

## ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE RUIDO EN LAS ESTACIONES DE BANDA ANCHA DE LA RED SÍSMICA NACIONAL - PERÚ

### ANALYSIS OF BROADBAND SEISMIC NOISE AT THE PERUVIAN SEISMIC NETWORK

Elard Cutipa, Hernando Tavera & Isabel Bernal

#### RESUMEN

El nivel de ruido presente en las estaciones sísmicas de banda ancha de la Red Sísmica Nacional (RSN) a cargo del Instituto Geofísico del Perú (IGP) ha sido estudiado para cuantificar la calidad de la señal sísmica que se registra en el rango de frecuencias de 0.01 a 10 Hz. Para tal fin, se aplica el método de Densidad de Potencia Espectral (DPE) y se utiliza ventanas traslapadas de 7.425 minutos de longitud de registro. Los resultados muestran que en el rango de frecuencias de 1 a 10 Hz, las estaciones sísmicas de CUS, YLA y CHA por encontrarse en roca, alejadas de fuentes naturales o culturales (actividad del hombre, carreteras, ciudades, etc.) presentan un bajo nivel de ruido sísmico. Contrariamente, las estaciones CTH, PUC y CAJ al estar operando sobre material aluvial y tufo volcánico, y cercanas a fuentes de ruido cultural, presentan altos niveles de ruido con diferencias del orden de 25dB. Para frecuencias intermedias (0.1 a 1 Hz.), los niveles de ruido se encuentran próximos al mínimo establecido por Peterson (1993); mientras que, para las bajas frecuencias (menores a 0.1 Hz) se observan fuertes incrementos en el nivel de ruido debido a las fluctuaciones locales de la presión atmosférica con diferencias de hasta 15dB.

*Palabras Claves:* Ruido Sísmico, Red Sísmica, Banda Ancha, Perú

#### ABSTRACT

The status noise level in the Peruvian Regional Seismic Network (RSN) of Geophysical Institute of Peru (IGP) has been studied to quantify the quality of the seismic signal in the frequencies of 0.01 to 10 Hz. The Power Spectral Density (PSD) method is applied and it is used overlapped windows of 7,425 minutes in registry. The results show that in the frequencies of 1 to 10 Hz, the seismic stations of CUS, YLA and CHA to be on rock, remote of natural or cultural sources (activity of the man, highways, cities, etc.) they display a low level of seismic noise. For the other way, the CTH, PUC and CAJ stations when being operating on alluvial and volcanic material, and near sources of cultural noise, display noise levels with differences of the 25dB. For intermediate frequencies (0,1 to 1 Hertz), the noise levels are next to the minimum established by Peterson (1993); whereas, for the slow frequencies (smaller to 0,1 Hertz) increases in the noise level due to the local fluctuations of the atmospheric pressure with differences of 15dB.

*Keywords:* Seismic Noise, Seismic Network, broadband, Peru

#### INTRODUCCIÓN

La Red Sísmica Nacional (RSN) a cargo del Instituto Geofísico del Perú, tiene por objetivo monitorear la ocurrencia de sismos en el territorio peruano y para tal fin, esta integrada por 33 estaciones sísmicas entre periodo corto y banda ancha, siendo estas últimas instaladas a partir del año 1996 y a la fecha se cuenta con 15 estaciones. Con dicha red, se provee de información adecuada para la

localización rápida de los sismos sensibles y para los estudios detallados de áreas potencialmente sísmicas. Sin embargo, la calidad de la información no solo depende del tipo de instrumental, sino que es necesario considerar las características geológicas y físicas del área en donde se encuentra la estación sísmica. En estas condiciones, se debe asumir que el procedimiento seguido para la instalación de una

estación sísmica considera como punto de partida que el sensor se encuentre en suelo rocoso y así, reducir los niveles de ruido, lo cual casi siempre es imposible de lograrse en razón de que es necesario considerar otros factores como seguridad, transmisión de data y acceso rápido. En razón a esto, no todas las estaciones de banda ancha de la RSN fueron instaladas en roca ni en las mejores condiciones de logística; por lo tanto, es necesario conocer los niveles de ruido existente en cada emplazamiento y así poder cuantificar la calidad de la señal que se registra.

