,2	33	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	5	150	0,1186	0,2846	53929,7	34	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	20	431	0,0194	0,5796	57256,7	35	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	21	821	0,0633	0,0418	38613,3	36	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	51	581	0,0322	0,0083	44180,2	37	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	11	891	0,054	0,1383	50524,5	38	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	12	684	0,031	0,0714	48081,8	39	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	7	45	0,0206	0,047	40191,2	40	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	10	669	0,0819	0,0584	47711	41	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	5 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	5	51	0,0381	0,0332	36687,4	42	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	3000	1	0,99	1	28	16	23	762	0,1325	0,0113	45678,6	43	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	300000	1	0,99	1	28	16	7	70	0,0224	0,2134	49420,1	44	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	300000	1	0,99	1	28	16	18	998	0,1281	0,0398	42433,9	45	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	300000	1	0,99	1	900	560	19	853	0,1024	0,0001	29844,1	46	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	300000	2	0,99	1	30	15	138	535	0,0023	0,0322	51858,4	47	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	300000	2	0,99	1	30	15	9	97	0,122	0	29884,2	48	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	100 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	32	281	0,0082	0,3544	53804,1	49	
	0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	196	546	0,0038	0,1099	50227,2	50	

Parametros del Recocido Simulado									Parámetros Estimados					
Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M_rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	8	92	0,0784	0,0597	48985,4	51	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	196	546	0,0038	0,1099	50227	52	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	8	92	0,0784	0,0597	48985	53	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	20	431	0,0194	0,5796	57257	54	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	21	821	0,0633	0,0418	38613	55	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	51	581	0,0322	0,0083	44180	56	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	196	546	0,0038	0,1099	50227	57	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	8	92	0,0784	0,0597	48985	58	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	137	658	0,0033	0,0694	52175	59	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	10 1000 0.1 1000	3000	3	0,99	1	30	15	196	546	0,0038	0,1099	50227	60	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	2 120 0.05 100	3000	1	0,85	1	30	15	36	25	0,0008	0,1052	51350	61	
2C 0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	150	80	13	390	0,0796	0	56417	62	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	2	19	0,0453	0,0822	92536	63	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	36	357	0,0203	0,0061	86536	64	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	198	757	0,0022	0,074	97261	65	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	22	848	0,0182	0,0676	84874	66	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	18	466	0,1338	0,0002	84814	67	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	27	940	0,0823	0,0677	99009	68	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	32	264	0,0072	0,0118	87714	69	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	22	119	0,0002	0,1346	100023	70	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	27	940	0,0823	0,0677	99009	71	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,88	1	36	18	32	264	0,0072	0,0118	87714	72	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,9	1	36	18	22	119	0,0002	0,1346	100023	73	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,9	1	36	18	51	581	0,0322	0,0083	89618	74	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,9	1	36	18	3	20	0,0667	0,0574	84053	75	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	17 500 0.3 100	3000	1	0,9	1	36	18	27	940	0,0823	0,0677	99009	76	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	36	18	22	119	0,0002	0,1346	100023	77	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	6 500 0.05 100	50000	2	0,9	1	36	18	13	405	0,0765	0	56695	78	
SF-10-3C 0 200;0 1200;0 0.15;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	36	18	14	411	0,0709	0,0009	18945	79	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	36	18	32	264	0,0072	0,0118	41377	80	
0 200;0 1200;0 0.15;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	36	18	12	342	0,1397	0,0022	27689,3	81	
0 200;0 1200;0 0.1;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	25	14	18	840	0,0119	0,0713	34456,1	82	
0 200;0 1200;0 0.1;0 50	6 500 0.05 100	50000	1	0,9	1	25	14	145	968	0,015	0,0021	46259,1	83	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	6 500 0.05 100	5000	1	0,9	1	25	14	48	553	0,0015	0,1076	47708	84	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	6 500 0.05 100	5000	1	0,9	1	25	14	10	46	0,0385	0,0212	34502,5	85	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,9	1	25	14	10	16	0,0949	0,0084	31223,4	86	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,9	1	25	14	48	553	0,0015	0,1076	47708	87	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,9	1	25	14	10	46	0,0385	0,0212	34502,5	88	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,9	1	25	14	86	757	0,0136	0,0361	46144,4	89	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,9	1	32	17	10	16	0,0949	0,0084	31223,4	90	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,8	1	32	17	18	799	0,0842	0,1572	45642,7	91	
0 90;0 1200;0 0.1;0 50	25 1000 0.05 10	5000	1	0,8	1	32	17	9	213	0,0163	0,0821	34986,3	92	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,8	1	32	17	14	994	0,0546	0,1102	44561,6	93	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,8	1	32	17	11	177	0,085	0,0575	87034,5	94	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,8	1	32	17	59	907	0,0109	0,0889	88815,4	95	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	32	17	15	661	0,031	0,0643	73926,6	96	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	32	17	13	476	0,0002	0,1167	81144,9	97	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	11	502	0,0434	0,0945	86477,1	98	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	15	924	0,1461	0,0856	93796,5	99	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	26	936	0,0142	0,0561	86198,2	100	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	16	728	0,0281	0,0583	68957,3	101	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	21	816	0,008	0,0751	79204,1	102	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	17	743	0,0279	0,0505	67297,9	103	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	50000	1	0,96	1	50	21	17	948	0,0253	0,0708	79879,3	104	
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	25 320 0.05 7	5000	1	0,96	1	50	21	18	994	0,0375	0,05	69620,6	105	

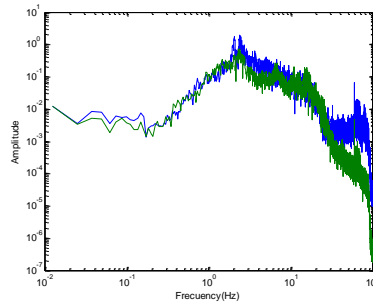
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	1000 10000 0.5 200	50000	1	0,96	1	50	21	10	289,7	0,0166	0,1535	84126,7	107
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	1001 10000 0.5 200	5000	1	0,96	1	50	21	11	333,6	0,0668	0,0556	73326,6	108
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	1002 10000 0.5 200	5000	1	0,96	1	50	21	12	381,9	0,0293	0,1013	77370,5	109
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	50 100 0.05 10	5000	1	0,96	1	50	21	21	980,6	0,0148	0,0571	70799,8	110
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	50 100 0.05 10	5000	1	0,96	1	50	21	13	476,2	0,0002	0,1167	81144,9	111
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	000 1000 0.05 100	5000	1	0,96	1	50	21	16	727,7	0,0281	0,0583	68957,3	112
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	000 1000 0.05 100	5000	1	0,96	1	50	21	11	292,3	0,0286	0,0505	66042	113
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	000 1000 0.05 100	5000	1	0,96	1	50	21	21	816,1	0,008	0,0751	79204,1	114
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	000 1000 0.05 100	5000	1	0,96	1	50	21	17	743,1	0,0279	0,0505	67297,9	115
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	1	0,96	1	50	21	18	993,8	0,0375	0,05	69620,6	116
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	1	0,96	1	50	21	10	231	0,0192	0,0654	70573,8	117
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	1	0,96	1	50	21	19	878,8	0,0243	0,0506	66232,2	118
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	2	0,96	1	50	21	13	368,3	0,025	0,05	66005	119
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	2	0,96	1	50	21	10	240,6	0,0299	0,05	65886,9	120
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	2	0,96	1	50	21	10	231	0,0275	0,05	65992,4	121
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	2 2 0.002 0.9	5000	2	0,96	1	50	21	13	410,2	0,0306	0,05	65966,4	122
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,96	1	50	21	10	253	0,0338	0,05	66230,5	123
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,96	1	50	21	10	251,7	0,0287	0,05	66077	124
10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,96	1	50	21	19	843,4	0,0252	0,05	65920,8	125

Algunos resultados gráficos SEM:

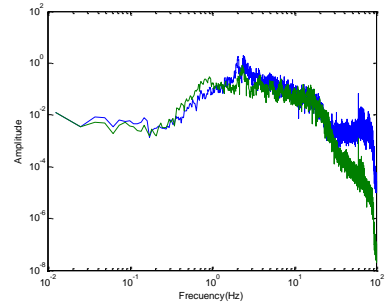
3C



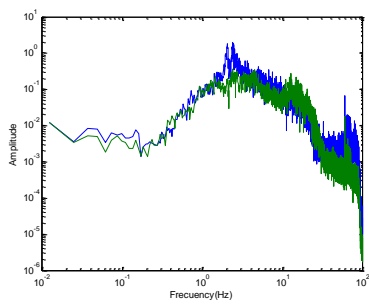
1



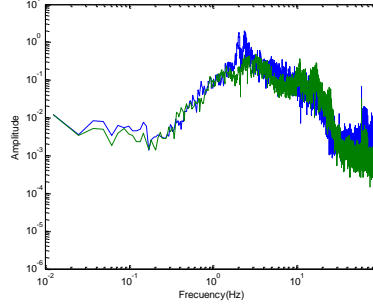
2



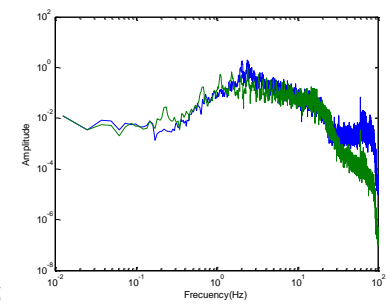
3



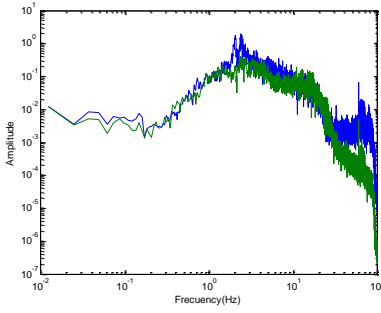
4



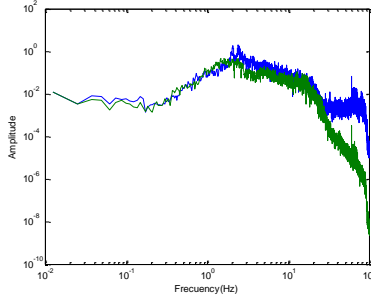
5



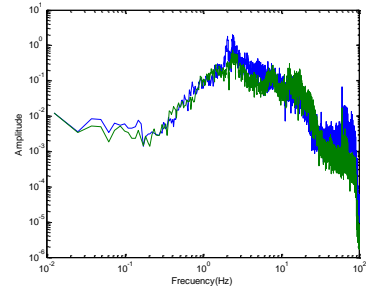
6



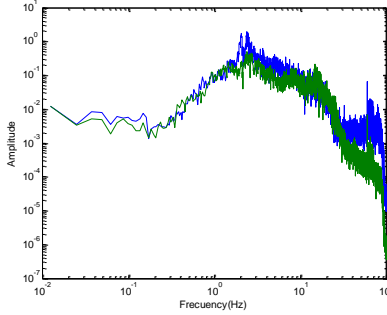
7



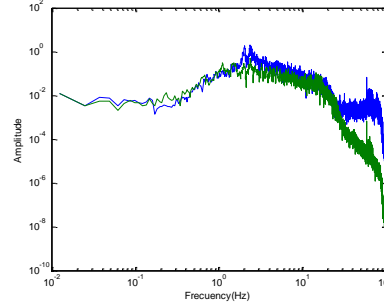
8



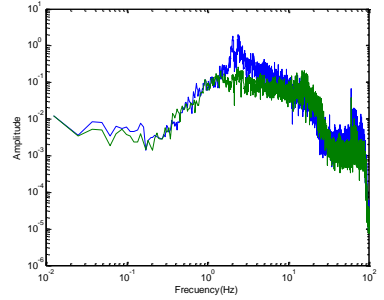
9



10

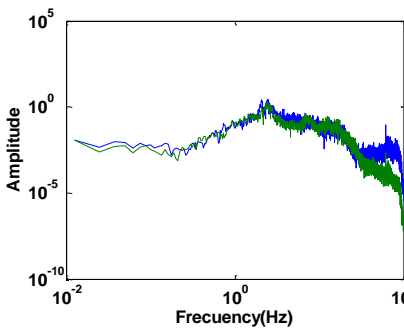


11

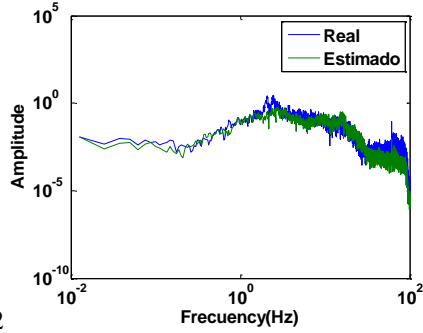


12

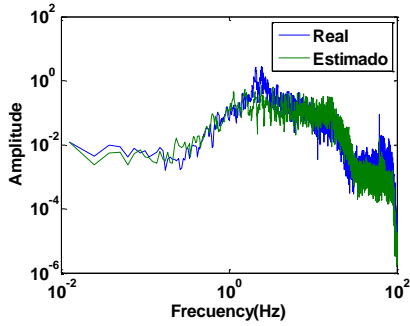
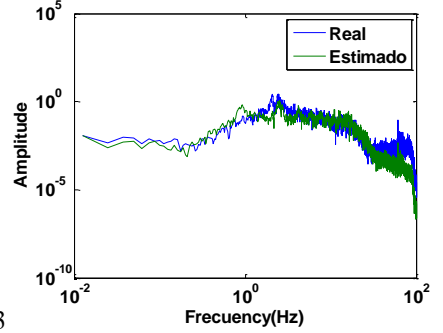
2C



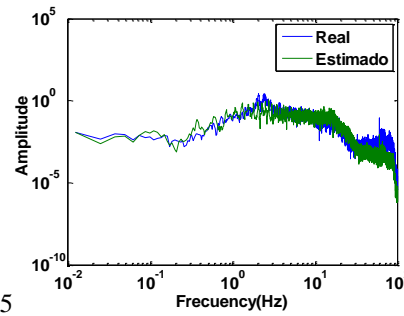
62



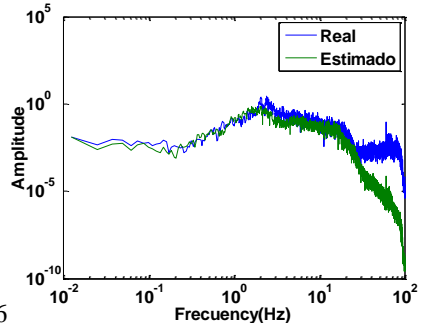
63

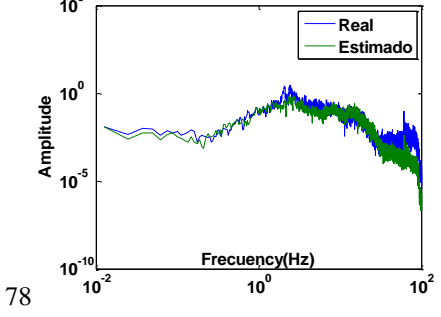
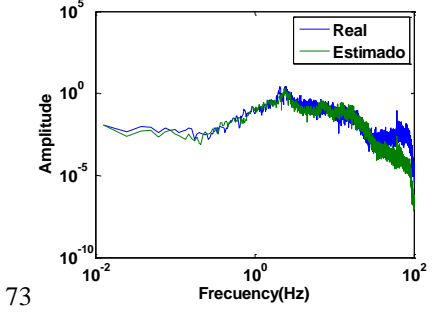
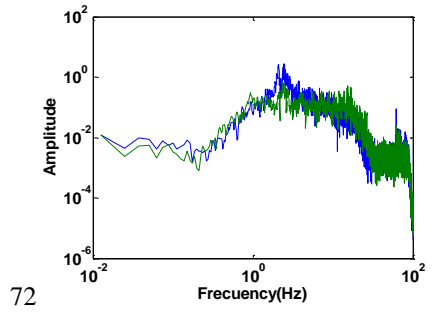
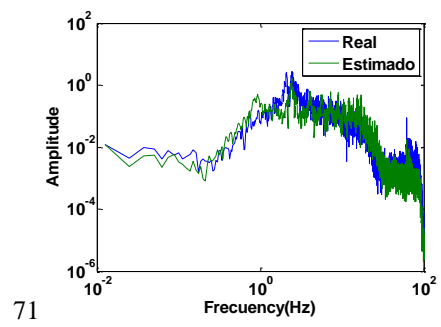
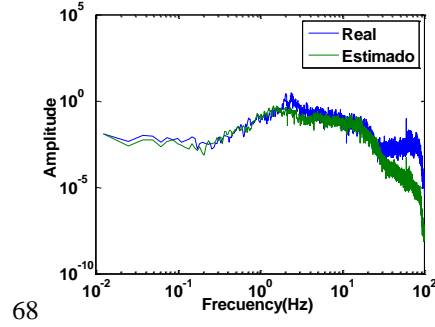
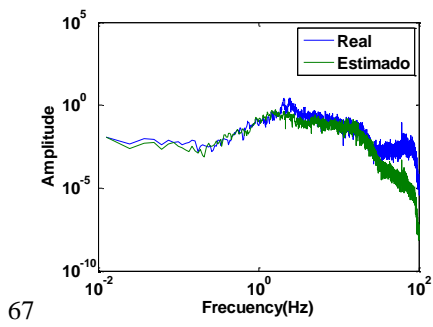


