

ANALISIS ESPECTRAL TIEMPO-FRECUENCIA PARA EL TERREMOTO DEL 21-JUNIO-2001. AREQUIPA -PERU

Jorge H. Cuenca Sánchez (1), Julio C. Cuenca S. (2)

(1) Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco - Facultad Ing. Geológica y Geografía.

jocusanl@yahoo.es

(2) Universidad Nacional Autónoma de México – Instituto de Ingeniería.

jccsa@pumas.iingen.unam.mx

RESUMEN

En los recientes años ha ocurrido en Perú en el 2001 (Arequipa) un terremoto, al cual se le ha calculado el espectro evolutivo usando dos estaciones NNA y LVC. Este evento ha sido registrado en estaciones mundiales a 10, 20 y 40 muestras/segundo, como es típico de aquellas estaciones disponibles en la página www.iris.edu. En el análisis espectral de estas series de tiempo se observa una baja frecuencia, que no es continua en toda la señal. Las bajas frecuencias tienen baja amplitud comparada con las altas frecuencias. Se analizó calculando espectrogramas de la evolución en tiempo de la amplitud, de ruido pre-sismo, de la Onda-P y de la Onda-S y del ruido post-sismo de toda la señal registrada. Las frecuencias resaltantes no son continuas en toda la serie y son visibles con mayor intensidad en determinados y cortos momentos, que reflejan el proceso de ruptura en la onda corpórea y posteriormente dentro del ruido post-sismo a cambios de velocidad o micro-sismicidad de muy baja amplitud y reacomodo de las placas. Para el terremoto del 2001, una comparación del espectro evolutivo, de un poco más de una longitud de onda de la llegada de la Onda-P, permite observar que en la estación NNA (Perú) refleja mayor duración y complejidad espectral de la fuente cercana, que respecto a la estación LVC (Chile) a una fuente más puntual.

INTRODUCCION

El análisis espectral es de importancia fundamental en el análisis y procesamiento de procesos aleatorios estacionarios, y la densidad espectral de potencia (PDS: Power Density Spectral) tiene una interpretación física como una distribución espectral de potencia, la cual es fundamental en esta estimación. Sin embargo muchas aplicaciones involucran señales altamente no-estacionarias, como son las señales acústicas, de voz y biológicas. Para este caso, se propone espectros evolutivos (EE), este método usa PDS para el caso estacionario.

El análisis espectral usando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) ha sido usado ampliamente en el estudio de fenómenos de vibración de suelos, en estructuras y en ingeniería sísmica. Esta técnica ha sido limitada al caso de análisis de señales no-estacionarias, en el estudio del comportamiento de sistemas no-lineales y no es posible en el caso del análisis espectral estacionario (por ejemplo señales de ruido). Hay varias técnicas para analizar las características espectrales evolutivas de señales no-estacionarias (por ejemplo señales de terremotos).

ANALISIS TIEMPO-FRECUENCIA

Este análisis consiste en representar o describir como varía la densidad de energía (unidades de Frecuencia, Hz) de una señal distribuida en el tiempo (unidades de Tiempo, segundos). Es decir un cambio de una señal en el dominio del tiempo (uni-dimensional) de valores de amplitud a valores de energía versus tiempo-frecuencia (representación bi-dimensional).

Casos especiales en el análisis espectral son el Espectrograma (SP). Al SP le falta resolución en tiempo, aunque las frecuencias son bastante bien definidas. Así se pretende tener una significativa mejora en la resolución tiempo-frecuencia usando sísmos.

En el análisis espectral es fundamentalmente importante el proceso de señales aleatorias estacionarias, y el espectro de Densidad Espectral (PDS) tiene una interpretación física como una distribución espectral de potencia. Muchas señales son altamente no-estacionarias, ejemplos son las señales acústicas, el sonido de hablar y biológicas.

El espectro de potencia también puede relacionarse con el promedio de magnitudes de Fourier al cuadrado. El espectro de potencia es la transformada de Fourier de la secuencia de auto-correlación. Por lo tanto, estimar el espectro de potencia es equivalente a estimar la auto-correlación.

Para estimar el espectro únicamente tendremos que calcular la secuencia de auto-correlación y posteriormente hallar la transformada de Fourier. Pero existen dificultades en este proceso. Por ejemplo, la cantidad de datos disponible no es ilimitada y, en muchos casos, puede que dispongamos de un conjunto de datos pequeños e insuficientes. Posteriormente se aplica la transformada de Fourier para obtener una estimación del espectro.

DATOS

Se eligieron 3 eventos sísmicos fuertes extraídos de la página www.iris.edu, que corresponden a los más representativos de América del Sur en años recientes (Tabla 1).