A nivel mundial, se han realizado diversos estudios sobre el ruido presente en las estaciones sísmicas en razón que la calidad de los datos se ve grandemente afectada si el ruido, cualquiera sea su origen, se incrementa. Estos estudios han sido realizados para redes sísmicas mundiales como la U. S. Geological Survey - USGS (Peterson, 1993), GEOSCOPE (Stutzmann et al, 2000) y nacionales como la del Eastern Kazakhstan (Berger y Eissler, 1988), Alemania (Bormann et al, 1997), España (Chavarria et al, 2001) y para el Suroeste de Estados Unidos (Wilson et al, 2001), aplicándose en todos los casos el método de Densidad de Potencia Espectral (DPE). De estos estudios, el realizado por Peterson (1993) puede ser considerado como el más completo en razón que el autor considera información de aproximadamente 780 estaciones que integran la red sísmica mundial y que incluyen estaciones de periodo corto y banda ancha. En general, estas estaciones tienen sus sensores instalados en diversidad de condiciones geológicas (tipos de suelo y roca) y logísticas dependiendo del lugar en donde operan (superficie o en túneles), y la información utilizada ha permitido al autor considerar rangos de nivel de ruido máximo y mínimo a tomarse en cuenta para futuros emplazamientos sísmicos (Figura 1). Por ejemplo, las estaciones con niveles mínimos de ruido (NMLN) se encuentran sobre roca dura en el interior de pozos de hasta 100 metros de profundidad; por lo tanto, alejadas de posibles fuentes de ruido y en las cuales la calidad de la señal sería óptima. Las estaciones con altos niveles de ruido (NMHN) se encuentran dentro de las ciudades, cercanas a la costa, en islas, en suelos aluviales y próximos a la superficie del terreno; por lo tanto, la calidad de la señal sísmica decrece y se requiere de la aplicación de filtros.

En general, los autores antes indicados consideran que el ruido existente en los registros sísmicos puede ser de origen artificial o natural y llegan a proponer una clasificación en función de los rangos de frecuencia predominante y la fuente que los origina.

En la Tabla 1 se muestra en detalle la clasificación propuesta y en ella se observa que el origen del ruido puede ser asociado al tráfico de vehículos, al viento, al hombre, a la resonancia del suelo, actividad minera, a la impedancia acústica, a las olas del mar, a las tormentas oceánicas y a las presiones atmosféricas dentro de un rango de frecuencias que va desde 10-5 a 102 Hz (Zorrells, 1971; Beauudin et al, 1996).

En este estudio, se analiza y evalúa los niveles de ruido presente en nueve estaciones sísmicas de banda ancha que integraban la Red Sísmica Nacional (RSN) hasta el año 2005. Para tal fin se aplica el método del DPE y los resultados obtenidos son comparados con el modelo propuesto por Peterson (1993) y clasificados según los rangos de frecuencias establecidos en la Tabla 1. A tenor de la variedad de las frecuencias observadas, se discriminará los diferentes tipos de ruido que afectan a las estaciones y que perturban los registros sísmicos obtenidos de la RSN.

### LA RED SISMICA NACIONAL (RSN)

La RSN del Perú esta integrada por 33 estaciones sísmicas, de las cuales 15 son de banda ancha, estas últimas fueron instaladas a partir del mes de noviembre de 1996, fecha en que se inicia su implementación. Las estaciones sísmicas de banda ancha están integradas por sensores de tres componentes del tipo Guralp 40T, con anchos de banda de 0.033 a 50 Hz. y registradores Reftek con resolución de 24 bits, y control de tiempo GPS. La señal proveniente de estas estaciones es almacenada en sus respectivas unidades de campo y otras transferidas a la sede central mediante interrogación por línea telefónica para la pronta localización de los sismos.

El principal objetivo del IGP para la implementación de la RSN, fue ampliar su cobertura azimutal a fin de mejorar el control sobre los parámetros hipocentrales de los sismos y así lograr mayor conocimiento sobre las características de las principales fuentes sismogénicas existentes en el país (Tavera et al., 2001). Por lo tanto, no todas las estaciones fueron instaladas en condiciones logísticas favorables (en roca, en el interior de túneles) en razón que era necesario cumplir con otros requisitos básicos como son la seguridad de la estación, el acceso a la misma y la transmisión de la data sísmica. En estas condiciones, se hace necesario evaluar las características de la señal que se registra en cada emplazamiento a fin de conocer el tipo de ruido que pudiera interferir en la calidad de la información sísmica. En la Figura 2 y Tabla 2 se