65



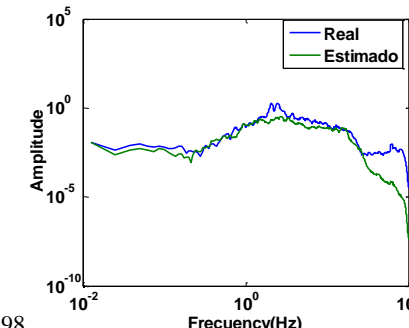
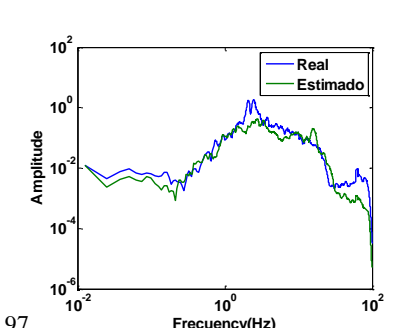
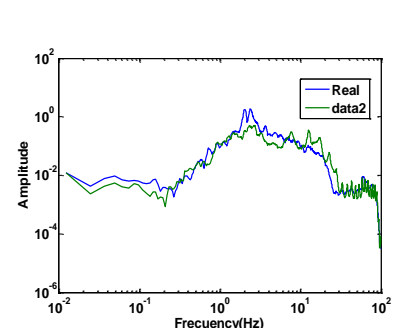
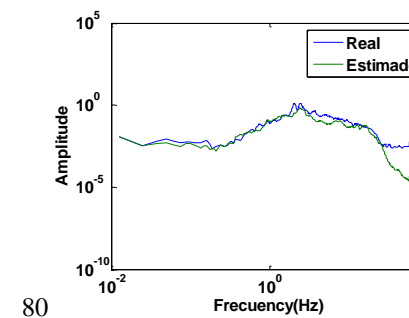
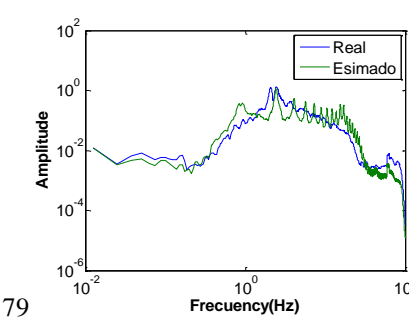
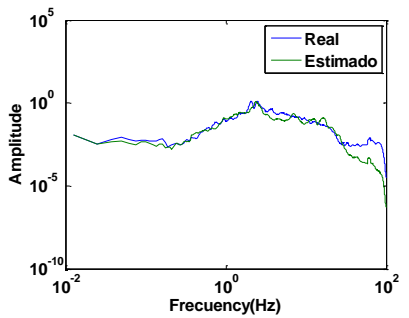
66

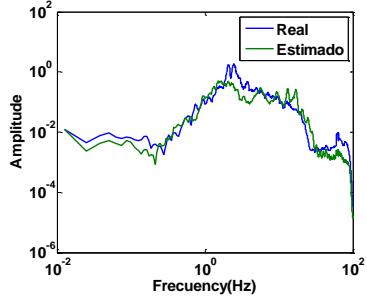




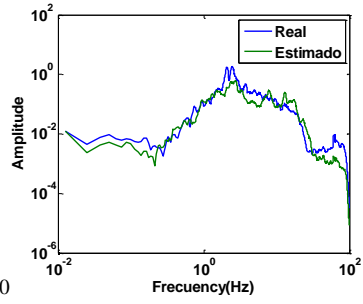
76

SF-10-3C

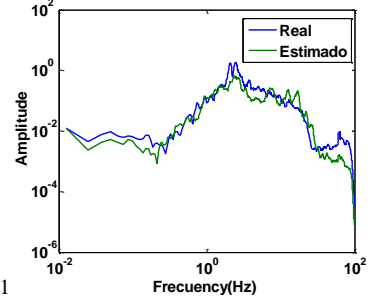




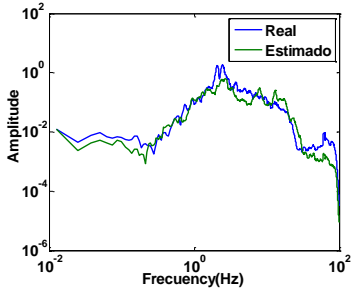
100



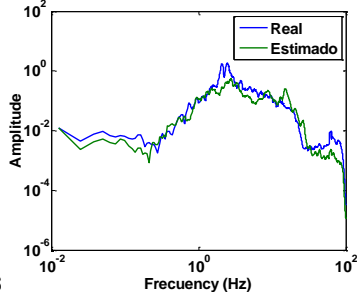
101



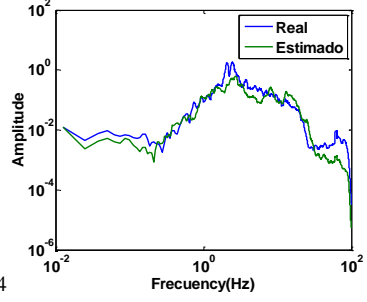
102



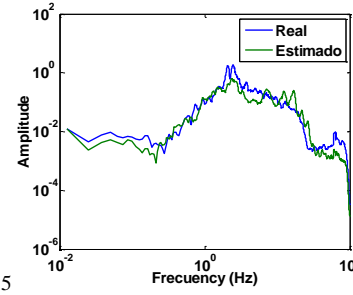
103



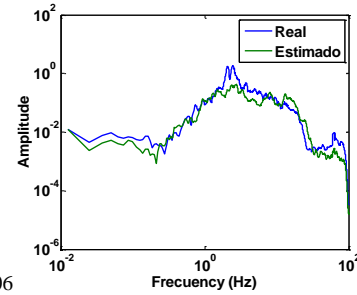
104



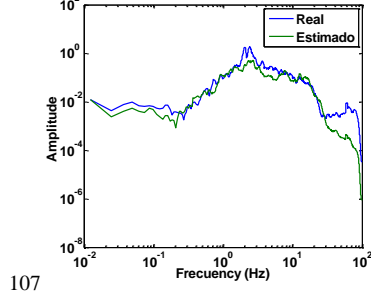
10



5

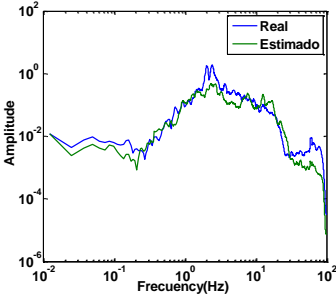


106

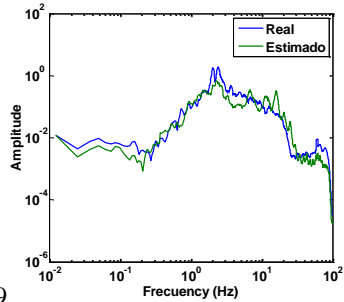


107

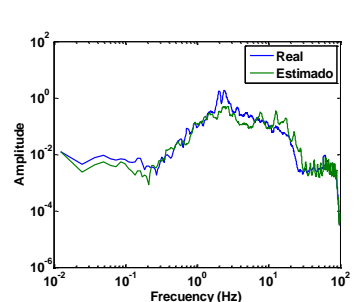
108



109



110



111

ESTACIÓN (UEA)

Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=100)

H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
50,8	72,9	681	0,7	431	277	978	1,1	0,091	0,074	0,4553	0	0,1459	0,136	0,5705	0

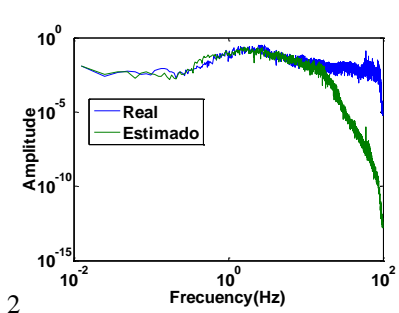
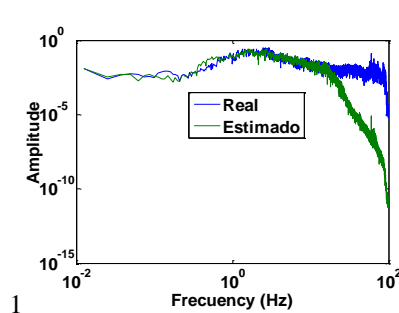
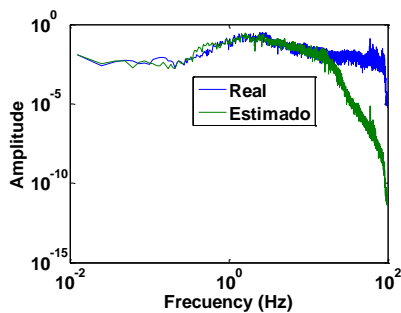
Resultados numéricos:

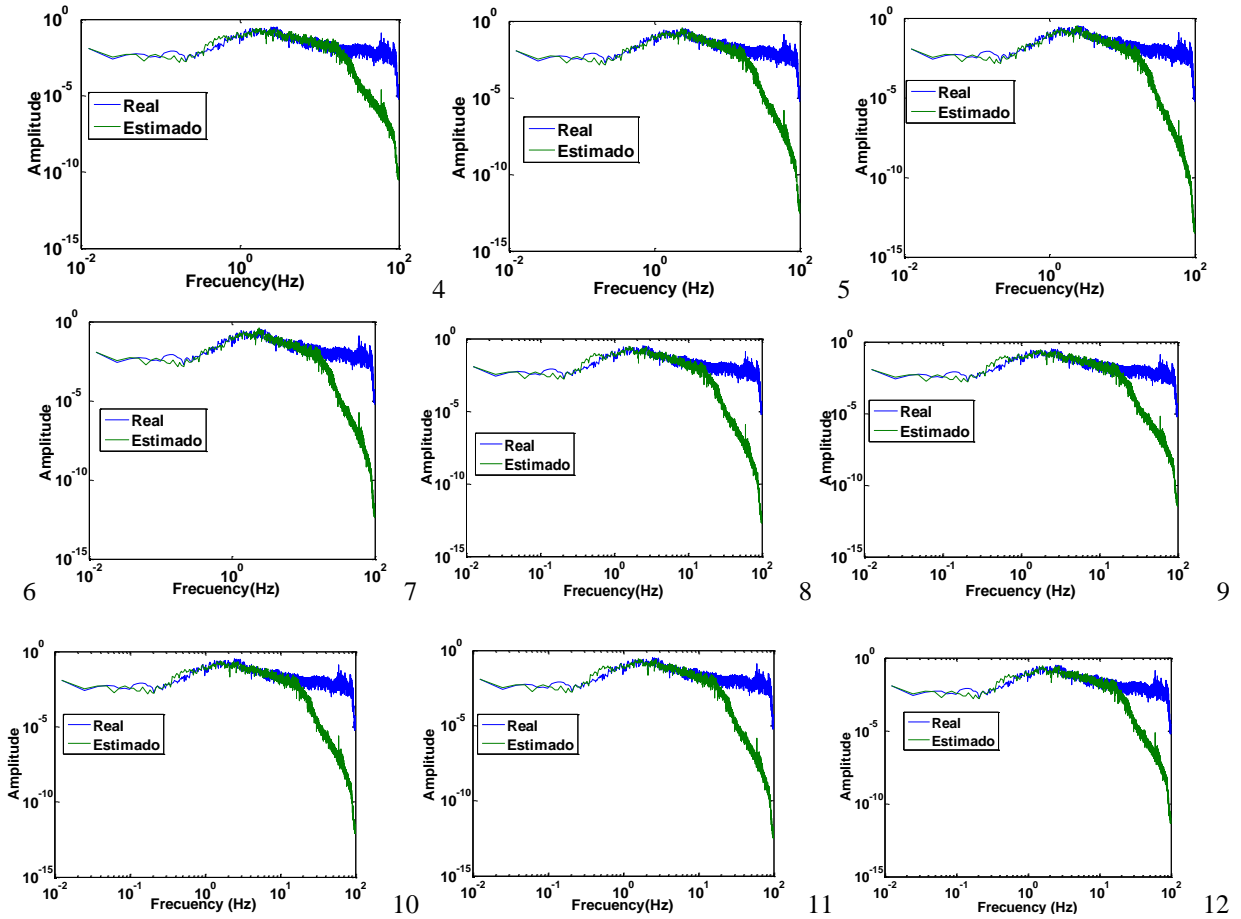
Sis	Parametros del Recocido Simulado									Parámetros Estimados					
	Perturbar		S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor
3C	10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,97	1	70	37	76	732	0,0549	0,0649	2127,6	1	
	10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,97	1	70	37	33	144	0,0549	0,0501	2128	2	
	10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,97	1	70	37	27	97	0,0697	0,0526	2234	3	
	10 90;80 1100;0 0.15;0.05 10	23 300 0.14 7	5000	2	0,97	1	70	37	81	929	0,0501	0,0503	2238	4	
	5 300;80 1600;0 0.5;0.02 20	23 300 0.14 7	5000	2	0,97	1	70	37	16	740	0,4553	0,0229	2105	5	
	5 300;80 1600;0 0.5;0.02 20	100 1000 0.5 15	5000	2	0,97	1	70	37	18	752	0,4476	0,0245	2122	6	
	5 300;80 1600;0 0.5;0.02 20	100 1000 0.5 15	5000	2	0,97	1	70	37	12	321	0,3353	0,031	2127	7	
	5 300;80 1600;0 0.5;0.02 20	100 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	37	173	0,0669	0,02	2185	8	
	5 300;80 1600;0 0.15;0.02 20	100 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	59	498	0,059	0,0206	2244	9	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	100 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	28	103	0,0627	0,082	2198	10	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	27	100	0,0662	0,0248	2166	11	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	30	106	0,0533	0,0691	2165	12	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,8	1	70	37	27	97	0,0627	0,02	2166	13	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	37	29	110	0,0505	0,0697	2132	14	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	37	19	629	0,149	0,2967	2244	15	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	37	30	126	0,0632	0,053	2182	16	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	37	26	96	0,0493	0,1391	2200	17	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	27	101	0,0602	0,0241	2217	18	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	21	858	0,1499	0,275	2238	19	
	5 30;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	27	104	0,0535	0,0325	2203	20	
	5 80;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	78	790	0,0567	0,1233	2191	21	
	5 80;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	77	758	0,0434	0,1315	2157	22	
	5 80;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	20	668	0,1454	0,2562	2252	23	
	5 80;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	71	614	0,0569	0,045	2169	24	
	5 80;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	72	737	0,0581	0,0371	2178	25	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	5000	1	0,85	1	70	35	13	325	0,1491	0,3604	2266	26	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	69	684	0,0544	0,0365	2251	27	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	64	506	0,0504	0,1048	2144	28	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	14	283	0,1495	0,3393	2324	29	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	71	596	0,0436	0,1215	2199	30	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	72	721	0,0641	0,0369	2162,1	31	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	33	144	0,0418	0,29	2260,3	32	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	32	144	0,0581	0,1432	2256,4	33	
	5 100;80 1600;0 0.15;0.02 20	10 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	53	416	0,0609	0,0414	2218,7	34	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	42	238	0,0683	0,0372	2191	35	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	1	1	0	0,0001	2344	36	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	74	670	0,0631	0,0254	2216,2	37	
	SF-10-3C	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	5	84	0,1387	0,2836	1398,9	38
		5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,85	1	70	35	64	493	0,063	0,0562	1513,6	39
		5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	500 1000 0.01 15	50000	1	0,89	1	70	35	9	148	0,15	0,2332	1324	40
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	12	419	0,1499	0,3827	1400,4	41	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	90	978	0,0623	0,0264	1462,5	42	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	107	291	0,0219	0,1194	1631,7	43	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	54	858	0,0751	0,1198	1560,2	44	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	13	365	0,1427	0,5	1543,1	45	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	223	506	0,0105	0,5563	1823,8	46	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	2000	1	0,89	1	35	17	5	80	0,1429	0,4729	1508,7	47	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	20000	1	0,89	1	35	17	56	460	0,0595	0,0291	1430,4	48	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	20000	1	0,89	1	35	17	121	464	0,0203	0,1905	1525	49	
	5 800;80 1600;0 0.15;0.02 20	20 365 0.1 0.5	20000	1	0,92	1	35	17	106	604	0,0375	0,02	1690,2	50	

