

**Cálculo del Nivel de Ruido de la estación gravimétrica de
Yeves a partir de los datos del
Gravímetro Superconductor SG064**

Beatriz Córdoba, Jose Manuel Serna

INFORME TÉCNICO IT - CDT 2013 - 12

Contenidos

Contenidos	I
1. Introducción al problema.....	1
2. Método para el cálculo del nivel de ruido de una estación.....	2
3. Comparación con el modo NLMN	4
4. Resultados del cálculo del nivel de ruido del SG064	6
5. Referencias	9

1. Introducción al problema.

Los gravímetros superconductores se usan principalmente para realizar estudios de marea debido a su alta sensibilidad y poca deriva. Sin embargo desde hace años también se usan como sismómetros de largo periodo, particularmente en la banda de modos normales (periodos de 1 a 54 minutos), (Banka, D., et. al.) para estudiar a partir de sus datos las oscilaciones libres de la Tierra. Sin embargo la existencia de ruido sísmico de fondo limita la posibilidad de detectar pequeñas señales sísmicas que se propagan a través de la Tierra y que llevan información tanto de la estructura de la Tierra como del material que atraviesa la señal, motivo por el cual es importante caracterizar el ruido de una estación gravimétrica a partir de datos proporcionados por distinta instrumentación gravimétrica y sismológica.

Con el propósito de caracterizar y dar una medida del nivel de ruido de una estación gravimétrica se desarrolló el concepto de Magnitud de Ruido Sísmico. Esta medida se consigue principalmente juntando los cinco días de registro con más bajo nivel de ruido y obteniendo a partir de ellos la densidad espectral de potencia del ruido en la banda de frecuencias de 0.05-20mHz (50 s a 6 h). Una vez obtenida la medida se debe comparar con el Nuevo Modelo de Referencia de Bajo Ruido (NLMN, Peterson, 1993) calculado a partir de sismómetros distribuidos por toda la Tierra estimando así la calidad tanto del emplazamiento como del sensor gravimétrico.

Una vez obtenido el nivel de ruido en un emplazamiento existe el problema de distinguir entre el ruido del sitio y el del propio instrumento. Para resolverlo sería necesario comparar el nivel de ruido a partir de diversos instrumentos registrando simultáneamente en el mismo emplazamiento. La diferencia de ruido entre ellos será el debido únicamente al ruido instrumental.

En nuestro estudio nos limitaremos únicamente a calcular de momento el nivel de ruido estación-sensor y dejaremos para posteriores investigaciones esta separación entre ruido de la estación y ruido instrumental.

2. Método para el cálculo del nivel de ruido de una estación.

En esta sección se detalla el procedimiento estándar que se debe seguir para calcular el nivel de ruido de una estación gravimétrica a partir de datos de un gravímetro superconductor y compararlo posteriormente con el modelo NLMN (Banka, D., et al.).

Preparación de los datos gravimétricos

El primer paso en el cálculo del nivel de ruido de una estación consiste en tomar una serie de datos de un gravímetro de aproximadamente un año con un muestreo de 1 segundo y prepararla para el posterior cálculo de nivel de ruido. Para preparar la serie es necesario transformar los datos del gravímetro de voltios a unidades de gravedad, para lo cual hemos tenido que calcular previamente el factor de calibración del instrumento que bien se puede calcular a partir de regresiones lineales a un modelo de marea o de forma más precisa y segura comparando datos del gravímetro superconductor con datos de gravedad absoluta. A continuación se han de calcular los residuales de gravedad, para lo que es necesario eliminar de los datos un modelo de marea, la carga oceánica y la presión atmosférica. Los residuales no deben ser corregidos de spikes, gaps o terremotos. Los steps en principio podrían ser eliminados pero es más seguro tomar registros en los que no existan steps.

Una vez obtenidos los residuales la serie de datos ha de separarse en ficheros diarios.

Reducción de la Amplitud de los residuales

Con el objetivo de eliminar la deriva instrumental, así como de eliminar cualquier residual de la señal de marea que pueda haber quedado en los datos lo que se hace es abstraer el polinomio de grado 9 que mejor se ajuste a los datos. De esta forma se obtendrán unos residuales más planos.

Selección de los 5 días menos ruidosos de todo el conjunto de datos

De todos los datos que se estén usando para este estudio, escogeremos los 5 días menos ruidosos. Para comprobar qué días son los menos ruidosos se calcula el error medio cuadrático (RMS) y se escogen los días que tengan menor error medio cuadrático.