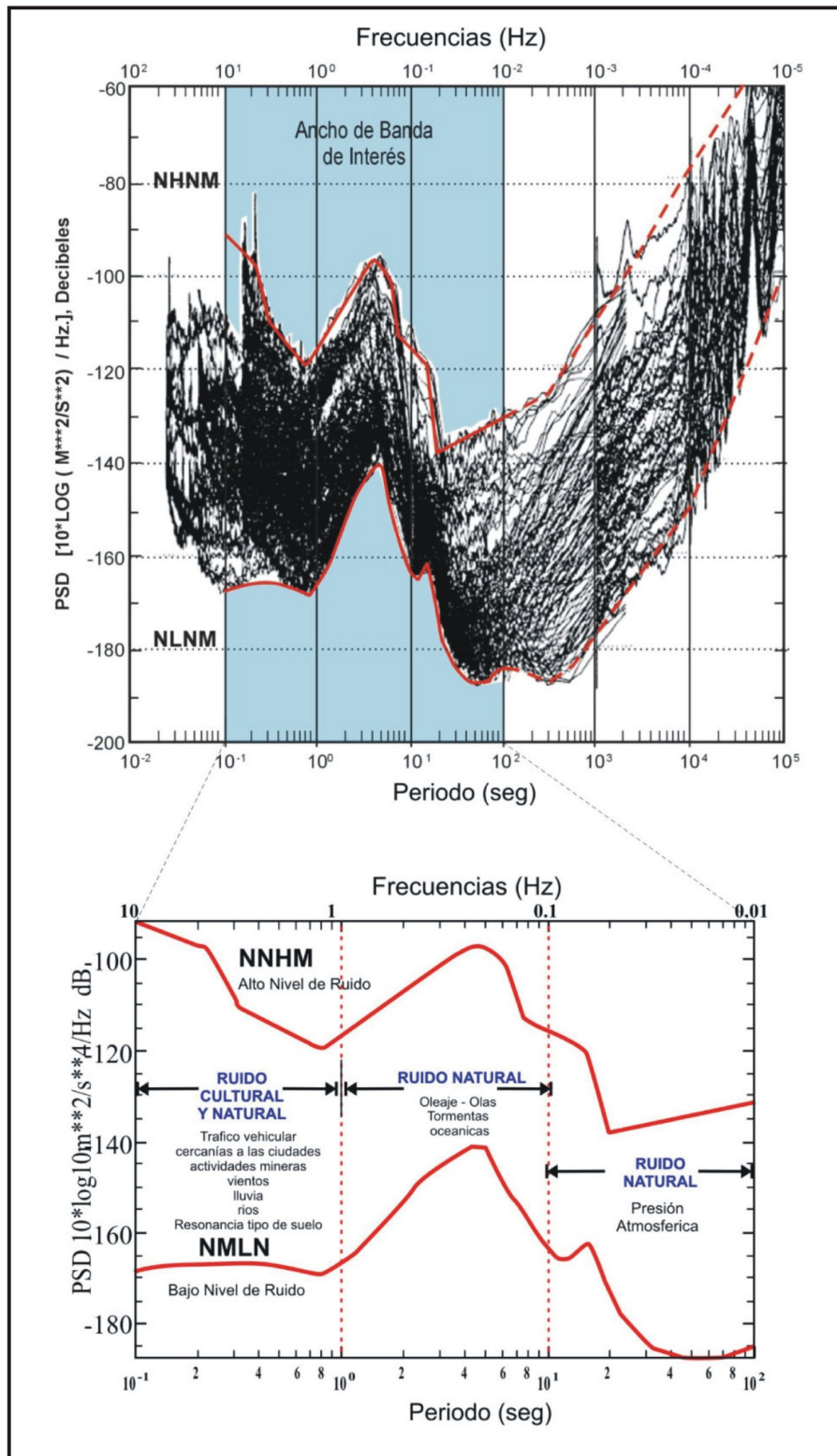


Figura 1.- Distribución de las curvas de DPE obtenidos por Peterson (1993) para las estaciones de la red sísmica mundial. Los códigos NMHN y NMLN representan el máximo y mínimo nivel de ruido sísmico establecido para el emplazamiento de una estación sísmica. En la parte inferior se indica el rango de frecuencias en la cual operan las estaciones de banda ancha de la RSN y las principales fuentes de origen para el ruido.