Parametros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados					
Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor
5 800:80 1600:0 0.15:0.02 20	20 365 0.1 0.5	20000	1	0,92	1	35	17	681	654	0,0041	0,2296	1601,8	51
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	8	198	0,1495	0,3394	1407	52
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	14	280	0,1351	0,1245	1490	53
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	16	604	0,1484	0,3298	1345	54
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	51	445	0,062	0,0441	1639	55
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	6	87	0,1467	0,2734	1307	56
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	200	1	0,92	1	35	17	21	713	0,1479	0,3121	1439	57
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	800	1	0,92	1	35	17	14	683	0,1446	0,2809	1461	58
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	800	1	0,92	1	35	17	13	226	0,145	0,0977	1535	59
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	800	1	0,92	1	35	17	28	102	0,0353	0,4053	1576	60
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	800	1	0,92	1	35	17	8	120	0,1479	0,1111	1443	61
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	8000	1	0,92	1	35	17	9	146	0,134	0,2576	1367	62
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	20 365 0.1 0.5	8000	1	0,92	1	35	17	16	580	0,1434	0,5705	1648	63
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	15	595	0,15	0,2291	1286	64
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	8	121	0,1494	0,2435	1313	65
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	43	254	0,0573	0,02	1353	66
SF-10-2C 5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	12	314,255	0,1483	0,1092	1988	67
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	14	568	0,1477	0,1646	1946	68
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	31	131	0,0561	0,02	2234	69
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	65	578	0,0599	0,02	2251	70
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	2	0,96	1	35	17	36	159	0,0627	0,0632	2553	71
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	1	0,96	1	35	17	5	86	0,1478	0,1668	1965	72
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	1	0,96	1	35	17	120	86	0,0082	0,1819	2613	73
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	1	0,96	1	35	17	72	686	0,0465	0,0468	2241	74
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8000	1	0,96	1	35	17	10	190	0,1484	0,2688	2162	75
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	80000	1	0,96	1	35	17	8	189	0,1468	0,3382	2175	76
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	80000	1	0,96	1	35	17	7	102	0,1499	0,1171	1994	77
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	14	331	0,1492	0,2421	2155	78
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	41	503	0,0428	0,4594	2849	79
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	90	970	0,0539	0,0932	2460	80
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	12	362	0,1497	0,1181	1947,8	81
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	10	207	0,1435	0,2755	2166,9	82
5 120:80 1600:0 0.15:0.02 15	50 500 0.01 0.5	8700	1	0,96	1	35	17	49	372	0,0497	0,0661	2461,9	83
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	10000	1	0,96	1	35	17	83	852	0,0365	0,2311	2451,1	84
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	10000	1	0,96	1	35	17	59	464	0,0521	0,1558	2524,7	85
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	10000	1	0,96	1	35	17	53	852	0,08	0,0393	2511,3	86
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	1	0,9	1	35	17	61	563	0,0572	0,02	2348,7	87
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	1	0,9	1	35	17	105	634	0,0224	0,2791	2581,4	88
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	1	35	17	64	567	0,0598	0,02	2241,6	89
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	1	35	17	68	624	0,0521	0,02	2261	90
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	94	495	0,037	0,0602	2385,6	91
5 120:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	25	87	0,0515	0,0235	2262,3	92
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	73	763	0,0449	0,0456	2334,4	93
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	41	211	0,0467	0,0538	2265,4	94
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	69	673	0,0462	0,0647	2279,3	95
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	82	839	0,0415	0,1282	2311,9	96
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	49	334	0,0495	0,0752	2245,6	97
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	50 500 0.01 0.5	20	2	0,9	3	100	55	87	977	0,0405	0,1172	2298,5	98
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	20 500 0.05 0.5	20	2	0,9	3	100	55	72	678	0,0428	0,0605	2296,4	99
5 90:80 1600:0 0.08:0.02 15	20 500 0.05 0.5	20	2	0,9	3	100	55	79	889	0,0496	0,0368	2248	100

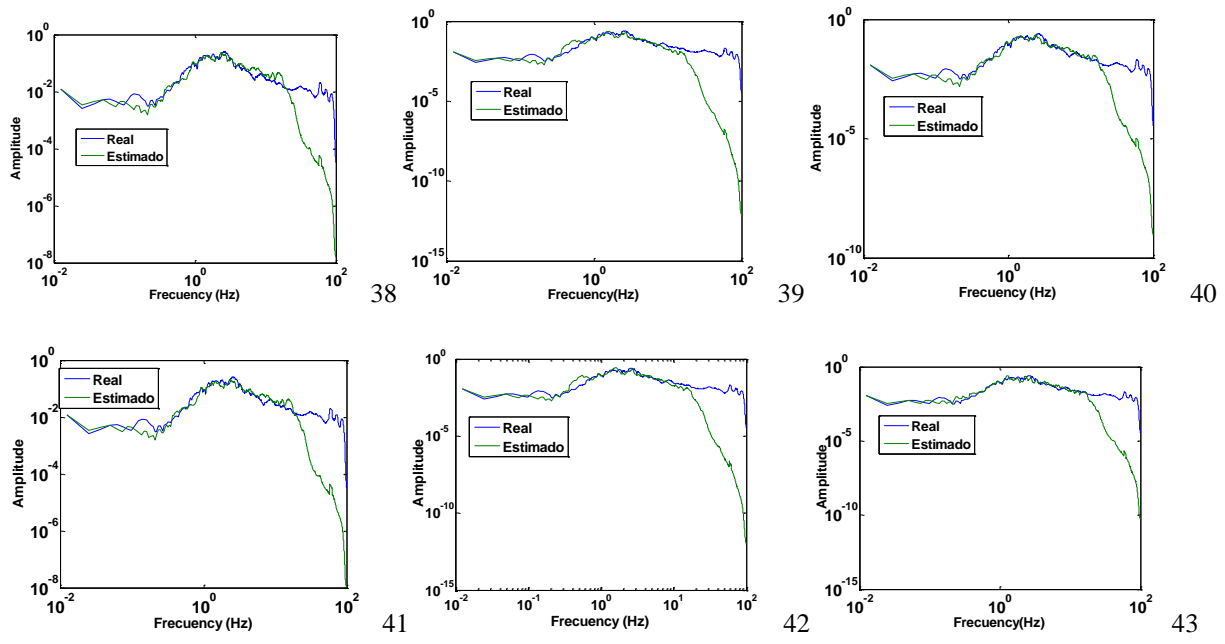
Algunos resultados gráficos:

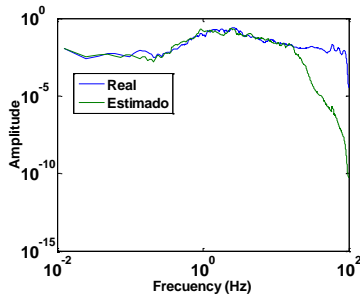
3C



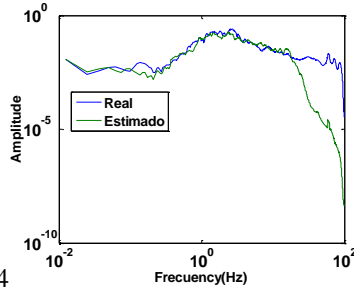


SF-10-3C

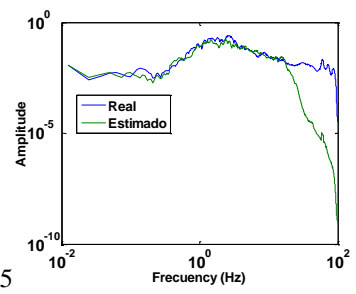




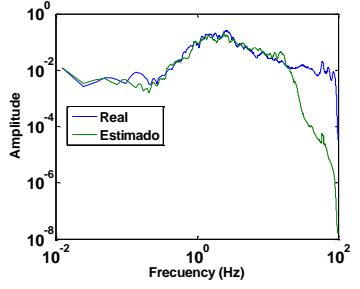
44



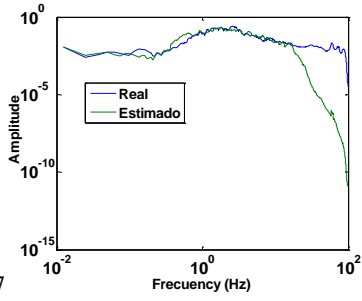
45



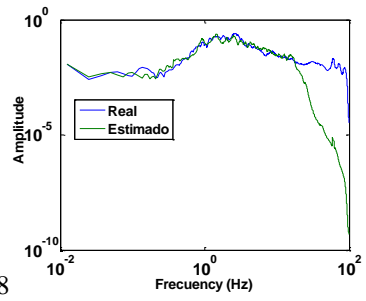
46



47

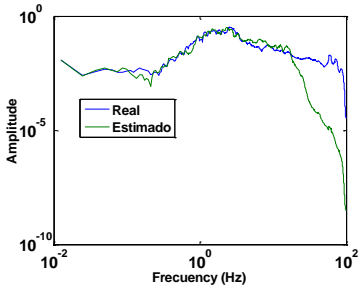


48

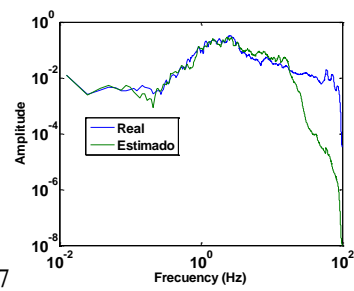


49

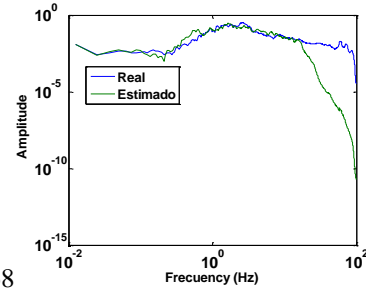
SF-10-2C



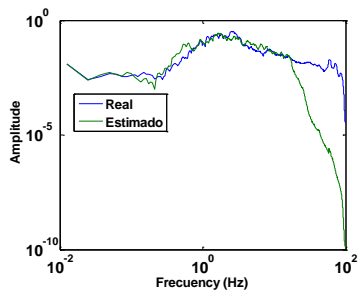
67



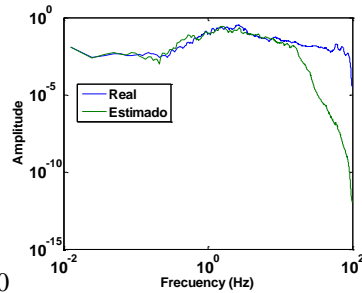
68



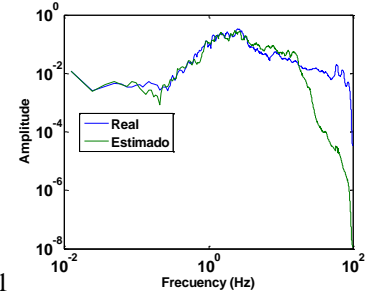
69



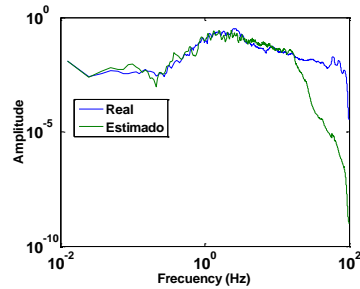
70



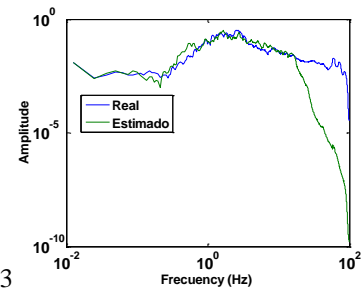
71



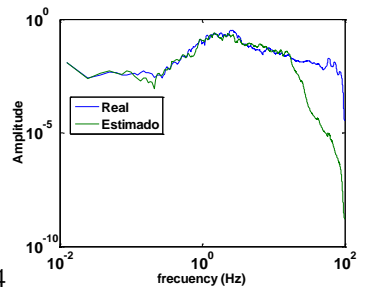
72



73



74



75

ESTACIÓN (EET)

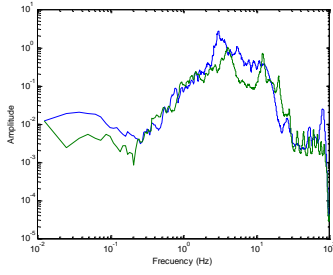
Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=111)

H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
36,6	92,7	814	0	36,6	282	1000	0	0,089	0,561	5,9228	0	0,6976	6,427	67,773	0

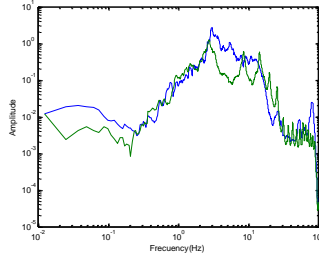
Resultados numéricos:

Sis	Parámetros del Recocido Simulado									Parámetros Estimados					
	Perturbar		S0	To	Opc	Alfa	Beta	M_rs	Iters	Hs	Cs_r	Es	I-r	C-M	Cor
2C	0 100;0 1000;0 0.1;0 10		50 222 0.1 7	2000	1	0,96	1	100	60	11	474	0,0489	0,0001	257862,1	1
	0 100;0 1000;0 0.1;0 10		50 222 0.1 7	20000	1	0,96	1	200	100	11	515	0,0423	0,0015	271327	2
	0 100;0 1000;0 0.1;0 10		50 222 0.1 7	2000000	1	0,96	1	250	120	11	440	0,0121	0,0011	267514	3
	0 100;0 1000;0 0.1;0 10		50 222 0.1 7	2000000	1	0,96	1	250	120	11	474	0,0489	0,0001	257862	4
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000	1	0,96	1	45	25	14	965	0,0001	0,1449	343689	5
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000	1	0,96	1	45	25	13	999	0,0014	0,0132	292133	6
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000	1	0,96	1	45	25	7	573	0,0867	0,0001	330539	7
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000	1	0,96	1	45	25	14	963	0,0728	0,0378	334843	8
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000	1	0,96	1	45	25	5	190	0,0986	0,0041	326531	9
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	20000	1	0,96	1	45	25	10	912	0,0941	0,0365	347139	10
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	200000	1	0,96	1	45	25	10	780	0,0568	0,0517	342227	11
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	200000	1	0,96	1	45	25	7	277	0,0184	0,0965	336552	12
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000000	1	0,96	1	45	25	9	920	0,0335	0,0006	350396	13
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	2000000	2	0,96	1	45	25	17	1000	0,0348	0	247196	14
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	200000	2	0,96	1	45	25	12	497	0,0281	0	238370	15
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	200000	2	0,96	1	45	25	12	494	0,0307	0	237397	16
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		20 300 0.05 7	20	2	0,96	1	45	25	13	630	0,0244	0	236756	17
	0 100;0 1000;0 0.1;0 30		0 1000 0.15 20	3000000	2	0,96	1	45	25	12	501	0,0241	0,0001	262153	18
	0 100;0 1000;0 0.2;0 30		80 0 0.15 0	3000000	2	0,96	1	45	25	80	0	0,15	0		19
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	2000	2	0,96	1	45	25	6	141	0,0235	0	237528	20
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	20000	3	0,96	1	45	25	5	997	0,0113	0,1625	370872	21
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	20000	3	0,96	1	45	25	16	795	0,0205	0,0304	327878	22
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	20000	3	0,96	1	45	25	17	946	0,0262	0,0453	332636	23
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	20000	3	0,96	1	45	25	47	749	0,0061	0,1325	369801	24
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	20000	3	0,96	1	45	25	18	998	0,0508	0,0011	315016	25
	0 100;0 1000;0 0.2;0 100		80 500 0.15 50	200000	3	0,96	1	45	25	46	982	0,0299	0,0011	350189	26
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	200000	3	0,96	1	45	25	15	798	0,0323	0,1592	360579	27
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	200000	3	0,96	1	45	25	14	694	0,0309	0,0007	255592	28
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	200000	3	0,96	1	36	25	5	266	0,0199	0,0545	350878	29
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	20000000	3	0,96	1	36	25	13	917	0,0077	0,0252	301770	30
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	20000000	3	0,99	1	36	25	11	836	0,0105	0,1035	339046,2	31
	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		0 1000 0.15 50	2000	3	0,99	1	36	25	6	551	0,0275	0,0663	354182,5	32
	3C	0 100;0 1200;0 0.2;0 100		20 500 0.05 7	2000	1	0,96	1	36	25	12	544	0,059	0,001	145143,1
0 100;0 1200;0 0.2;0 20		20 500 0.05 10	2000	1	0,96	1	36	25	13	927	0,0809	0,0039	160589,2	34	
SF-10	0 100;0 1200;0 0.2;0 20		20 500 0.05 10	2000	3	0,96	1	36	25	7	255	0,0098	0,1045	0	35
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		25 420 0.05 1000	2000	1	0,96	1	36	25	8	780	0,0379	0,0759	344341,8	36
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		25 420 0.05 10	2000	1	0,96	1	36	25	3	88	0,0077	0,1105	343595,1	37
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		11 1000 0.2 7	635	1	0,96	1	120	85	8	400	0,0033	0,0063	252194,9	38
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		11 1000 0.2 7	635	1	0,98	1	120	85	5	148	0,0136	0,0055	272901,9	39
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		11 1000 0.2 7	635	1	0,99	1	120	85	15	757	0,0088	0,0115	275082,9	40
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		11 1000 0.2 7	635	1	0,99	1	120	85	6	125	0,0119	0,0106	279365,4	41
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		11 1000 0.2 7	1450	1	0,99	1	120	85	5	137	0,0408	0,0034	254683,8	42
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 1000	8000	1	0,96	1	120	85	5	74	0,0285	0	193455,5	43
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 1000	8000	1	0,96	1	120	85	14	756	0,0265	0	193612,9	44
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 1000	8000	1	0,96	1	120	85	8	242	0,0282	0	193485,3	45
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 3.5	3000	1	0,96	1	22	16	26	364	0,0182	0,0299	347662,2	46
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 3.5	3000	1	0,96	1	22	16	68	504	0,01	0,0025	355251,9	47
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 3.5	3000	1	0,96	1	22	16	5	856	0,0985	0,0132	353077,7	48
	0 100;0 1200;0 0.2;0 1500		50 325 0.02 3.5	3000	1	0,96	1	22	16	8	400	0,0033	0,0063	252194,9	49

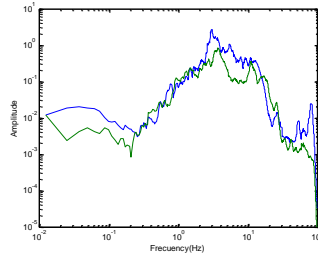
Parametros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados					
Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs r	Es	I-r	C-M	Cor
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	11 600 0.3 100	2000	3	0,96	1	200	80	5	137	0,0378	0	226127	50
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	11 600 0.3 100	2000	1	0,99	1	35	18	73	720	0,012	0	333612	51
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	11 600 0.3 100	2000	1	0,99	1	35	18	5	164	0,0878	0,016	312202	52
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	11 600 0.3 100	2000	1	0,99	1	35	18	3	429	0,001	0,0471	350878	53
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,99	1	35	18	54	602	0,0006	0,1176	360581	54
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	18	15	958	0,0383	0,0473	311644	55
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	18	38	595	0,0007	0,0351	324350	56
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	18	100	519	0,0146	0,0461	389872	57
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	23	10	812	0,0111	0,0034	308462	58
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	23	18	152	0	0,0209	320858	59
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,83	1	35	23	6	698	0,0081	0,0342	343349	60
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,85	1	35	23	28	345	0,0131	0,0036	313017	61
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,85	1	35	23	93	296	0,0002	0,123	358757	62
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,85	1	35	23	54	602	0,0006	0,1176	360581	63
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,88	1	35	23	15	958	0,0383	0,0473	311644	64
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,88	1	35	23	38	595	0,0007	0,0351	324350	65
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,88	1	35	23	100	519	0,0146	0,0461	389872	66
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000	1	0,88	1	35	23	18	891	0,1376	0,0327	380571	67
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000000	1	0,88	1	35	23	82	370	0,0029	0,011	342755	68
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000000	1	0,88	1	35	23	8	780	0,0758	0,0101	324196	69
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000000	1	0,88	1	35	23	7	350	0,1282	0,011	331093	70
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000000	1	0,88	1	35	23	16	953	0,041	0,0608	327060	71
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	2000000	1	0,88	1	35	23	54	602	0,0006	0,1176	360581	72
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	200	1	0,88	1	35	23	36	595	0,0007	0,0898	338765	73
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	200	3	0,88	1	35	23	5	949	0,1628	0,0814	375570	74
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	200	3	0,88	1	35	23	18	891	0,1376	0,0327	380571	75
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	200	3	0,88	1	35	23	66	672	0,0015	0,1566	360206	76
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	200	3	0,88	1	35	23	54	602	0,0006	0,1176	360582	77
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	3	0,88	1	35	23	15	958	0,0383	0,0473	311644	78
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	3	0,88	1	35	23	38	595	0,0007	0,0351	324373	79
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	3	0,88	1	35	23	100	519	0,0146	0,0461	389872	80
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	2	0,88	1	35	23	18	891	0,1376	0,0327	380571	81
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	2	0,88	1	35	23	19	980	0,0013	0,2975	367468	82
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	2	0,88	1	35	23	0	1	0,0001	0,1734	405144	83
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	2	0,85	1	35	23	0	765	0,1635	1,1772	405144	84
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	22 100 0.03 7	6000	2	0,85	1	35	23	6	147	0,0523	0	197939	85
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	0 1000 0 0	6000	2	0,85	1	35	23	15	834	0,0305	0	196387	86
2C 0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,8	1	35	23	12	495	0,0758	0,2332	383805	87
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,8	1	35	23	12	724	0,0065	0,0723	328866	88
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,8	1	35	23	12	495	0,0758	0,2332	383805	89
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,8	1	35	23	12	724	0,0065	0,0723	328866	90
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,8	1	35	23	9	636	0,139	0,0486	360768	91
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0 0	6000	1	0,85	1	35	23	12	495	0,0758	0,2332	383805	92
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0.2 1000	3000	1	0,88	1	28	17	0	621	0,0142	0,867	399128	93
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0.2 1000	3000	1	0,88	1	28	17	5	999	0	0,3396	381149	94
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	1000 1000 0.2 1000	3000	1	0,88	1	28	17	0	32	0,2675	0,5412	398560	95
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	100 1000 0.2 1000	3000	1	0,88	1	28	17	814	283	0,0005	0,5814	399544	96
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 1000 0.2 1000	3000	1	0,88	1	28	17	490	443	0	0,3276	379170	97
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 1000 0.2 1000	3000	2	0,88	1	28	17	159	649	0,0004	0,145	369139	98
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 1000 0.2 1000	3000	2	0,88	1	28	17	0	301	5,9228	67,773	399157	99
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 580 0.03 10	3000	3	0,98	1	350	220	15	822	0,0307	0,0024	268185	100
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 580 0.03 10	3000	3	0,98	1	35	22	6	788	0,1138	0,0053	358500	101
3C 0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 580 0.03 10	3000	3	0,98	1	35	22	31	326	0,0002	0,0671	198765	102
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	20 580 0.03 10	3000	3	0,8	1	35	22	11	404	0,0015	0,0196	0	103
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	5 1000 0.03 7	3000	1	0,8	1	35	22	31	326	0,0002	0,0671	198765	104
0 100;0 1200;0 0.4;0 200	5 1000 0.03 7	2000	1	0,8	1	35	22	9	424	0,0054	0,0122	156417	105



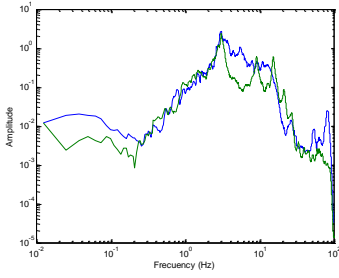
39



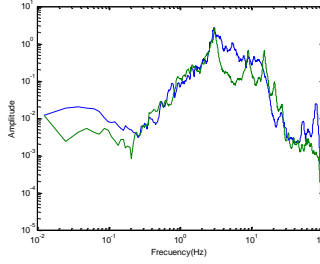
40



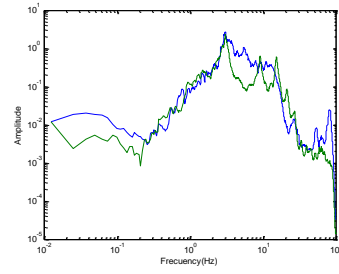
41



42

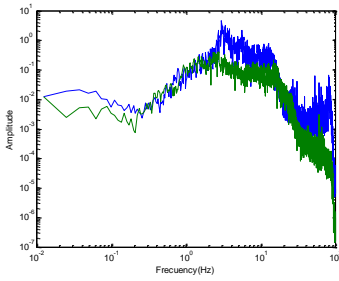


43

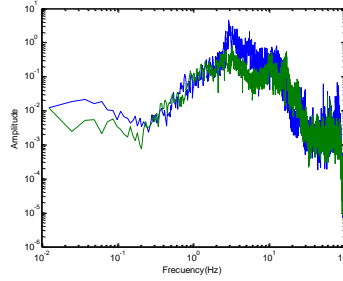


44

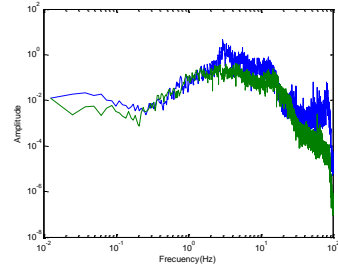
2C



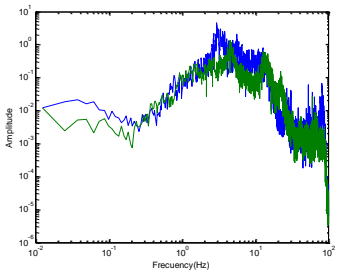
88



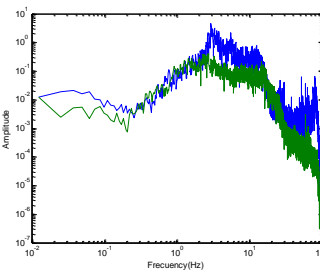
89



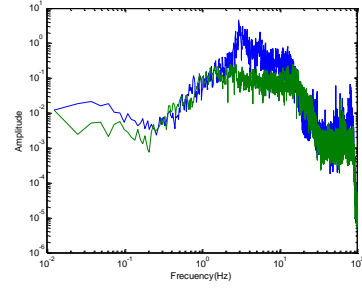
90



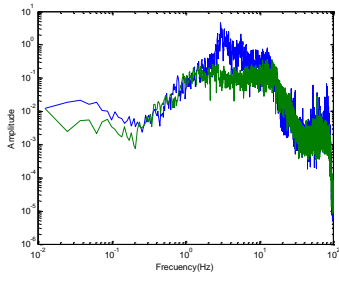
91



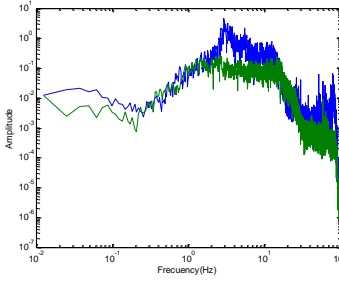
92



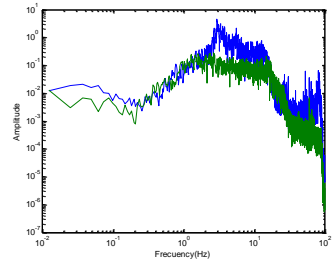
93



94

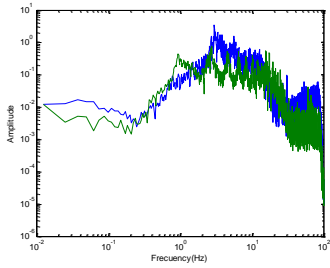


95

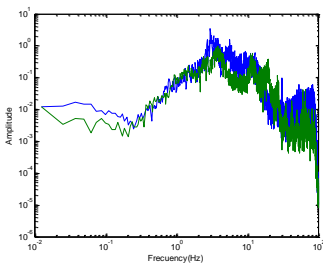


96

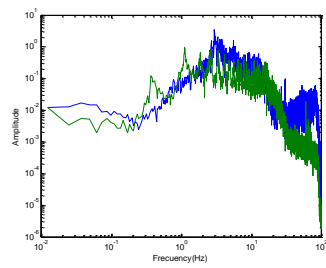
3C



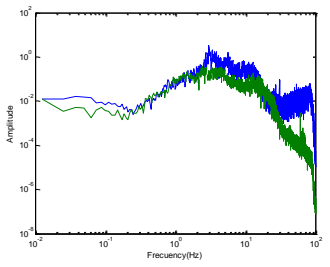
104



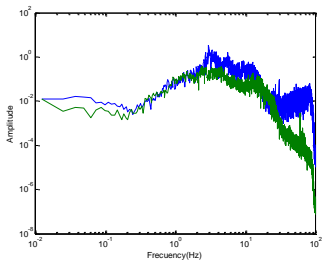
105



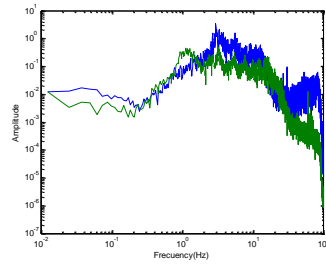
106



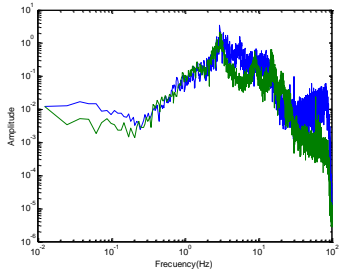
106



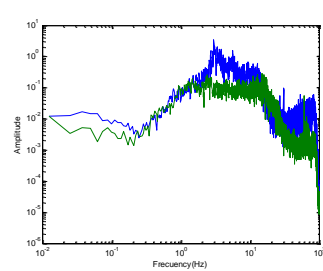
107



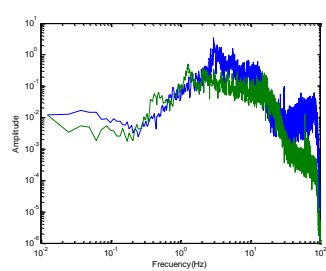
108



109



110



111

SISMO

ESTACIÓN CSJ

Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=100)