Cálculo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT)

El siguiente paso consiste en calcular la FFT de los cinco días con menor ruido pero, antes de calcular la FFT, se deben tratar los datos como se describe a continuación. En primer lugar se debe sustraer el valor medio de los datos. A continuación se aplica a los datos una ventana del 10% Cosine Bell para igualar cualquier salto entre el principio y el final de los datos. La pérdida de potencia en el tiempo se compensa multiplicando todos los valores que queden por un factor de corrección (este factor es de 1.06667 para el 10% del Cosine Bell). Por último se deben rellenar los datos con ceros hasta que el muestreo sea una potencia 2. Por ejemplo, 86400 puntos de datos deberían ser rellenados con 262144 o 2^{18} . Una vez realizados todos estos pasos ya se está en condiciones de computar la FFT. El espectro de Amplitud se guarda sin normalizar.

Suavizar el espectro de amplitud

El espectro de amplitud debe ser suavizado. Para ello se utiliza una ventana de frecuencia Parzen de 11 puntos. Esto no cambia la estimación de la densidad de potencia.

Cálculo de la media de las 5 FFT

A continuación se calcula la media de las amplitudes de las 5 FFT.

Cálculo de la media de la Densidad Espectral de Potencia (PSD) en la banda 200-600s y cálculo de la SNM.

Para dar una medida que no sea ambigua del nivel de ruido de una estación se ha desarrollado el concepto de “Seismic Noise Magnitude” (SNM) que se calcula a partir del cálculo de la media PSD a partir de la FFT media en la banda 200-600 s a partir de la siguiente fórmula:

$$SNM = \log_{10}(mean PSD) + 2.5$$

3. Comparación con el modelo NLNM

Los modelos de ruido se usan desde hace tiempo como líneas de base para evaluar y comparar características de las estaciones, para definir especificaciones de instrumentos y para predecir la respuesta de un sensor ante diversas condiciones de ruido.

El NLNM cuyas siglas en inglés significan New Low Noise Model, esto es Nuevo Modelo de Bajo Ruido (Peterson, 1993), es un modelo que predice el ruido de fondo sísmico en las frecuencias entre 1e-5 a 10 Hz. Para la creación de este modelo se han usado datos sísmicos de 75 estaciones repartidas por todo el globo terrestre. Todas ellas excepto una pertenecen a la red global de sismógrafos. En realidad el NLNM es una composición de espectros de estaciones obtenidas a partir de diferentes instrumentos.

La formulación necesaria para dibujar la curva NLNM es la siguiente:

$$NLNM_{acc} = A + B \log_{10}(P) \quad dB \quad \text{referidos a } 1(m/seg^2)^2/Hz$$

$$NLNM_{vel} = NLNM_{acc} + 20 \log_{10}(P/2\pi) \quad dB \quad \text{referidos a } 1(m/seg^2)^2/Hz$$

$$NLNM_{disps} = NLNM_{acc} + 20 \log_{10}(P^2/4\pi^2) \quad dB \quad \text{referidos a } 1(m/seg^2)^2/Hz$$

donde los parámetros P, A y B se muestran en la siguiente tabla:

P	A	B
0.10	-162.36	5.64
0.17	-166.7	0.00
0.40	-170.00	-8.30
0.80	-166.40	28.90
1.24	-168.60	52.48
2.40	-159.98	29.81
4.30	-141.10	0.00
5.00	-71.36	-99.77
6.00	-97.26	-66.49
10.00	-132.18	-31.57
12.00	-205.27	36.16
15.60	-37.65	-104.33
21.90	-114.37	-47.10
31.60	-160.58	-16.28
45.00	-187.50	0.00
70.00	-216.47	15.70
101.00	-185.00	0.00
154.00	-168.34	-7.61
328.00	-217.43	11.90
600.00	-258.28	26.60
10000.00-100000.00	-346.88	48.75

Tabla 3.1

Los resultados del modelo NLNM se muestran en la siguiente tabla:

NLNM($\mu\text{gal}^2/\text{Hz}$)	1/P=frequence	dB
0.15849	10	-167.99998
0.2138	5.88235	-166.69992
0.21394	2.5	-166.69708
0.12021	1.25	-169.20059
0.42685	0.80645	-163.69725
13.65871	0.41667	-148.6459
77.62471	0.23256	-141.1
77.69199	0.2	-141.09624
12.59135	0.16667	-148.99928
0.4217	0.1	-163.74996
0.23731	0.08333	-166.24684
0.61254	0.0641	-162.12866
0.01776	0.04566	-177.50557
0.00317	0.03165	-184.98941
0.00178	0.02222	-187.4958
0.00178	0.01429	-187.4958
0.00316	0.0099	-185.00313
0.00317	0.00649	-184.98941
0.00178	0.00305	-187.4958
0.00365	0.00167	-184.37707
6.48634	1.00E-04	-151.88
486407.2057	1.00E-05	-103.13

Tabla 3.2

La PSD del modelo NLNM se encuentra representada en la siguiente gráfica:

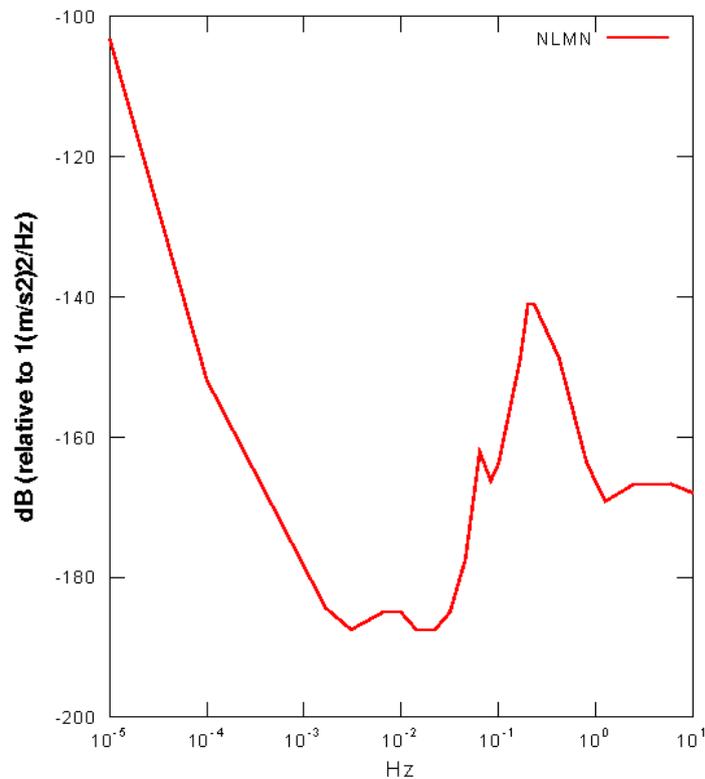


Figura 3.1. PSD del modelo NLNM

4. Resultados del cálculo del nivel de ruido del SG064

En esta sección exponemos el cálculo del nivel de ruido en la estación gravimétrica de Yebes a partir de los datos del gravímetro superconductor SG064 instalado en Diciembre de 2011 que lleva midiendo de forma ininterrumpida desde entonces. Para ello hemos tomado los datos registrados por el gravímetro desde Enero hasta Octubre de 2013, esto es un total de 304 días. Tras calcular el RMS de cada uno de los días, los días menos ruidosos (que hemos utilizado posteriormente para calcular la Transformada Rápida de Fourier) se pueden ver en la siguiente tabla:

Fecha	Ruido RMS
12 de Junio	0.17630
10 de Mayo	0.18938
14 de Julio	0.19997
2 de Julio	0.20031
22 de Julio	0.20659

Tabla 4.1

Tras realizar la FFT para cada uno de estos días y calcular la media para los 5 días la Densidad Espectral de Potencia (PSD) que hemos obtenido viene representada en la siguiente gráfica:

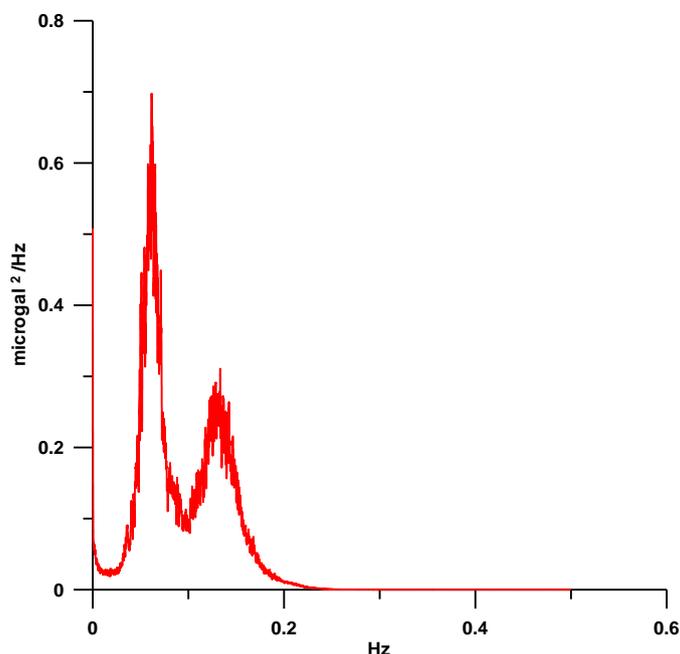


Figura 4.1. PSD media calculada para la estación gravimétrica de Yebes a partir de datos del SG064

El resultado de la SNM calculada a partir de la PSD viene dada por:

```
6 - 18 cph --> mean PSD = 0.04789 SNM = 1.18026
6 - 10.588 cph --> mean PSD = 0.05672 SNM = 1.25373
```

Por último tenemos que comparar la PSD de los 5 días más silenciosos con el modelo NLMN. Para compararlos es necesario poner en el eje x escala logarítmica.

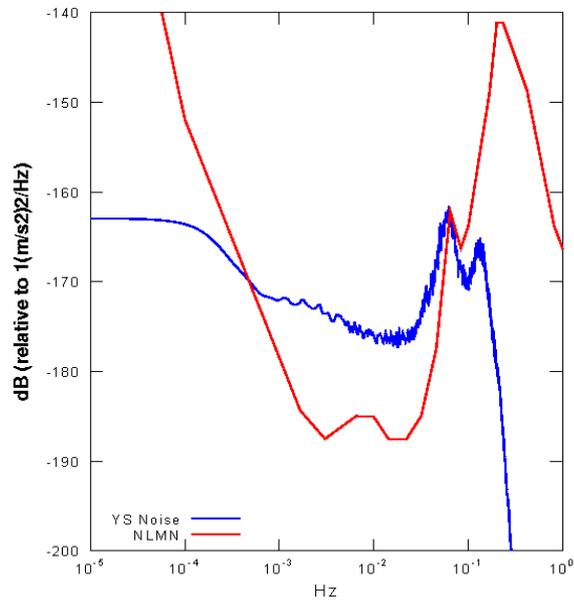


Figura 4.2. Comparación del ruido en la estación gravimétrica de Yebes (azul) con el modelo NLMN

Ampliando la zona que nos interesa:

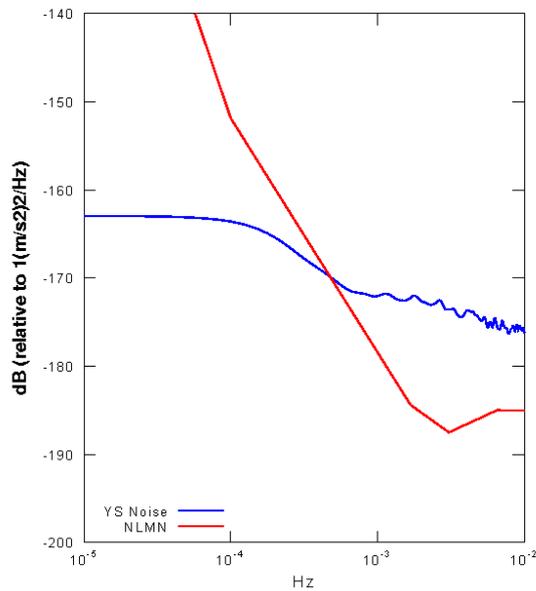


Figura 4.3. Comparación del ruido en la estación gravimétrica de Yebes (azul) con el modelo NLMN (rojo) en el intervalo de frecuencias 10⁻⁵ - 10⁻²

En la siguiente gráfica (Rosat et al.), se compara el ruido de la estación de Yebes con otras 19 estaciones pertenecientes a la red GGP (Global Geodynamics Project). En ella se puede ver como la estación de Yebes se encuentra dentro del rango de ruido delimitado por el resto de las estaciones.