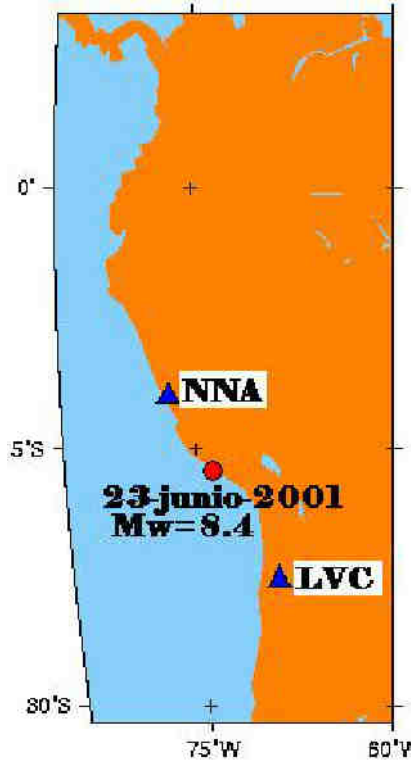


Figura 1.- Localización de las estaciones NNA y LVC (triángulos azules) y el epicentro (círculo rojo) del terremoto del 23 junio 2001.

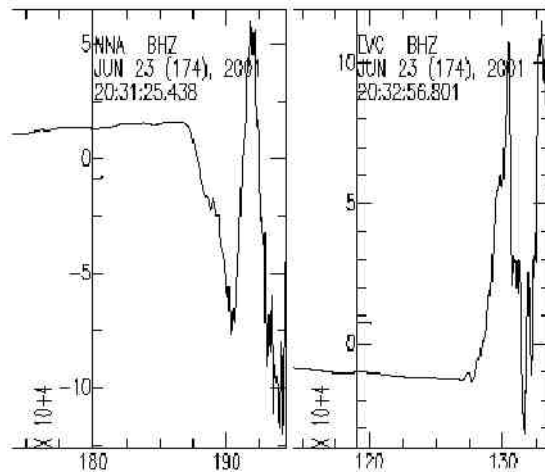


Figura 2.- Comparación de la llegada de la Onda-P en NNA (dilatación) y LVC (compresión).

Tabla 1

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.	Mw	Ubicación
2001/06/23	20:33:14.13	-16.265	-73.641	33	8.4	AREQUIPA

Las estaciones sismológicas fueron NNA y LVC (Fig1), que encuentran tanto al norte y al sur de los eventos de la Tabla 2.

Tabla 2

Estación	Entidad	Latitud	Longitud	Altitud	Ubicación
NNA	II	-11.987500	-76.842200	575.0	Ñaña, Perú
LVC	IU	-22.612800	-68.911300	2195.0	Limón Verde, Chile

Para este sismo se extrajeron de la página www.iris.edu, la banda ancha (BHZ) de los siguientes eventos con las siguientes características:

JUN 23 (174), 2001 20:31:25.438

2001.174.20.31.25.4381.II.NNA.00.BHZ.D , 20 muestras / segundo, 76914 puntos.

JUN 23 (174), 2001 20:32:56.801

2001.174.20.32.56.8010.IU.LVC.00.BHZ.D , 20 muestras / segundo, 74618 puntos.

ESPECTROGRAMAS

El cálculo de espectrogramas se calculó sobre terremotos usando el espectro de potencia de consecutivos y sobre-encimadas ventanas de tiempo. La graficación es en el eje X el tiempo y en el eje Y la frecuencia. Los valores en frecuencia son calculados usando de una troncada función de auto-correlación usando el método de máxima similitud (MLM), es decir el método de densidad espectral de potencia (Kanasewich, 1981). Una limitación es el tamaño de la imagen en la dirección de frecuencia la cual es de 512. El punto inicial del espectrograma sobre el eje de tiempo inicia con la mitad de la primera ventana.

TERREMOTO DE AREQUIPA 2001

En el terremoto del 23 de junio del 2001 fue registrado en las estaciones NNA en Lima Perú y LVC al norte de Chile. Estos sismogramas están digitalizados a 40 muestras/segundos. En la Fig. 2 se observa claramente antes, el arribo de la Onda-P con el ruido pre-sismo de 25 segundos en ambas estaciones. Esto estaría relacionado a los esfuerzos pre-sísmico de la zona, antes de la liberación brusca de la energía sísmica.

Para algo más de una longitud de onda (en segundos, graficada en la Fig. 2), desde el arribo de la Onda-P al segundo pico dilatación en NNA y compresión en LVC (es mayor en NNA), es decir para NNA dura cerca 8 segundos, mientras que para LVC son alrededor de 6 segundos, como se aprecia en el espectrograma. (Ver Fig. 3).