ESTACIÓN	CODIGO NACIONAL	LATITUD S°	LONGITUD N°	ELEVACIÓN msnm	GEOLOGÍA	CONDICIONES DE INSTALACION	CLIMA
Cajamarca	CAJ	-7.13	-78.516	2750	Rocas volcánica Andesíticas y traquíticas de dureza baja a media	Tunel (10m)	Valle de Sierra
Cotahuasi	CHT	-5.21	-72.89	2707	depósitos aluviales de arcillas, conglomerados y gravas. cuaternario reciente	Pilar Concreto	Valle de Sierra
Cusco	CUS	-71.979	-71.979	3858	Rocas sedimentarias lutitas areniscas rojizas y conglomerados compactados del paleozoico	Tunel (20m)	Cordillera de Sierra
Chachapoyas	CHA	-77.856	-77.856	3041	Rocas clásticas consisten de areniscas, lodolitas y conglomerados del Paleozoico	Pilar Concreto	Selva Alta
Huancayo	HUA	-75.322	-75.322	3330	Depósitos glaciales de momeñas y teirazas de conglomerados del Cuaternario	Pilar Concreto	Valle de Sierra
Huaylas	YLA	-77.889	-77.889	3230	Cuartitas areniscas y arcillitas, con mantos de carbón	Pilar Concreto	Valle de Sierra
Pucallpa	PUC	-74.668	-74.668	130	Depósitos fluvio-aluvial capas de arcillas mairones, del Terecerario	Pilar Concreto	Tropical Selva Baja
Toquepala	TOQ	-17.307	-70.643	2586	Roca volc composición andesítica, dáctica y riolítica del Cretaceo	Pilar Concreto	Valle de Sierra
La Yarada	LYA	-18.135	-70.568	348	Roca volcanso-sedimentaria de derrames y piroclastos andesíticos del Jurásico	Pilar Concreto	Desértico Costa

*Tabla 1.- Características de emplazamiento de las estaciones sísmicas de banda ancha utilizadas en este estudio.*

presenta la ubicación y características principales de operatividad de cada una de las estaciones sísmicas de banda ancha que fueron consideradas en este estudio.

## DATOS Y METODOLOGIA

Para el análisis y evaluación de los niveles de ruido existente en los registros sísmicos de nueve estaciones de banda ancha de la RSN que se encontraban operativas hasta el año 2005 (Figura 2), se ha extraído de manera aleatoria de la Base de Datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos (CNDG) del IGP, muestras de ruido con longitudes de registro de una hora para las 6:00, 12:00, 18:00 y 24:00 horas de cualquier día y mes del año. Para su procesamiento, la data seleccionada fue corregida por su respuesta instrumental y convertida a formato ASCII. Con la ayuda del programa "RUIDOIGP" desarrollado en Matlab 6.5 y siguiendo la metodología establecida por Peterson (1993), la señal en unidades de velocidad fue derivada para convertirla en aceleración y luego se calcula la Densidad de Potencia Espectral -DPE- (Blackman y Turkey, 1959) expresada en unidades de decibeles (dB) con respecto a la aceleración ( $(m^2/s^2)/Hz$ ). A continuación se seleccionaron 12 ventanas de tiempo de señal con duraciones de 7.425 minutos (8910 muestras) y luego para su análisis fueron traslapadas en un 75% a fin de disponer de ventanas

de muestreo que permitan una mejor evaluación del ruido. El posible truncamiento de la señal en los extremos de cada ventana fue corregido utilizando una Ventana de Hanning al 2%. Finalmente, las curvas de DPE han sido calculadas para cada una de las ventanas de señal y luego comparadas con el modelo propuesto por Peterson (1993). La interpretación de los resultados considera el análisis del ruido sísmico en función de sus frecuencias predominantes durante el día, la noche y en cada estación del año.

## APLICACIÓN

La metodología antes discutida ha sido integrada en el programa RUIDOIGP y aplicada a nueve estaciones de banda ancha de la RSN. Para el análisis se considera muestras de señal de cada estación para las 6:00, 12:00, 18:00 y 24:00 horas de cualquier día y mes del año. Según Peterson (1993), para el análisis de los niveles de ruido es necesario tener en cuenta la geología (tipo de suelo o roca), la logística seguida para la instalación (acceso, transmisión de la data, ubicación del sensor en superficie o túneles, etc.) y las variaciones climatológicas (lluvia, incremento descenso de la temperatura, presión atmosférica, etc.) presentes en el área en donde se encuentra la estación sísmica y que en el caso de la RSN, todas fueron resumidas en la Tabla 2. El análisis de los resultados obtenidos se realiza en base de tres rangos