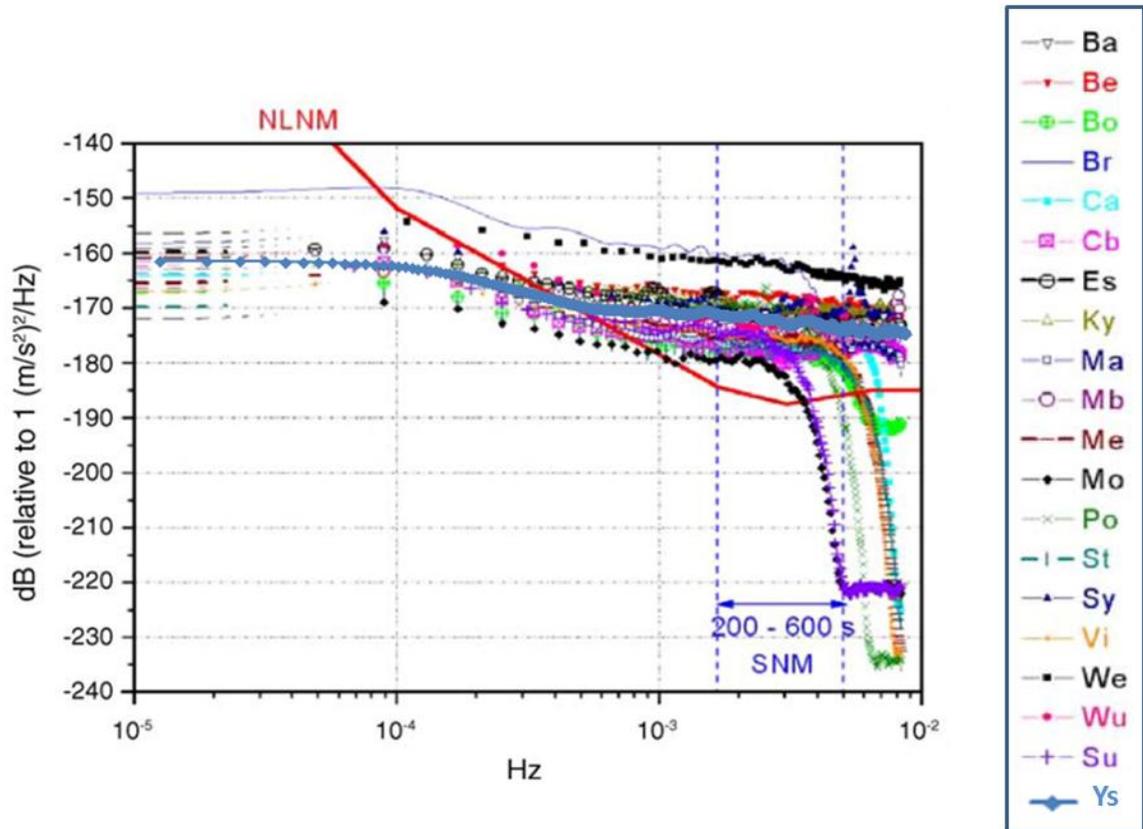


Figura 4.4. Comparación del nivel de ruido de la estación de Yebes (en azul) con distintas estaciones del GGP. El decrecimiento observado en las altas frecuencias es debido a la aplicación de un filtro de paso bajo en los datos en bruto para decimar el muestreo a 1 minuto.

El pabellón de gravimetría de Yebes fue diseñado especialmente para albergar gravímetros en una zona altamente estable. Por ello las condiciones de la estación gravimétrica deberían ser propicias para que el nivel de ruido de la estación fuese mínimo. Observando la gráfica podemos ver que la estación no se encuentra entre las estaciones más ruidosas pero tampoco es de las menos ruidosas. Este hecho puede ser debido a que la estación se encuentra situada en medio de la Península Ibérica, rodeada de mares y océanos, lo que propicia que la carga oceánica sea considerable y contribuya a aumentar el nivel de ruido de la estación.

5. Referencias

Banka, D., Crossley, D., 1999. "Noise levels of superconducting gravimeters at seismic frequencies", *Geophys. J. Int.*, 139, 87-97.

Peterson, J., 1993. "Observations and Modeling of Seismic Background Noise", U.S. Geol. Surv. Open-file Report, 93-322, 1-45.

Rosat, S., Hinderer, J., Crossley, D., Boy, J.P., 2004. "Performance of Superconducting gravimeters from long-period seismology to tides", *Journal of Geodynamics*, 38, 461-476.

Widmer-Schmidrig, R., 2003. "What Can Superconducting Gravimeters Contribute to Normal-Mode Seismology", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 3, 1370-1380.