Las características espectrales de la fuente, correspondiente al ancho de banda del arribo de la Onda-P, del registro espectral de duración 5 segundos en NNA, el cual es más complicado que en LVC; considerando que en éste último dura cerca de 4 segundos y es más sencillo debido a que esta estación esta más alejada del foco (Fig. 3).

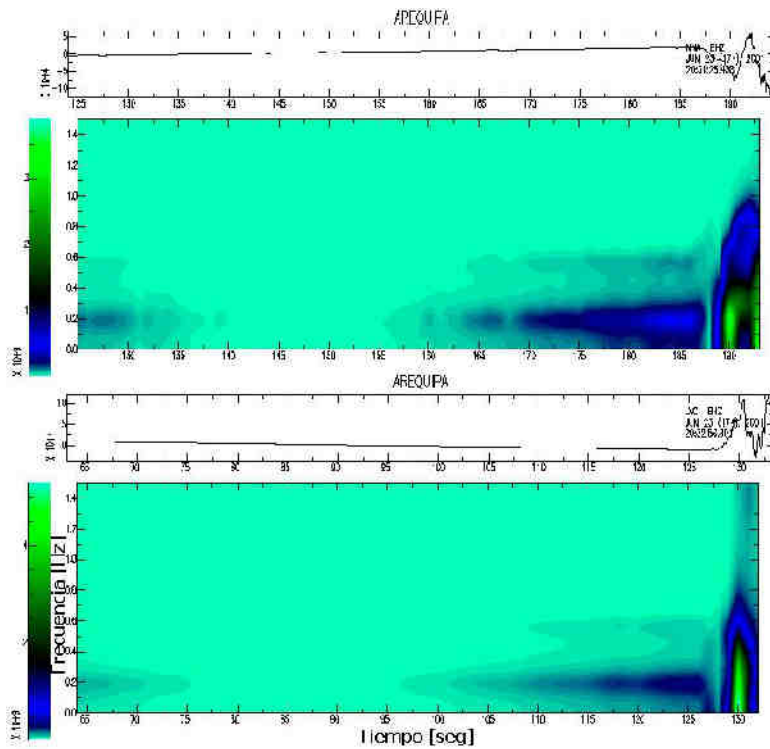


Figura 3.- Sismograma y su espectrograma para el terremoto del 23 de junio del 2001 en Arequipa: ruido pre-sismo y llegada de la Onda-P. Se muestra para un poco más de una onda completa (arriba) registrado en la estación NNA en Perú y (abajo) para estación LVC en Chile.

El cálculo del espectro evolutivo para las ondas corpóreas y ruido post-sismo, se observa en la Fig. 4 y refleja las predominantes bajas frecuencias visibles en el sismograma tanto para NNA como para LVC alrededor de 0.2 Hz. Aunque ligeramente en NNA la amplitud de la banda de frecuencias predominantes es al más alto.

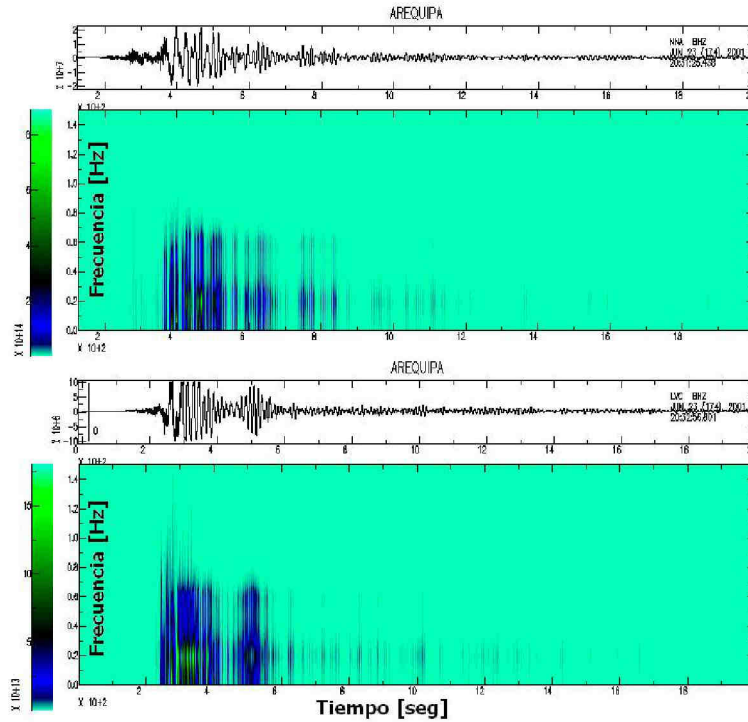


Figura 4.- Espectrograma de sismo del 2001 (Arequipa) comprendido entre las ondas corpóreas con el arribo de las Ondas-S y ruido post-sismo. Arriba para la estación NNA (Perú) al norte del epicentro y abajo para la estación LVC (Chile) al sur del epicentro.