TIPOS DE RUIDOS	CARACTERISTICAS	FRECUENCIAS (Hz)
Ruidos Producidos por el tráfico de Vehículos	Dependen de la distancia de la estación a la carretera	Las frecuencias oscilan con valores mayores a 5 Hz. ( $f > 5$ Hz.)
Ruidos Producidos por el viento	Ruidos producidos por el impacto del viento en árboles cerca de la estación.	Las frecuencias oscilan con valores mayores a 4 Hz ( $f > 4$ Hz.)
Ruidos producidas por el Hombre	Relacionado a la actividad diaria del hombre generalmente se presentan en estaciones cerca de los poblados.	Las frecuencias varían de 1 a $f > 2$ Hz. Dependiendo de la distancia de la ciudad a la estación.
Ruido Producido por resonancia de frecuencias por el tipo de suelo.	Cuando la estación se encuentra ubicado sobre un suelo suelto (depósitos cuaternarios – Terciarios), estas dependen del espesor de la capa sedimentaria.	Por ejemplo: 0.04 a 0.09 Hz para 1.5 Km. 0.2 a 0.5 Hz para 290 m. 1.1 a 2.8 Hz para 50 m.
Ruidos Producidos por la actividad Minera.	Dependen de la distancia de la estación sísmica a la mina.	Las frecuencias varían $f > 0.5$ Hz.
Ruidos hechos por el Hombre.	En estaciones de roca dura	Las frecuencias $f > 1$ Hz
Impedancia Acústica.	Ruido producido por contraste de impedancia acústica entre limonitas triásicas y depósitos del cuaternario	Las frecuencias son $f > 1$ Hz.
Olas del Mar	Ruidos producidos por el choque de las olas de mar con el litoral de la costa. Las variaciones son por la proximidad de la estación al mar.	Las frecuencias oscilan entre $0.06 \text{ Hz} < f < 0.3 \text{ Hz}$ .
Tormentas oceánicas.	Microsismos naturales ocurridos en el fondo del mar producido por las ondas sísmicas estacionarias causadas por el oleaje.	Las frecuencias Están entre 0.3 y 0.5 Hz.
Ruido Atmosférico	Ruidos producidos por efectos las fluctuaciones de la presión atmosférica.	Las frecuencias Se encuentran entre 0.001 a 0.03 Hz.

Tabla 2.- Tipos de ruido y frecuencias predominantes según los resultados obtenidos por Peterson (1993), Beauvain et al. (1996), Bormann et al. (1997) y Stutzmann et al. (2000)

de frecuencias comprendidas entre 0.01 a 10 Hz, esto debido al ancho de registro (0.033 – 50 Hz) y muestreo establecido para las estaciones de banda ancha de la RSN (20 muestras por segundo). En la Figura 1 se muestra los rangos antes indicados, así como las principales fuentes que originarían el ruido que en ellos prevalece.

Las curvas de DPE para las nueve estaciones de banda ancha se presentan en el Anexo y en ellas se observa que los niveles de ruido identificados para las estaciones de la RSN se encuentran en promedio en la media del rango de máximo (NMHN) y mínimo (NMLN) nivel de ruido establecido por Peterson (1993), Figura 3. En general, los resultados indican que la estación CUS es la que presenta el mínimo nivel de ruido y la estación CTH el mayor dentro de todo el rango de frecuencias considerado en este estudio.

Para el rango de frecuencias entre 1 a 10 Hz, los niveles de ruido, en las componentes verticales de las estaciones de PUC, LYA, YLA, CHA y TOQ son mayores con respecto a la curva de mínimo nivel

de ruido hasta un orden de 25 dB para frecuencias mayores a 7 Hz como es el caso de la estación de CTH y PUC. Para niveles menores de frecuencia, las diferencias en los niveles de ruido disminuyen hasta en 12 dB, valor observado entre las estaciones de CUS y CTH a la frecuencia de 2Hz. Las estaciones con bajo nivel de ruido se encuentran ubicadas en roca y en el caso de CUS a 20 metros en el interior de un túnel; mientras que, los mayores niveles de ruido serían de tipo cultural, asociados a la calidad del suelo (Tabla 1) o por su cercanía a centros mineros (TOQ y CAJ). En relación a las variaciones del ruido durante las estaciones del año, se observan fluctuaciones en la estación LYA e incrementos marcados en el caso de CAJ o descensos en las frecuencias de 2 a 3 Hz en la estación CHA durante el cambio estacional de primavera a invierno (ver Anexo).

Para el rango de frecuencias entre 0.1 a 1 Hz, el ruido sísmico en todas las estaciones tienden a los niveles mínimos (NMLN), siendo las estaciones de CAJ y CUS las más representativas, esto debido a que ambas se encuentran instaladas en roca y en el interior

de túneles, el primero a 20 metros y el segundo a 10 metros. En algunas estaciones como HUA, CHA y CTH se observa la presencia de ligeros incrementos en el nivel de ruido con picos en las frecuencias de 0.5 a 0.7 Hz y cuyo origen es difícil poder definirse. De manera estacional, se observa incrementos del ruido de hasta 8 dB durante el verano e invierno en las estaciones de CTH, HUA y CAJ, en esta última, en ruido a la frecuencia a 0.9 Hz podrían tener su origen en las labores mineras que se desarrollan cerca de la estación. En general, dentro de este rango de frecuencias las perturbaciones en la señal son

debidas a la influencia del mar (oleaje y tormentas oceánicas), y de todas las estaciones, las de CAJ, YLA, TOQ y LYA serían afectadas, aunque esta última en mayor porcentaje por encontrarse a escasos 6 km de distancia de la costa (Figura 2).