H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
13,5	27,1	199	0,3	418	284	983	80	0,059	0,054	0,1998	0	0,1586	0,314	1,0002	0

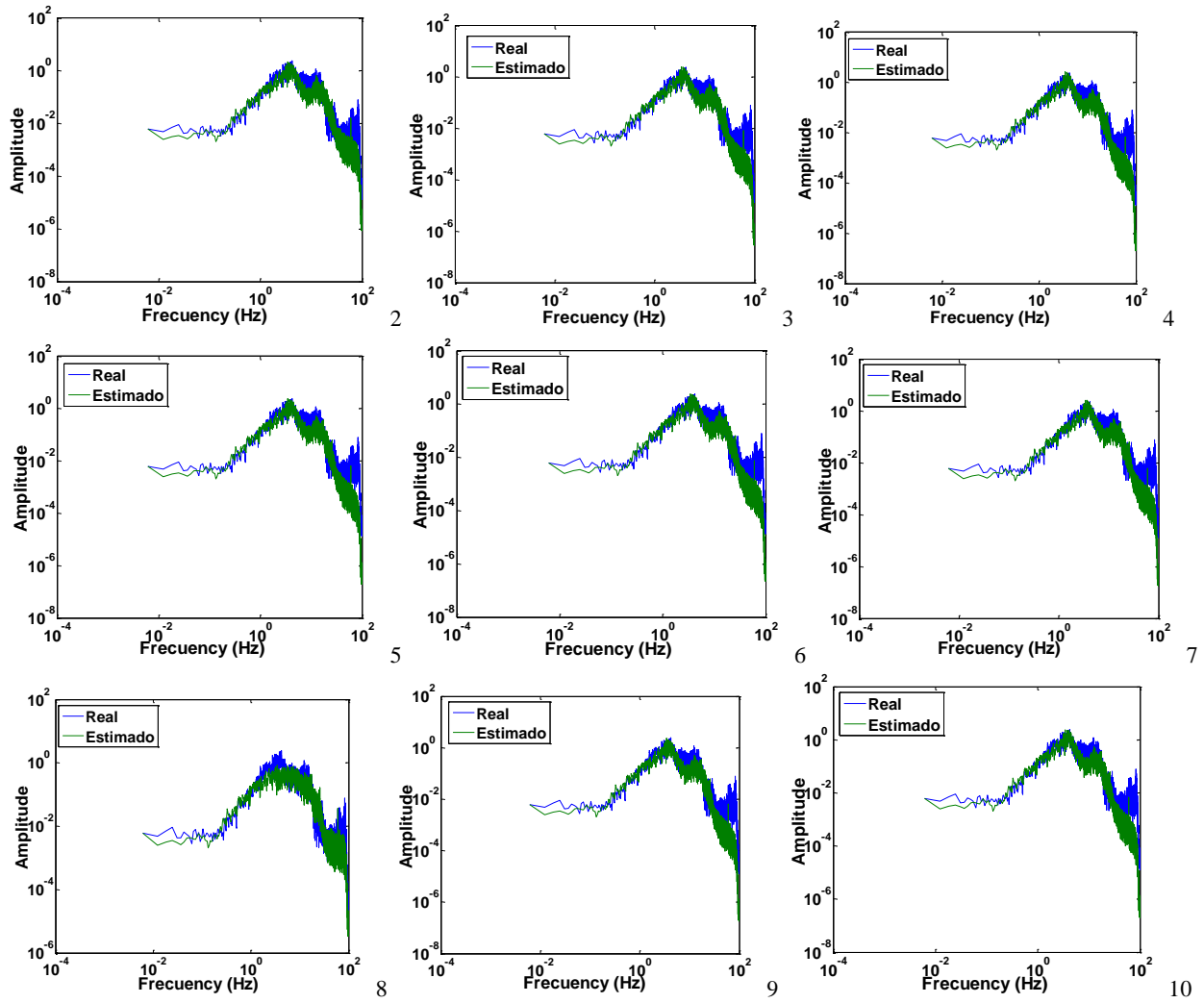
Resultados numéricos:

Sis	Parametros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados						
	Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor	
3C	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,9	1	100	52	4	80	0,1019	0,002	253477,7	1	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,9	1	100	52	4	81	0,0778	0,014	248246	2	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,91	1	100	52	10	658	0,1068	0,0012	256055	3	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,91	1	100	52	6	195	0,1162	0	261864	4	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,91	1	100	52	4	80	0,12	0,0006	256172	5	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,91	1	100	52	7	269	0,1144	0,0005	256320	6	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,91	1	100	52	9	502	0,1193	0	262554	7	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,91	1	100	52	16	852	0,0047	0,0763	350650	8	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	10	616	0,1198	0,0025	256532	9	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	10	657	0,1199	0,0002	258635	10	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	9	482	0,1084	0	269041	11	
	1 200;80 1600;0 0.12;0 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	6	207	0,0783	0,0114	248931	12	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	74	571	0	1	477180	13	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	10 400 0.05 1	20	1	0,91	1	100	52	1	877	0	1	477180	14	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	0.3 400 0.05 1	200000	1	0,91	1	100	52	0	117	0,0042	1	477187	15	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	3	0,91	1	100	52	4	181	0,0001	1	477209	16	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	3	0,91	1	100	52	1	223	0	1,0002	477188	17	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	3	0,91	1	100	52	1	254	0,0007	1,0001	477198	18	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	3	0,91	1	100	52	6	431	0	1	477180	19	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	2	0,91	1	100	52	2	260	0	1	477180	20	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	1 400 0.05 1	200000	2	0,91	1	100	52	199	255	0	1	477180	21	
	1 200;80 1600;0 0.2;1 15	3 150 0.02 15	20	2	0,99	1	52	28	175	294	0	1	477180	22	
	1 50;80 1600;0 0.2;1 15	3 150 0.02 15	20	2	0,99	1	52	28	6	542	0	1	477180	23	
2C	1 50;80 1600;0 0.2;0.2 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,9	1	52	28	4	86	0	0,2	539735	24	
	1 50;80 1600;0 0.2;0.2 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,9	1	52	28	11	774	0,0001	0,2	539832	25	
	1 50;80 1600;0 0.2;0.2 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,9	1	52	28	6	186	0	0,2	539703	26	
	1 50;80 1600;0 0.2;0.2 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,9	1	52	28	5	150	0	0,2	540551	27	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,9	1	52	28	4	80	0,1111	0	425957	28	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,95	1	30	15	7	304	0,1013	0,0002	425112	29	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,95	1	30	15	8	395	0,0001	0,0702	439344	30	
SF-10-3C	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	1000	2	0,95	1	30	15	16	983	0,0262	0,0381	238696,7	31	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	42	276	0,0019	0,1612	318856,3	32	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	14	855	0,0041	0,7766	420367,9	33	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	11	887	0,145	0	153035,7	34	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	10	760	0,1394	0	155710	35	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	6	179	0,1544	0,0067	194461,9	36	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	10000	2	0,95	1	18	9	11	619	0,144	0,0002	155646	37	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	100000	2	0,95	1	18	9	4	82	0,0035	0,031	142447,3	38	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	100000	3	0,95	1	18	9	11	634	0,0107	0,0433	128468,7	39	
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	3 150 0.02 15	100000	3	0,95	1	18	9	5	181	0,0888	0,3181	379317	40	

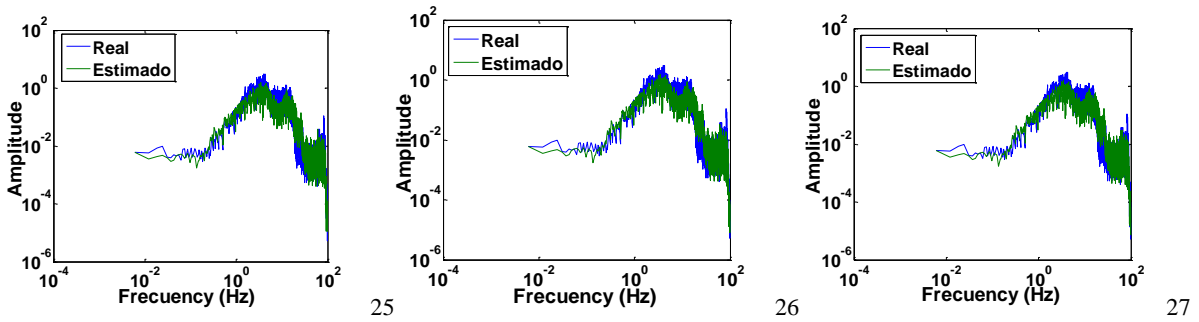
Sis	Parametros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados					
	Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,95	1	18	9	7	823	0,0127	0,3933	359813,2	41
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,95	1	18	9	9	359	0,0026	0,195	243299	42
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,9	1	18	9	16	732	0,0071	0,2114	316049	43
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,9	1	18	9	9	937	0,0313	0,0626	267516	44
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,8	1	18	9	14	145	0,0245	0,0268	288256	45
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	3	0,8	1	18	9	10	953	0,05	0,1052	232639	46
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,8	1	18	9	44	180	0,0015	0,0532	348221	47
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,8	1	18	9	6	192	0,0832	0,0602	247137	48
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,8	1	18	9	16	157	0,0004	0,0778	307497	49
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,8	1	18	9	48	123	0,0033	0,1373	325622	50
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,82	1	18	9	8	497	0,0171	0,1829	223801	51
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100000	1	0,82	1	18	9	27	593	0,0168	0,011	309706	52
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	10	1	0,82	1	18	9	12	897	0,197	0,0011	214930	53
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	10	1	0,82	1	18	9	12	863	0,0432	0,0264	107293	54
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	10	1	0,82	1	18	9	8	385	0,0477	0,0144	101050	55
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	10	2	0,82	1	18	9	38	914	0,0079	0,0725	288060	56
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	10	2	0,82	1	18	9	3	80	0,1224	0	132743	57
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	10	663	0,0196	0,037	102573	58
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	8	490	0,0008	0,0618	200248	59
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	10	606	0,1328	0,0003	139786	60
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	5 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	8	391	0,0923	0,0016	114169	61
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	7	325	0,0907	0,0003	131702	62
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	2	0,82	1	18	9	6	224	0,1346	0,0003	139650	63
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	2	0,88	1	18	9	10	594	0,0779	0,0024	115589	64
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	2	0,88	1	18	9	4	109	0,1115	0,0001	121816	65
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	4	99	0,0803	0,1108	247632	66
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	6	217	0,0136	0,0804	145621	67
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	6	276	0,1241	0,0519	250754	68
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	7	520	0,1998	0,0176	300918	69
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	12	588	0,0879	0,0475	246658	70
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	4	92	0,1711	0	173368,4	71
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	10	621	0,1114	0,0053	135644,9	72
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	0 80 0 0	100	3	0,88	1	18	9	8	453	0,0563	0,0104	155501,9	73
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 0	5	3	0,88	1	18	9	11	767	0,0464	0,0146	106954,3	74
SF-10-2C	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 0	5	3	0,88	1	18	9	5	153	0,071	0	207921,9	75
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 0	5	3	0,88	1	18	9	9	270	0,058	0,0522	399885,9	76
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 0	5	3	0,9	1	18	9	9	444	0,1215	0	190446,7	77
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 0	5	3	0,9	1	18	9	4	82	0,0001	0,0268	194973	78
	1 50;80 1600;0 0.2;0 15	100 80 0 15	5	3	0,9	1	18	9	12	969	0,0008	0,0227	188587,6	79
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700	3	0,9	1	18	9	13	698	0,0442	0,0421	336657,9	80
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700	1	0,9	1	18	9	9	793	0,104	0,1098	494071	81
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700	1	0,9	1	18	9	6	231	0,0003	0,0404	186689,4	82
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700	1	0,9	1	180	90	8	444	0,0574	0,0067	151493,2	83
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	7000	1	0,9	1	180	90	4	107	0,0401	0,0059	153339,4	84
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	7000	2	0,9	1	180	90	5	136	0,0856	0,0012	160751,7	85
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	70000	2	0,9	1	180	90	9	490	0,068	0,0034	153626,1	86
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700000	2	0,9	1	180	90	4	84	0,1057	0,0002	196023,1	87
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	100 80 0 100	700000	2	0,96	1	22	15	4	80	0,0932	0	164235,9	88
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	0 80 0 100	700000	2	0,96	1	22	15	8	334	0,1165	0	185076,9	89
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	0 80 0 0	700000	2	0,96	1	22	15	4	85	0,0953	0	162562,5	90
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	700000	2	0,96	1	22	15	12	830	0,0766	0,0011	156424,1	91
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	70	2	0,96	1	22	15	8	405	0,0135	0,0167	155669,3	92
	1 50;80 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	20	2	0,96	1	22	15	7	304	0,0012	0,0472	184643,2	93
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	0 20 0 1 0	20	2	0,96	1	22	15	5	126	0,0974	0,0004	175912,7	94
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	0 20 0 1 0	20	2	0,96	1	22	15	5	155	0,09	0	188856,4	95
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	0 20 0 1 0	20	2	0,96	1	22	15	5	165	0,0835	0	215118,5	96

Algunos resultados gráficos:

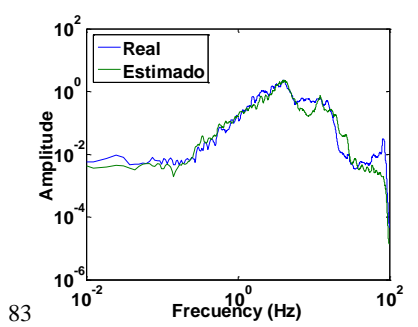
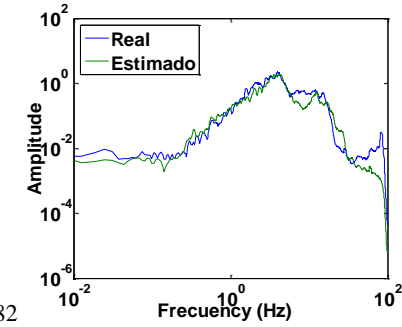
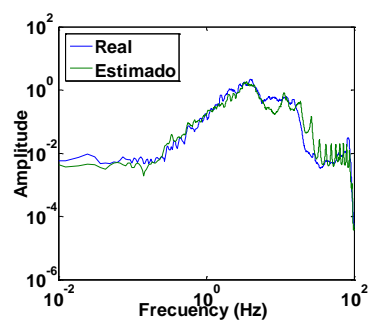
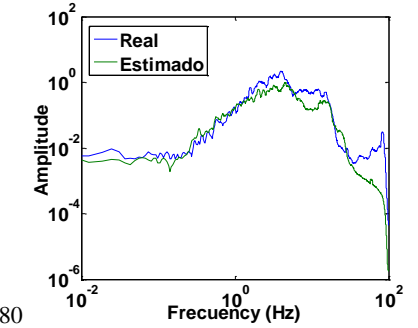
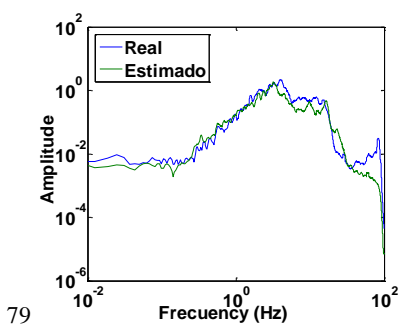
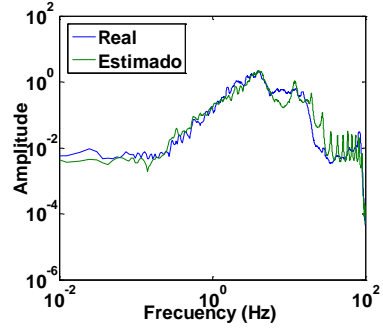
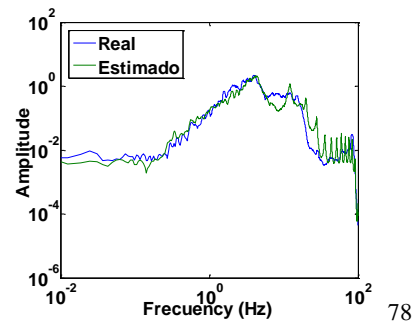
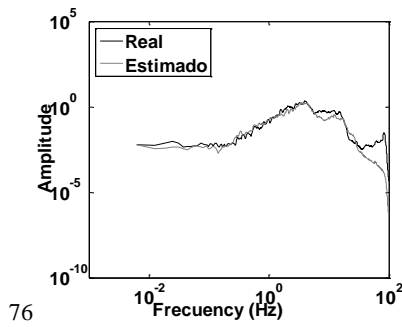
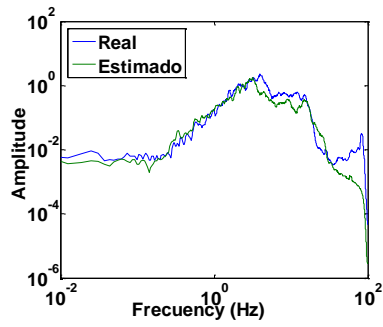
3C



2C



SF-10-2C



ESTACIÓN FMI

Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=48)

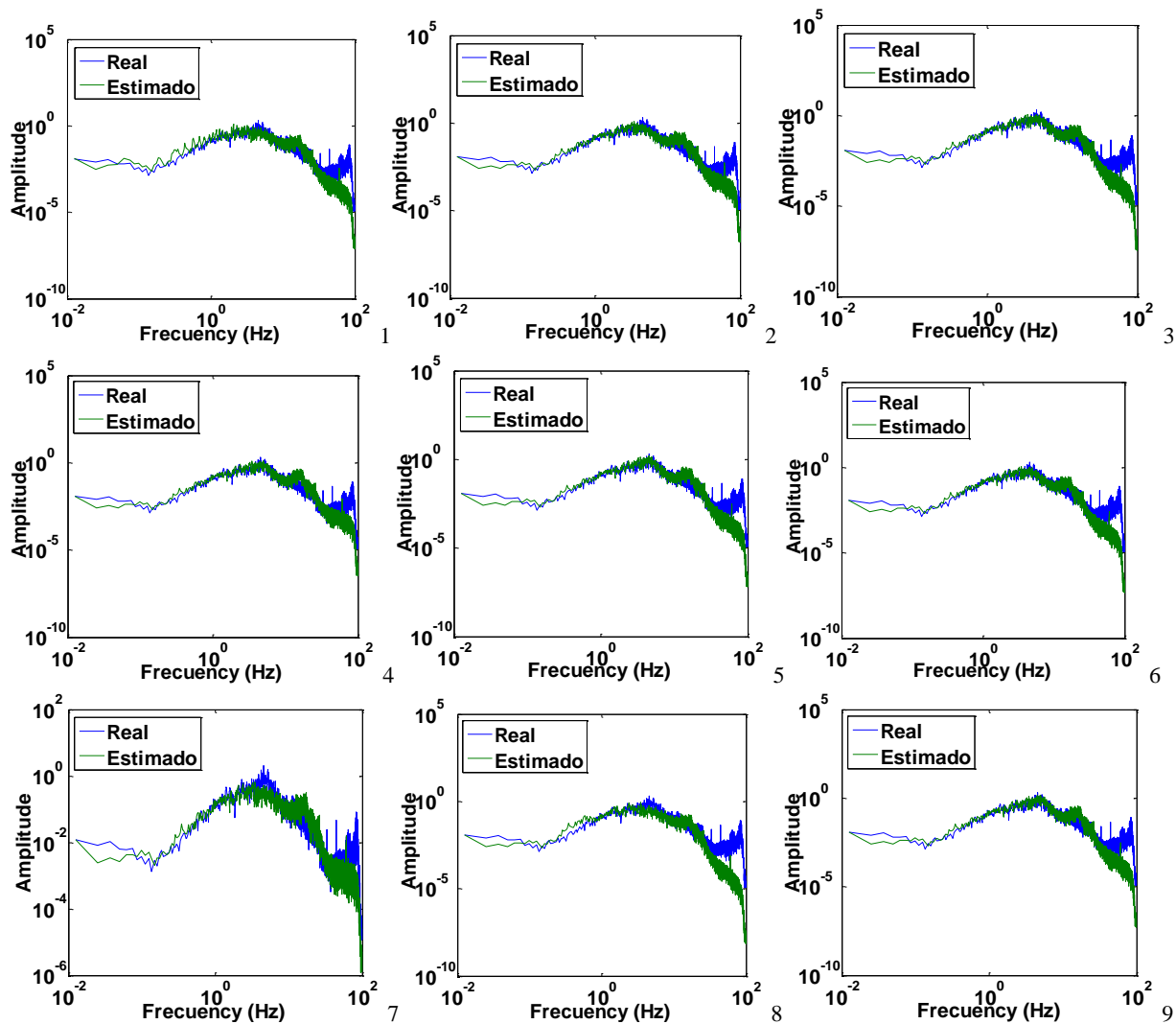
H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
12,6	13,9	56,1	1,2	550	358	1000	0,04	0,126	0,068	0,2	0,0017	0,11	0,134	0,6916	0

Resultados numéricos:

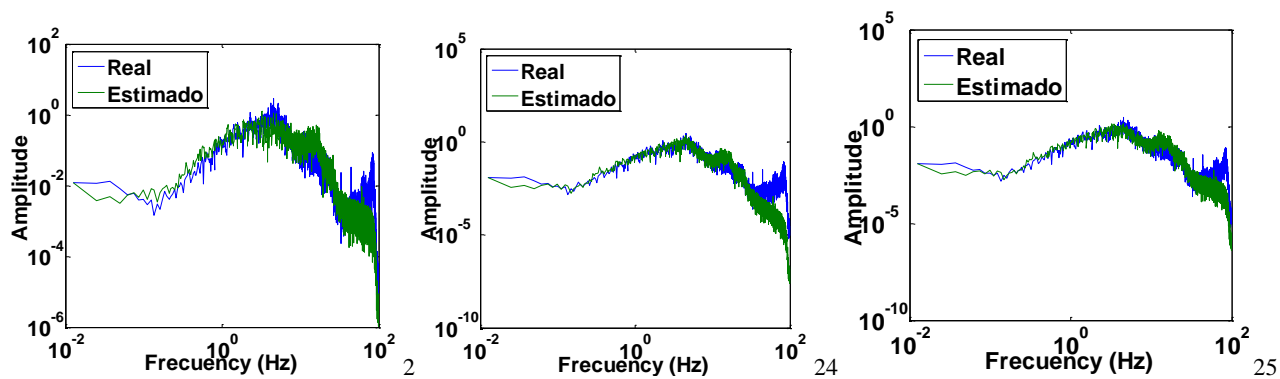
Sis	Parametros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados					
	Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M_rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor
3C	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	0 20 0.1 10	20	1	0,85	1	22	15	50	4	0,0021	0,0987	63,0214	1
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	0 20 0.1 10	20	1	0,85	1	22	15	8	414	0,1221	0,1052	52	2
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.1 10	20	1	0,85	1	22	15	4	131	0,1992	0,0188	42	3
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.1 10	200	1	0,85	1	22	15	10	942	0,1224	0,04	49	4
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.1 10	200	1	0,85	1	22	15	4	140	0,173	0,0032	51	5
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.05 10	200	1	0,85	1	22	15	7	478	0,1876	0,0436	43	6
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.05 10	200	1	0,85	1	22	15	10	783	0,0984	0,0191	66	7
	0 50;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.05 10	2000	1	0,85	1	22	15	48	235	0,0243	0,1831	64	8
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.05 10	2000	2	0,85	1	22	15	9	752	0,1994	0,0004	50	9
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	5 100 0.05 10	2000	2	0,85	1	22	15	5	182	0,1884	0,0114	43	10
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	80 1000 0.05 0	2000	2	0,85	1	22	15	49	161	0,0174	0,0961	63	11
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	80 1000 0.05 0	200000	2	0,85	1	22	15	9	707	0,1979	0,0015	47	12
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	80 1000 0.05 0	20000000	2	0,85	1	22	15	6	303	0,197	0,0178	42	13
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	80 1000 0.05 0	20000000	1	0,9	1	22	15	6	253	0,1252	0,0829	48	14
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	80 1000 0.05 0	20000000	1	0,97	1	22	15	5	126	0,053	0,3339	61	15
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	20000000	1	0,97	1	22	15	5	837	0,1907	0,6916	65	16
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	20000000	1	0,97	1	22	15	1	13	0,1423	0,1637	49	17
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	20000000	1	0,97	1	22	15	6	671	0,2	0,0864	53	18
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	11	934	0,1963	0,009	43	19
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	8	0	0,0017	0,0496	64	20
0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	8	470	0,1999	0	53	21	
2C	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	5	173	0,1978	0,0003	81	22
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	56	36	0,0024	0,2242	125	23
	0 100;0 1600;0 0.2;0 100	0 1000 0 0	12	1	0,97	1	22	15	8	469	0,1999	0,0005	80	24
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	1	0,97	1	22	15	6	277	0,0905	0,0953	97	25
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	1	0,97	1	22	15	12	826	0,1961	0,0097	100	26
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	1	0,97	1	22	15	2	85	0,1909	0,3659	120	27
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	1	0,97	1	22	15	5	223	0,098	0,1034	93	28
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	1	0,97	1	22	15	12	984	0,0112	0,2493	115	29
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,97	1	22	15	50	884	0,0455	0,0164	127	30
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,97	1	22	15	2	46	0,1067	0,0935	92	31
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,97	1	22	15	7	1000	0,1777	0,0553	107	32
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	8	695	0,1829	0,0821	93	33
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	13	937	0,0949	0,1444	108	34
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	12	945	0,1179	0,1031	100	35
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	10	993	0,173	0,0793	90	36
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	11	968	0,0668	0,143	99	37
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	3	138	0,022	0,5189	126	38
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	0 1000 0 0	120	3	0,86	1	22	15	10	933	0,1943	0,1287	100	39
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	3	0,86	1	22	15	9	503	0,0721	0,1153	102	40
	0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	3	0,86	1	22	15	9	957	0,186	0,0932	96	41
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	3	0,86	1	22	15	9	831	0,1319	0,1008	93	42	
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	3	0,9	1	22	15	8	946	0,1654	0,0913	101	43	
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	3	0,9	1	22	15	20	384	0,053	0,0668	115	44	
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	1	0,9	1	22	15	7	563	0,1998	0,0029	93	45	
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	1	0,9	1	22	15	5	732	0,0919	0,2536	120	46	
0 50;0 1000;0 0.2;0 20	11 600 0.02 7	120	1	0,9	1	22	15	12	936	0,1265	0,128	103	47	

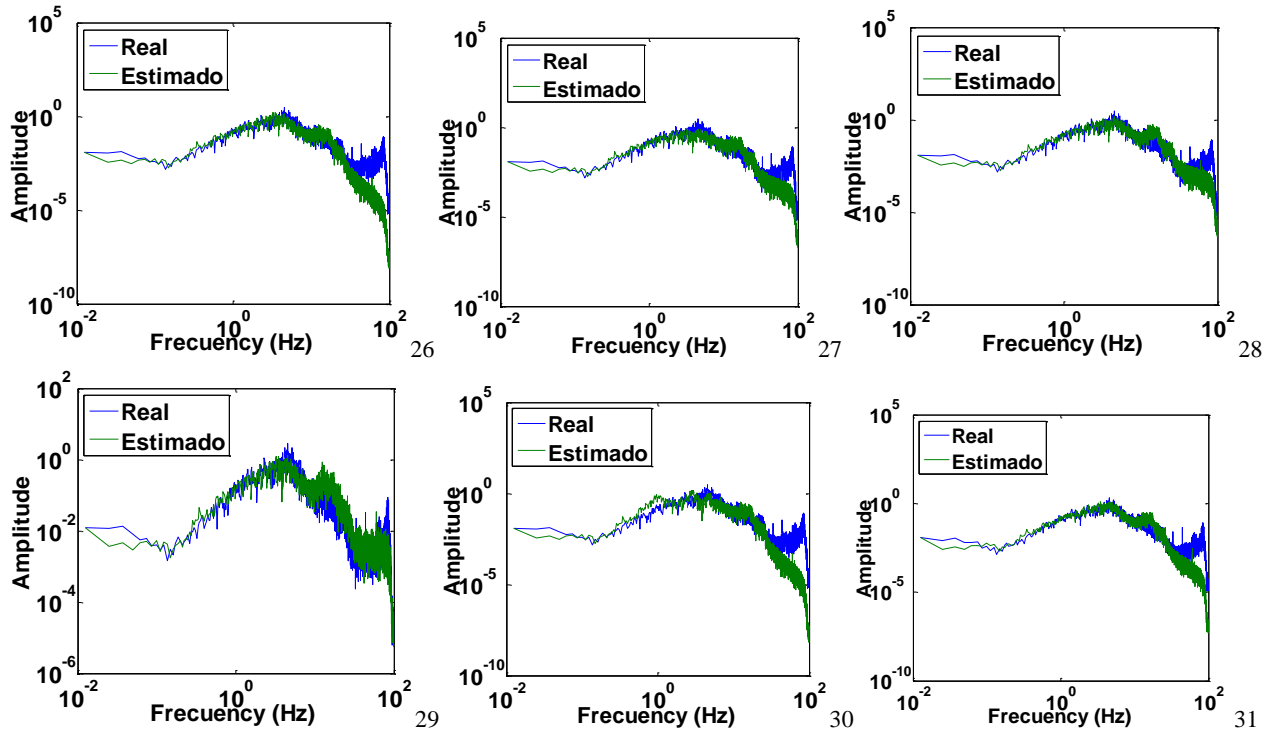
Algunos resultados gráficos:

3C



2C





ESTACIÓN SOL

Análisis estadístico (Tamaño de la muestra=100)

H				Cs				ξs				I			
Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min	Prom	Desv	Max	Min
7,04	18,8	191	2,2	483	271	977	80	0,055	0,035	0,1199	0,0001	0,0384	0,057	0,3611	0

Resultados numéricos:

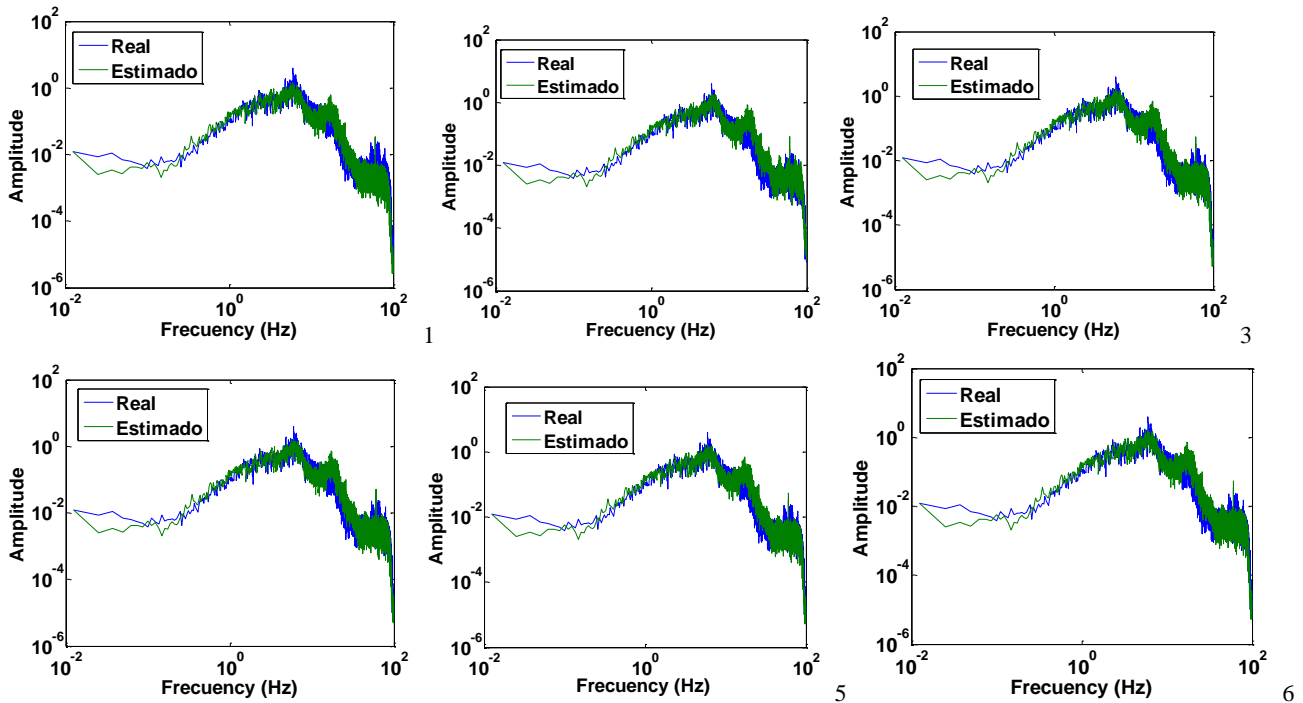
Sis	Parámetros del Recocido Simulado										Parámetros Estimados										
	Perturbar			S0	To	Opc	Alfa	Beta	M	rs	Iters	Hs	Cs	ξs	I	C-M	Cor				
3C	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	20	500	0.05	0.5	2000	3	0.9	1	100	55	6	610	0,0766	0,0202	124152,2	1
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	20	500	0.05	0.5	2000	3	0,9	1	100	55	5	426	0,0192	0,0221	127685	2
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	5	350	0.07	0.5	20	1	0,95	1	50	27	5	428	0,0481	0,02	120513	3
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	30	350	0.07	0.5	20	1	0,95	1	50	27	5	429	0,055	0,02	120777	4
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	30	350	0.07	0.5	20	1	0,8	1	50	27	5	428	0,0484	0,02	120513	5
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	30	350	0.07	0.5	20	1	0,8	1	50	27	5	427	0,0484	0,02	120514	6
	5	90;80	1600;0	0.08;0.02	15	30	350	0.07	0.5	20	1	0,8	1	50	27	5	429	0,0491	0,02	120527	7
	5	120;80	1600;0	0.08;0.02	15	100	350	0.07	0.5	20	1	0,8	1	50	27	5	428	0,0462	0,02	120543	8
	5	120;80	1600;0	0.08;0.02	15	100	350	0.07	0.5	20	1	0,96	1	50	27	5	428	0,0452	0,02	120573	9
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.07	0.5	20	1	0,96	1	50	27	5	423	0,0467	0,02	120591	10
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.07	0.5	2000	1	0,96	1	50	27	5	498	0,0135	0,0203	134563	11
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.1	0.5	2000	1	0,96	1	50	27	8	927	0,0396	0,0216	123998	12
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.1	0.5	20000	2	0,96	1	50	27	5	429	0,0537	0,02	120680	13
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.1	0.5	20000	2	0,96	1	50	27	5	416	0,0533	0,02	121086	14
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	100	350	0.1	0.5	20000	2	0,96	1	50	27	5	420	0,0448	0,02	120790	15
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	200	1300	0.1	10	20000	2	0,96	1	50	27	5	424	0,0449	0,02	120631	16
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	200	1300	0.1	10	20000	2	0,8	1	50	27	5	427	0,0467	0,02	120528	17
	5	200;80	1600;0	0.12;0.02	15	200	1300	0.1	10	200000	2	0,8	1	50	27	5	426	0,0474	0,02	120520	18

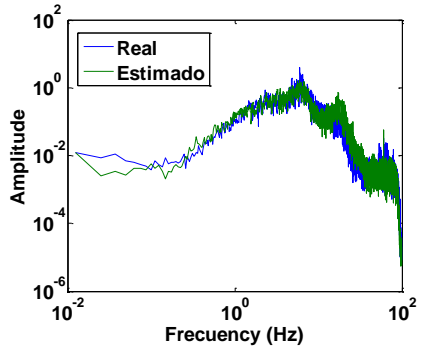
		Parametros del Recocido Simulado							Parámetros Estimados					
Perturbar		S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	C	ξs	I	C-M	Cor
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	200000	2	0,85	1	50	27	5	431	0,046	0,02	120602,8	19
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	200000	3	0,85	1	50	27	5	394	0,1199	0,0348	148438	20
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	100	3	0,85	1	50	27	5	410	0,0587	0,0287	127528	21
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	100	3	0,85	1	50	27	5	448	0,0422	0,02	121997	22
SF-10-3C	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	100	3	0,85	1	50	27	8	977	0,0526	0,02	51460	23
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,85	1	50	27	6	965	0,0579	0,0241	113516	24
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,85	1	50	27	5	587	0,1183	0,0647	122344	25
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,88	1	50	27	6	517	0,0917	0,0206	89984	26
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,88	1	50	27	5	561	0,1191	0,0254	105003	27
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,91	1	50	27	5	477	0,0095	0,0558	71917	28
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,99	1	50	27	5	408	0,0028	0,0237	66799	29
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,99	1	50	27	7	973	0,0228	0,1581	125683	30
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	3	0,99	1	50	27	7	819	0,0266	0,0311	57559	31
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	2	0,99	1	50	27	5	414	0,0376	0,02	48568	32
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,99	1	50	27	5	446	0,1197	0,0274	91188	33
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,99	1	50	27	5	632	0,0286	0,0659	111993	34
SF-10-2C	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,99	1	50	27	6	539	0,0109	0,0221	110027	35
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,9	1	50	27	5	592	0,0005	0,0284	169600	36
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,9	1	50	27	6	669	0,0023	0,0268	102121	37
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,9	1	50	27	5	354	0,0186	0,0212	161144	38
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,9	1	50	27	5	448	0,071	0,0892	263729	39
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	200 1300 0.1 10	1000	1	0,9	1	50	27	6	721	0,0245	0,0498	197291	40
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	5 470 0.03 7	1000	1	0,9	1	50	27	5	584	0,0819	0,107	295429	41
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	5 470 0.03 7	1000	1	0,9	1	50	27	5	344	0,0267	0,1215	277175	42
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	5 470 0.03 7	1000	1	0,9	1	50	27	6	591	0,0211	0,021	117441	43
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	5 470 0.03 7	6800000	3	0,99	1	50	27	5	451	0,0534	0,0837	242799	44
	5 200;80 1600;0 0.12;0.02 15	5 470 0.03 7	500	1	0,9	1	50	27	5	821	0,0918	0,1645	355648	45
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 470 0.03 7	500	1	0,9	1	50	27	6	623	0,0441	0,002	50313	46
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 470 0.03 7	500	1	0,9	1	50	27	6	625	0,0576	0,002	59667	47
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	500	1	0,9	1	50	27	5	368	0,068	0,0021	88523	48
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	500	1	0,9	1	50	27	2	99	0,0297	0,0392	171998	49
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	500	1	0,93	1	50	27	6	645	0,0139	0,0281	113219	50
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	500	2	0,93	1	50	27	6	625	0,0001	0,02	88091	51
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	20	2	0,93	1	10	8	4	265	0,0045	0,114	256014	52
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	20	2	0,93	1	10	8	3	208	0,0474	0,0036	183157	53
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	2000	1	0,9	1	10	8	24	921	0,035	0,0194	390732	54
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	2000	1	0,9	1	10	8	8	881	0,1179	0,0432	260820	55
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	2000	1	0,9	1	10	8	6	625	0,0001	0,02	88091	56
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	200 1600 0.1 7	2000	1	0,98	1	40	23	6	657	0,048	0,1263	282505	57
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 1600 0.1 7	2000	1	0,98	1	40	23	3	104	0,0362	0,0267	335939	58
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 1600 0.1 7	2000	1	0,98	1	40	23	6	551	0,01	0,012	77525	59
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	2000	1	0,98	1	40	23	5	810	0,0784	0,0915	352518	60
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	2000	1	0,98	1	40	23	5	635	0,1011	0,0512	320008	61
SF-10-3C	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	2000	2	0,98	1	40	23	2	80	0,0795	0,002	80341	62
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	2000	2	0,98	1	40	23	3	102	0,0863	0,002	81023	63
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	2	80	0,0864	0,002	88578	64
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	2	80	0,0775	0,002	80446	65
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	5	403	0,0629	0,002	84193	66
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	5 80 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	2	80	0,0847	0,002	91484	67
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	7	824	0,1163	0,002	88966	68
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	2	80	0,0827	0,002	84913,1	69
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	2	0,98	1	40	23	3	102	0,0823	0,002	80696,5	70
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	2	0,98	1	150	62	7	875	0,0776	0,002	80266,8	71
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	2	0,98	1	150	62	2	80	0,0803	0,002	80196	72
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200000	1	0,9	1	150	62	6	568	0,0022	0,0338	128927,1	73
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200	1	0,9	1	150	62	4	283	0,0785	0,002	81037,1	74
	1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200	3	0,9	1	150	62	3	129	0,0742	0,002	81275,1	75

Parámetros del Recocido Simulado								Parámetros Estimados					
Perturbar	S0	To	Opc	Alfa	Beta	M rs	Iters	Hs	Cs	ξ_s	I	C-M	Cor
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200	3	0,9	1	150	62	2	82	0,077	0,0023	83308,1	76
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200	3	0,9	1	150	62	2	80	0,0859	0,002	80570	77
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	80 100 0.1 7	200	3	0,96	1	150	62	3	129	0,0742	0,002	81275	78
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	3	0,96	1	150	62	3	129	0,0742	0,002	81275	79
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	3	0,96	1	40	22	5	329	0,1024	0,0793	180182	80
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	3	0,96	1	40	22	8	881	0,1178	0,0432	154577	81
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	3	0,96	1	40	22	7	608	0,1194	0,0025	113729	82
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	1	0,96	1	40	22	6	625	0,0001	0,02	123381	83
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	1	0,96	1	40	22	6	928	0,1036	0,0201	171714	84
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	2	0,96	1	40	22	2	81	0,0667	0,002	82564	85
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	200	2	0,96	1	40	22	8	929	0,0809	0,0023	80244	86
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,96	1	40	22	2	80	0,0781	0,002	80244	87
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,9	1	40	22	2	80	0,079	0,002	80381	88
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,9	1	40	22	3	104	0,0843	0,002	81958	89
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	2	0,9	1	40	22	2	80	0,087	0,002	89899	90
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,9	1	40	22	5	440	0,053	0,0824	151539	91
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,9	1	40	22	5	810	0,0784	0,0915	216586	92
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,9	1	40	22	4	309	0,0001	0,0675	141283	93
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,9	1	40	22	8	867	0,0269	0,3141	225270	94
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,9	1	40	22	7	967	0,037	0,0021	158257	95
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,98	1	40	22	6	842	0,0103	0,1051	187777	96
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,98	1	40	22	6	922	0,0235	0,0544	161491	97
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,98	1	40	22	191	305	0,0018	0,1648	252699	98
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,95	1	40	22	5	392	0,0005	0,3611	226191	99
1 200;80 1600;0 0.12;0.002 15	10 400 0.05 1	2163	1	0,95	1	40	22	9	912	0,1163	0,0084	154233	100

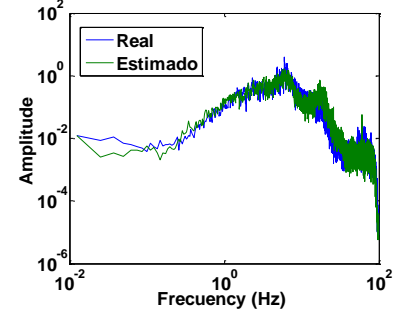
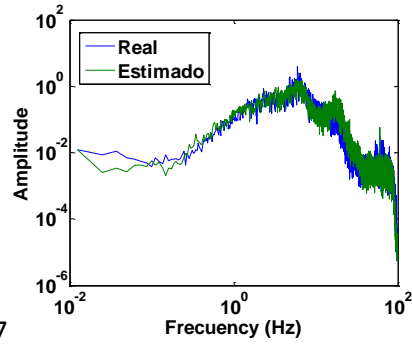
Algunos resultados gráficos:

3C



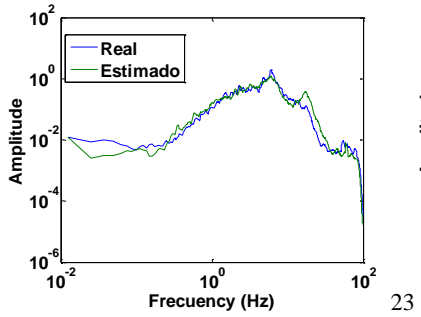


7

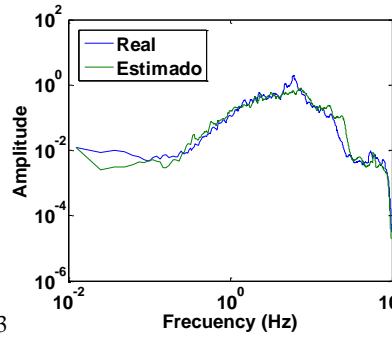


9

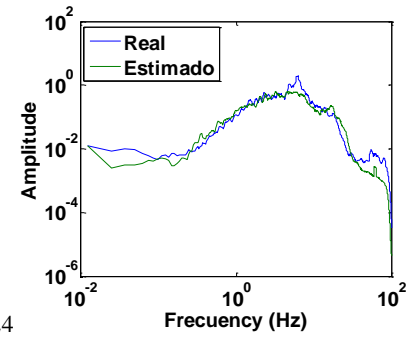
SF-10-3C



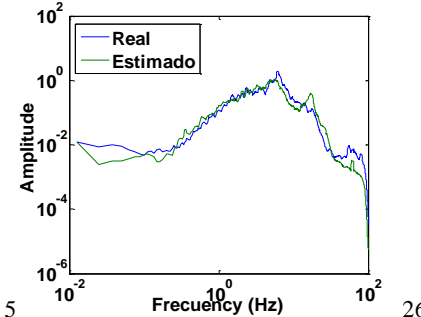
23



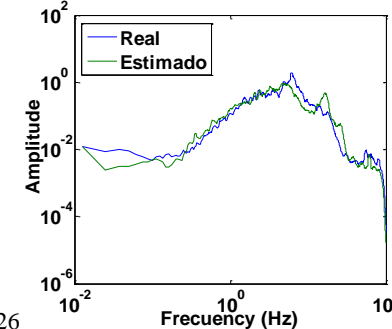
24



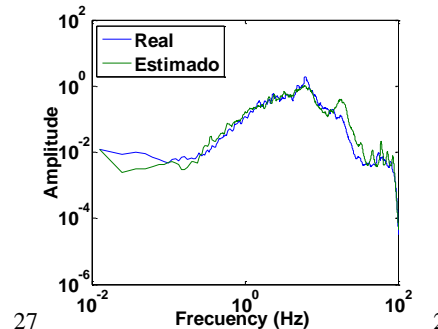
2



5

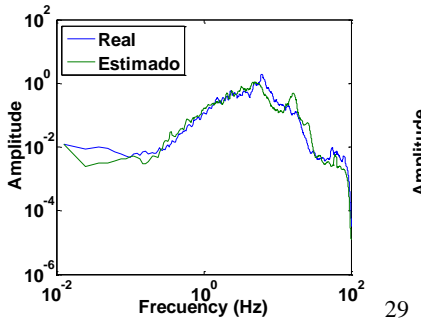


26

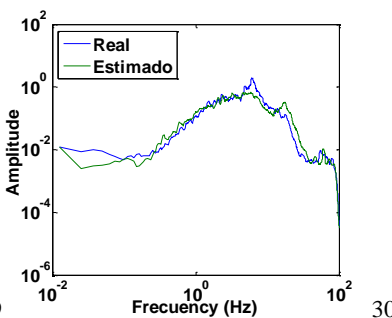


27

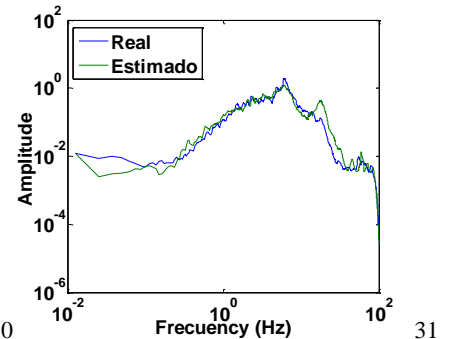
28



29

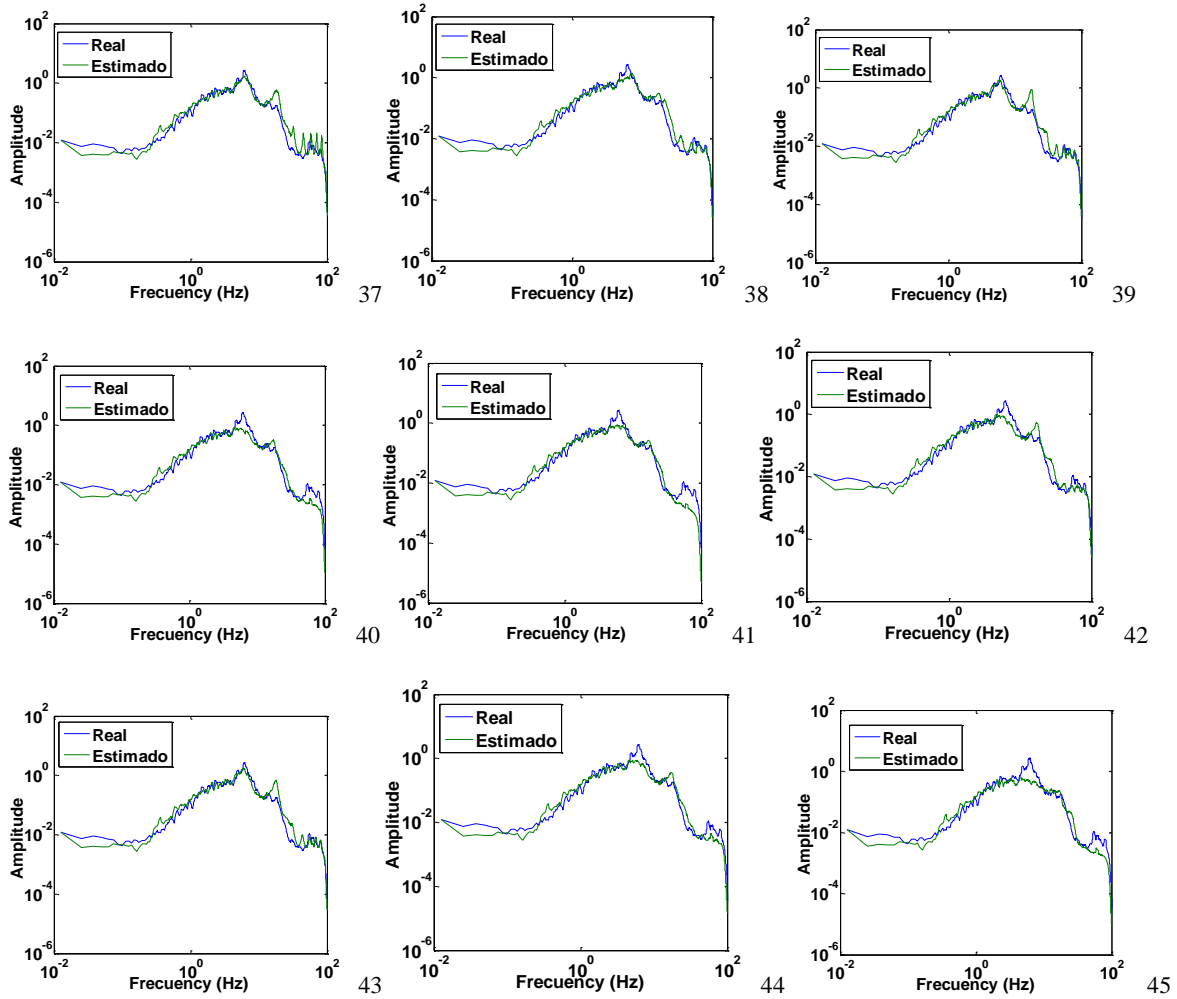


30



31

SF-10-2C



6. CONCLUSIONES

A pesar de la incertidumbre asociada a los fenómenos sísmológicos y a la complejidad misma del problema, se obtuvieron resultados satisfactorios. Esto se pudo concluir gracias a la validación que se hizo con los resultados obtenidos por (Smith, 2007), ver capítulo 4, acerca de caracterización geotécnica del Valle del Aburrá.

La metodología empleada en el proceso de estimación, representa otra alternativa adicional a los métodos geotécnicos convencionales; los cuales incluyen mediciones directas de campo, y ensayos estáticos y dinámicos de laboratorio.

Pese a la buena aproximación del algoritmo a los valores reales de los parámetros, el tiempo de cómputo en el cálculo de estos sigue siendo significativo alto.

La representación de un problema en la variable frecuencia, tiene ventajas significativas en comparación con los métodos de solución en el dominio del tiempo; ya que, por lo general las soluciones en este dominio requieren que el problema sea lineal.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, A. Egozcue, J. Ugalde, A. *Determinación de las Características Dinámicas del Suelo a partir de Microtemblores*. España
- Alfaro, A. Goula, X. Susagna, T. (1998) *Estimación del Periodo Predominante del Suelo a partir de Microtemblores*. España
- Alfaro, A. Navarro, M. Sánchez, J. (1999) *Microzonificación Sísmica de Barcelona Utilizando el Método de Nakamura Ventajas y Limitaciones*. España
- Alodia, Sheila. (2006) *Microtemblores*. Instituto Geofísico del Perú.
- Álvarez, Diego. Vélez, Carlos. *Identificación de Parámetros de un Mini Helicóptero Robot Usando el Método Heurístico de Búsqueda Tabú*.
- Barillas, Manolo. Orozco, Elfego. (2003) *Zonificación de Amenazas Naturales en la Cuenca del Río Samalá y Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo en la Población de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, Centro América*. GEOS Vol. 23
- Benito, Belén. Cabañas, Luis. *Caracterización del Movimiento del Suelo en Ingeniería Sísmica*. EUIT de Topografía.
- Benito, Belén. Cabañas, Luis. *Caracterización del Movimiento del Suelo*. EUIT de Topografía.
- Bernal, Isabel. Tavera, Hernando. (2007) *Aceleraciones Máximas en la Ciudad de Ica: Sismo de Pisco del 15 de Agosto de 2007*. Instituto Geofísico del Perú. Dirección de Sismología.
- Boore, David. (1983) *Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions Based on Seismological Models of the Radiated Spectra*. Bulletin of the Seismological Society of America. USA
- Cardona, Omar Darío. *Vulnerabilidad sísmica estructural y diseño del refuerzo sismorresistente de la Catedral Basílica de Manizales, Colombia*.
- Cardona, Omar. (2007) *La Microzonificación Sísmica de Manizales. Innovador Aporte para Gestión Integral de Riesgos*. Universidad Nacional. Colombia
- Caselles, J. Canas, J. Pujades, L. (1997) *Regionalización de la Atenuación Anelástica de Ondas de Rayleigh en la península Ibérica*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. España
- *Determinación de Características Dinámicas de Estructuras*. Capítulo 7 Conclusiones.
- Díaz, Adenso. (1996) *Optimización Heurística y Redes Neuronales*. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Jaramillo, Juan Diego. (2003) *Modelo para la Rama Descendente de Espectros de Diseño Sísmico y Aplicaciones al Caso de Medellín*. Revista de ingeniería sísmica. N^o.68 1-20. 2003
- Kuo, Benjamin. (1996) *Sistemas de Control Automático*. Editorial PEARSON. México.
- Lermo, Javier. Limaymanta, Marlene. Antayhua, Yanet. Lázares, Fernando. (2007) *El Terremoto del 15 de agosto de 2007 (mw=7.9), Pisco, Perú. Mapas de Clasificación de Terrenos con Fines de Diseño Sísmico para las Ciudades de Pisco, Ica y Lima-Callao*. Perú.
- Londoño, Oscar. Vélez, Carlos. (2009) *Identificación del modelo de un mini-helicóptero robot usando algoritmos genéticos*. VII congreso de la asociación Colombiana de automática (ACA). Cartagena.
- Morasca, P. Mayeda, K. Gök, R. (2005) *A break in self-similarity in the Lunigiana-Garfagnana region (northern Apennines)*. Geophysical Research Letters
- O'Neil, Peter V. 2004. *Matemáticas Avanzadas Para Ingeniería*. Quinta Edición. Editorial Thomson.
- Osorio, Rodrigo. Cano, Carlos Andrés. Mesa, Juan Fernando. (2005) *Propuesta de una Metodología para el Análisis Dinámico de Sistemas de Fundación de Pila*. Revista Universidad Eafit. Colombia

- Otálvaro, Iván Fernando. Cano, Carlos Andrés. (2004) *Efecto de la Meteorización en las Propiedades Dinámicas de un suelo Gabroico*. Revista Universidad Eafit. Colombia
- Otálvaro, Iván. Nanclares, Francisco. (2008) *Evaluación de la Respuesta Dinámica de Sitio para el Sector de Aragón en Medellín*. Dyna
- Palacio, Sebastián. Gallego, Verónica. *Identificación de un Levitador Magnético Utilizando el Algoritmo de Recocido Simulado*. Universidad Eafit. Medellín.
- Prato, Carlos. Flores, Fernando. (2007) *Acciones Sísmicas para Diseño Estructural*.
- Ramírez, R. Santana, G. Chacón, O. (1996) *Mapa de Amplificación Sísmica Del Valle Central, Costa Rica*. Revista Geológica de América Central.
- Ramos, A. Prieto, J. *Influencia de la Variabilidad de las Características Dinámicas del Suelo de una Zona de Bogotá en la Respuesta en Superficie ante un Sismo*. Colombia
- Rebollar, Cecilio. Munguía, Luis. Reyes, Alfonso.(1991) *Estimates of Shallow Attenuation and Apparent Stresses from Aftershocks of the Oaxaca Earthquake of 1978*. Bulletin of the Seismological Society of America. USA
- *Respuesta frecuencial de la estación INGEOMINA. P 71-74*
- Restrepo, Dorian. Jaramillo, Juan Diego. *Identificación de Propiedades Dinámicas de Estructuras Considerando Efectos de Interacción Suelo-Estructura (Caso De Estudio)*. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.
- Roca, Antoni. (1989) *Instrumentación para Campo Cercano y Análisis de Acelerogramas*. Física de la Tierra. Madrid.
- Roesset, JM. (1969)*Fundamentals of Soil Amplification*.Massachusetts Institute of Technology.
- Samaniego, Javier. Limaymanta, Marlene. (2007) *Uso de las Funciones de Transferencia Empíricas (Hvnr) Obtenidas con Microtremores para Construir Mapas con la Clasificación de los Terrenos de Cimentación para Diseño Sísmico*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.
- Smith, Ricardo. 2007. *Microzonificación y Evaluación del Riesgo Sísmico del Valle de Aburrá*. Primera edición. Medellín.
- Suarez, Martha. Avilés, Javier. (2002) *Respuesta Acoplada de Traslación y Torsión de Estructuras Asimétricas Incluyendo la Interacción con el Suelo*. Revista de Ingeniería Sísmica.
- *Suelos Licuables y otros Efectos Sísmicos*.(1997) Capitulo H5
- Vásquez, Ricardo. Aguirre, Jorge. Mijares, Horacio. (2005) *Propuesta de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Zamora Michoacan*. México DF. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.
- Winston, Wayne. (2005). *Investigación de Operaciones*. Cuarta edición. Editorial Thomson. Mexico.