La estación NNA esta al norte del epicentro, pero mas cerca al epicentro, y en dirección contraria a la propagación de la ruptura. En cambio la estación LVC ubicada al sur, está mas alejada del epicentro, y se encuentra en la dirección hacia donde se dirigió la ruptura.

Al comparar los espectrogramas usando la Onda (Fig. 5), en NNA aparecen frecuencias más altas y más común hasta de 1 Hz a más, en cambio para la estación LVC le corresponden frecuencia algo bajas de alrededor 0.5 Hz. La amplitud de las Ondas-P es casi el doble en NNA respecto a LVC, y puesto que la dispersión de las ondas a mayor distancia causa la aparición de ondas de baja frecuencia con la mayor distancia al epicentro, como se aprecia en el sismograma y en el espectro evolutivo de la Fig 5.

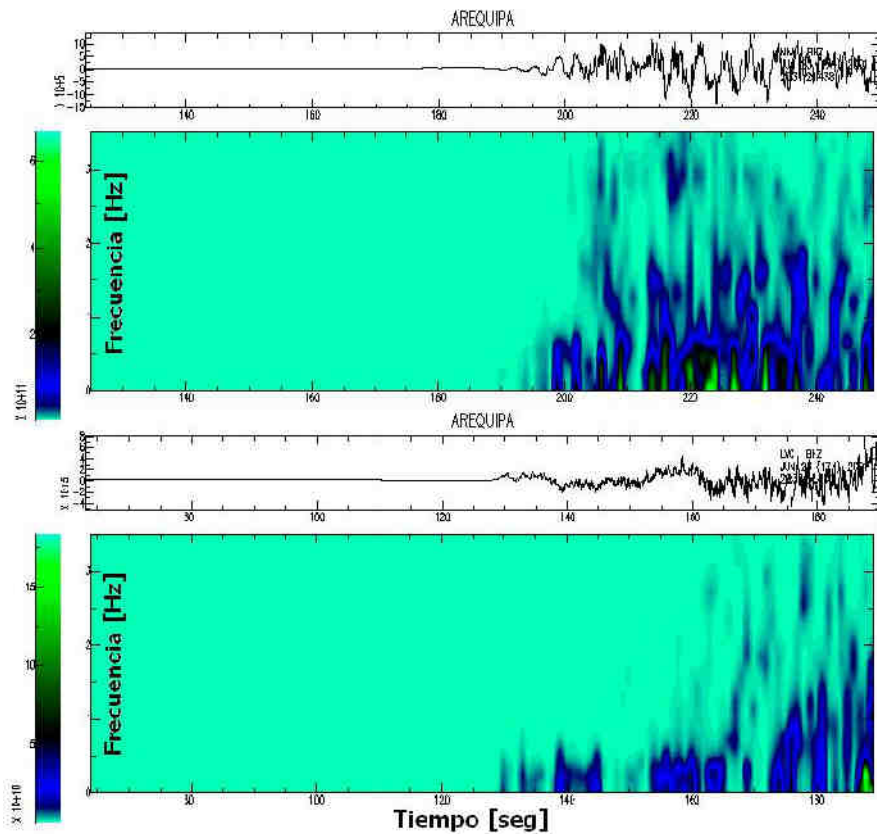


Figura 5.- Espectrograma del sismo del 2001 (Arequipa), comprendido para la Onda-P. Se muestra arriba para la estación NNA y abajo para la estación LVC.

CONCLUSIONES

En el análisis espectral evolutivo de la serie de tiempo se observa una baja frecuencia, que no es continua en toda la señal. El contenido en frecuencia correspondiente a la baja amplitud del sismograma, son de bajas frecuencias. Se calculó espectrogramas de la evolución en tiempo de la amplitud, de ruido pre-sismo, de la Onda-P, de la Onda-S y ruido post-sismo. Las frecuencias resaltantes son visibles con mayor intensidad en determinados y cortos momentos, que reflejan una naturaleza de cambios de velocidad en el proceso de ruptura. Las frecuencias dentro del ruido post-sismo refleja la baja micro-sismicidad y reacomodo de las placas. Para el terremoto del 2001 (Arequipa), el espectro evolutivo permite observar que en la estación NNA (Perú) refleja mayor duración, complejidad de la fuente cercana y más altas frecuencias, que respecto a la estación LVC (Chile) que se encuentra a mayor distancia al foco.

REFERENCIAS

Kanasewich, E. R. 1981. "Time Sequence Analysis in Geophysics", The University of Alberta Press, Edmonton. www.iris.edu