En el rango de frecuencias de 0.01 a 0.1 Hz, la estación CUS presenta niveles mínimos de ruido, aunque su amplitud se encuentra en la parte media del modelo establecido por Peterson (1993). El resto de estaciones presentan altos niveles de ruido y en algunos casos se incrementan en las componentes

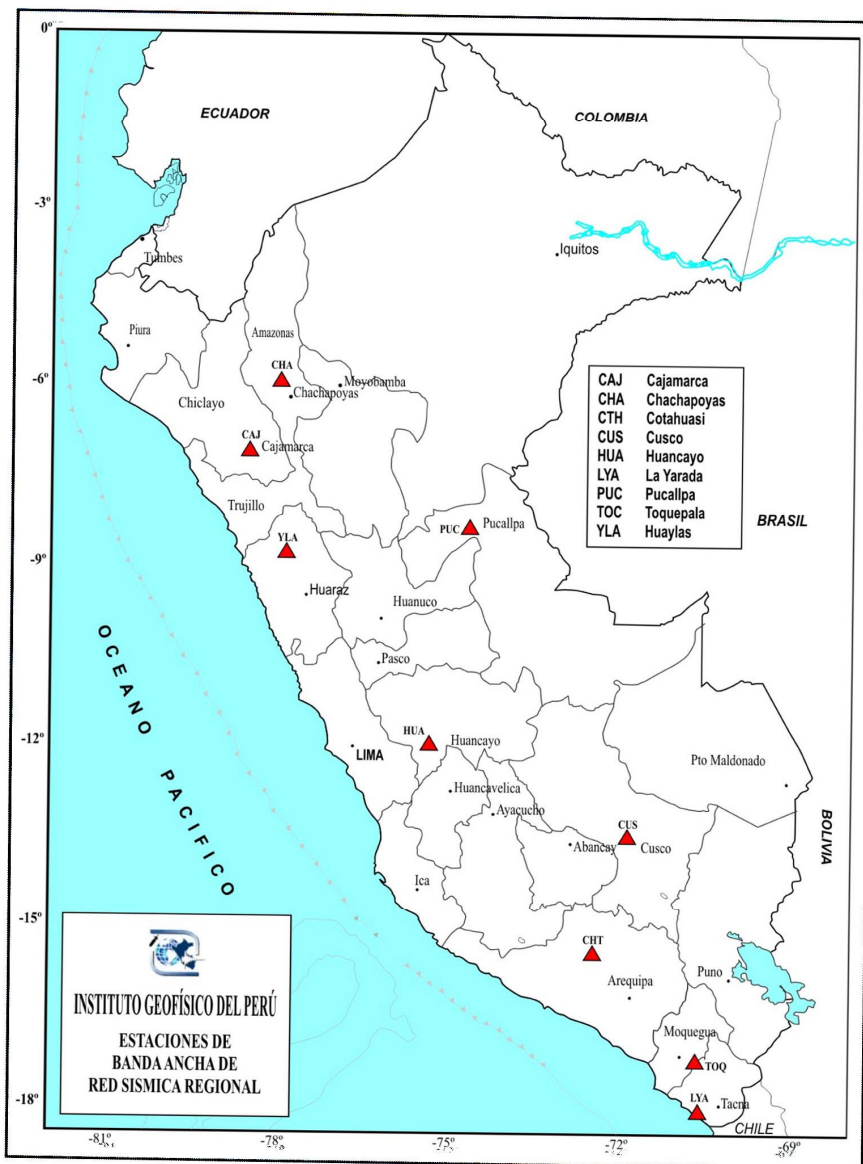


Figura 2.- Distribución espacial de las estaciones de banda ancha que integraban la RSN del Perú hasta el año 2005 y que fueron utilizadas en este estudio. Las características de dichas estaciones, se presentan en la Tabla 2.

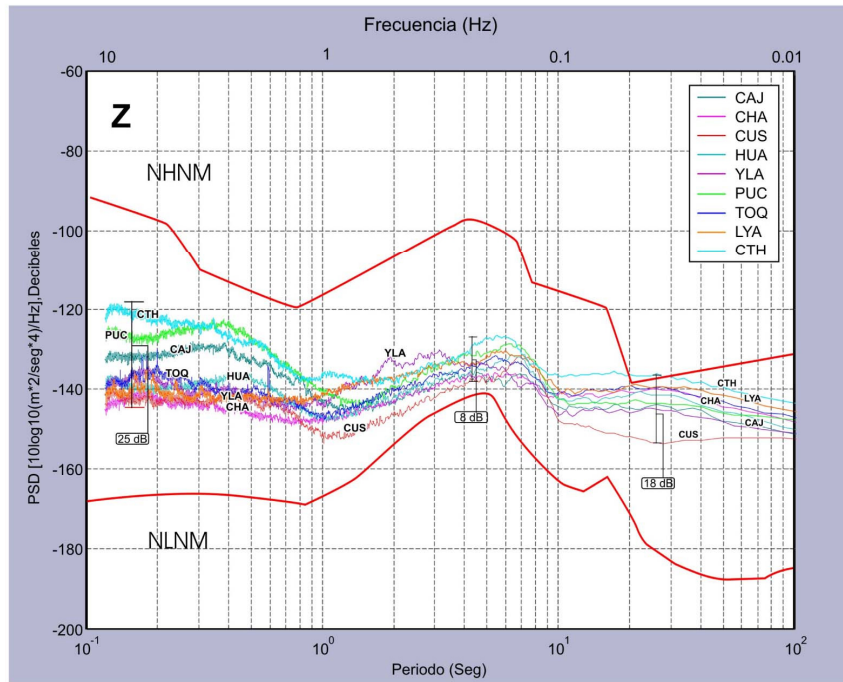


Figura 3.- Comparación de las curvas de DPE (Z= componente vertical) obtenidas para el total de las estaciones de banda ancha analizadas en este estudio. Las curvas corresponden a muestras tomadas a las 12:00 horas del día. Las curvas NHNM y NLNM corresponden al máximo y mínimo nivel de ruido según el modelo propuesto por Peterson (1993).

horizontales por encima de los rangos NMHN (Figura 3), tal es el caso de las estaciones de CTH y LYA que presentan diferencias de hasta 15dB por encima de la estación CUS. Estos rangos de frecuencias son atribuidos a efectos atmosféricos y mas directamente a las variaciones de la presión, siendo mayor en las estaciones que se encuentran próximas a la superficie como CTH y LYA, y menores en la estación del CUS por estar ubicado en el interior de un túnel.

**DISCUSION Y CONCLUSIONES**

El estudio de los niveles de ruido sísmico en nueve estaciones de banda ancha pertenecientes a la RSN del Perú ha permitido cuantificar la calidad de sus registros. Se ha comprobado que el método de Densidad de Potencia Espectral es una herramienta útil para el desarrollo de este tipo de análisis. El rango de análisis de la señal sísmica fue entre 0.01 a 10 Hz, en razón que dicha información de gran utilidad para los estudios sismológicos en el campo cercano y lejano; es decir, efectos de sitio, procesos de ruptura y oscilaciones propias de la Tierra.

Para la evaluación final de los resultados obtenidos en este estudio, se ha visto por conveniente agrupar en la Figura 3 los DPE correspondientes a las horas

en las cuales se observo los mayores niveles de ruido en cada estación y por lo general, corresponden a las 12:00 horas. De acuerdo a esta figura, en la banda de frecuencias de 1 a 10 Hz se observa variaciones del nivel de ruido hasta en 25 dB, teniendo en la parte inferior del nivel de ruido a la estación CUS y en la superior a la estación CTH, esto para frecuencias mayores a 7 Hz. Con relación a la estación CUS, el nivel de ruido en PUC se incrementa en 15 dB, para CAJ en 10 dB, para TOQ en 5 dB y en las restantes hasta 3 dB. Estas diferencias en los niveles de ruido tendrían su origen en el tipo de suelo sobre el cual operan las estaciones sísmicas, las de mayor nivel de ruido en suelos sedimentarios y las de menor ruido en suelos rocosos, además de estar alejados del ruido cultural (ver Tabla 1).

Para el rango de frecuencias entre 0.1 a 1 Hz, se observa que todas las estaciones presentan niveles de ruido cercanos al mínimo NMLN establecido por Peterson (1993), aunque es notoria la variación en sus niveles hasta un rango de 8 dB con relación al menor valor observado para la estación CUS. Para este rango de frecuencias los ruidos podrían tener su origen en el tipo de suelo sobre el cual opera el sensor (CTH, PUC) o por sus cercanías a la costa, siendo

afectado por la oscilación del mar (TOQ, YLA, CAJ). En la banda de frecuencias de 0.01 a 0.1 Hz todas las estaciones presentan amplitudes cercanas al nivel máximo NMHN, pero con relación a CUS varían hasta 15 dB para frecuencias comprendidas entre 0.8 a 0.9 Hz. En este rango de frecuencias, el ruido es debido a las fluctuaciones de la presión atmosférica y es menor cuando la estación se encuentra en el interior de túneles como es el caso de CUS.

El análisis y la evaluación del nivel de ruido que se registra en cada una de las nueve estaciones sísmicas de banda ancha consideradas en este estudio, han permitido reconocer, de acuerdo al rango de frecuencias de interés, que la calidad del registro dependerá de la ubicación y de las condiciones geológicas en las cuales opera la estación sísmica. Para el rango de frecuencias de 0.1 a 10 Hz, los diferentes niveles de ruido pueden ser reducidos instalando la estación sobre suelo rocoso y alejado de fuentes artificiales; además, para frecuencias entre 0.01 a 0.1 Hz se debe considerar instalar la estación en el interior de túneles con profundidades mayores a 50 metros.

A pesar que resulta difícil poder cumplir con todos los requisitos y seguir el procedimiento

adecuado para la instalación de una estación sísmica, es importante realizar la evaluación de sus niveles de ruido a fin de proceder a asignar un determinado valor de calidad a la señal que se registra, así como escoger adecuadamente un determinado tipo de filtro a aplicarse en base a la relación señal/ruido. Los resultados presentados en este estudio son similares a los obtenidos por Bormann et al (1997) para la red sísmica alemana y Stutzmann et al (2000) para la red GEOSCOPE y en el caso del Perú, ellos facilitarían la explotación de la data sísmica proveniente de la RSN del Perú a utilizarse en los diversos estudios de investigación a desarrollarse en el Instituto Geofísico del Perú.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los ingenieros de la Jefatura de Redes Geofísicas del Instituto Geofísico del Perú por el mantenimiento preventivo y operativo de la Red Sísmica Nacional. Al Sr. Henry Salas por su apoyo en el manejo de la data sísmica utilizada en este estudio. Finalmente, al MsC. Javier Lermo por sus correcciones y comentarios al presente estudio. Contribución de la Dirección de Sismología-CNDG del Instituto Geofísico del Perú, N°025-2006/SIS\_CNDG.

#### REFERENCIAS

- Beauduin, P., P. Lognonne, J. Montagner, S. Cacho, J. Karczewski, and M. Morand (1996). The effects of atmospheric pressure changes on seismic signals, or how to improve the quality of a station, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1760–1799.
- Berger J. y Eissler H. K., (1988). Studies of high-frequency seismic Noise in Eastern Kazakhstan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78 (5), 1744–1758.
- Blackman, R. y Turkey, W. (1959). *The measurement of power spectra from the point of view of communications engineering*. Dover Publications, inc., New York, 190.
- Bormann, P., Klinge, K., Wylegalla, K. (1997). Analysis of broadband seismic noise at the German Regional Seismograph Network and search for improved alternative station sites, *Journal of Seismology*, 1, 357–381.
- Chavarria, L. Susagna, T. (1998). Caracterización del ruido sísmico en emplazamientos de la red sísmica de Catalunya con sensor de banda ancha, (PDF-190KB). 1ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Almería, 9-13 de febrero de 1998
- Peterson, J. (1993). Observation and modelling of seismic background noise. *U.S. Geol. Surv. Tech. Report.*, 93-322, 1-95.
- Stutzmann, E, G. Roul, y Astiz L., (2000), Geoscope Station Noise Levels. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90, (3), 690–701.
- Sorrells, G. G., (1971). A preliminary investigation into the relationship between long-period seismic noise and local fluctuations in the atmospheric pressure field, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 26, 71-82.
- Tavera H. y Buforn (2001). Source mechanism of earthquake in Peru. *Journal of Seismology*, 5 (4), 519-540.
- Wilson D., Joseph Leon, (2002). Broadband Seismic Background Noise at Temporary Seismic Stations Observed on a Regional Scale in the Southwestern United States, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, (8), 3335–3341.

ANEXO

Variación diurna y por estaciones del año del nivel de ruido sísmico presente en nueve de las estaciones de banda ancha que integran la RSN. Las líneas de color rojo identificadas con los códigos NHHM y NMLN representan los niveles máximos y mínimos de ruido sísmico establecidos por Peterson (1993). Z= componente vertical, N= componente norte-sur, E= componente este-oeste.

