

**VIBRACIONES PRODUCIDAS EN EDIFICIOS POR VOLADURAS EN CANTERAS :
MEDIDA Y ANALISIS DE REGISTROS.**

Arana, M. ; Vela, A. ; San Martín, M.L. ; Ibarra, M.

Laboratorio de Acústica. Dpto. de Física. Universidad Pública de Navarra.

INTRODUCCION.

El uso de explosivos para la explotación de canteras conlleva necesariamente tanto la generación de movimiento sísmico en el terreno como la emisión de onda aérea, susceptibles ambos efectos de producir molestias en los habitantes dentro de un radio de acción relativamente amplio. En esta comunicación se aportan las conclusiones obtenidas utilizando diferentes estados de medida (con transductores de presión para la onda aérea y piezoeléctricos para la vibración) que permitan, tras el correspondiente análisis temporal y frecuencial de los mismos, discernir claramente ambos efectos. Las medidas fueron tomadas en cimientos y forjados de viviendas en las localidades de Tiebas y Campanas (Navarra) a distancias aproximadas de 1 Km. de las canteras de Alaiz, Echauri-Tiebas y Uncona.

EQUIPOS DE MEDIDA Y REGISTRO.

- 1.- Transductores piezoeléctricos.
 - 1.a) Acelerómetro PCB tipo 342 M06
 - 1.b) Acelerómetro B&K tipo 4393 con amplificador B & K tipo 2635
- 2.- Micrófono de condensador tipo 7012, junto con preamplificador tipo 4012 y fuente tipo PS 9200, todo ello de ACO Pacific.
- 3.- Analizador FFT de dos canales HP 35665A.

Dada la enorme capacidad de procesamiento de la señal que el analizador posee, hemos tomado los registros temporales (tanto de vibración como de onda aérea) para posterior proceso de las señales.

ESTADO DE MEDIDA.

La distancia entre la cantera y los puntos de medida conlleva una clara separación temporal de la onda aérea y la onda sísmica, cercana a los 3 segundos. Tras unas primeras medidas manuales de prueba, escogimos un estado de medida con rango fijo (es obvio que en modo autorango se pierde la medida) y nivel de trigger adecuado; si se registraba la onda aérea en uno de los canales, este llevaba asociado el nivel de trigger.

Registramos las señales del micrófono en fachada exterior del edificio y de acelerómetros en centro de habitación receptora durante un tiempo de 8 s. en ambos canales del analizador, con un delay de 0.5 s. para el canal del micrófono y de 4 s. para el canal del acelerómetro. El tiempo de medida proporciona un límite superior de 50 Hz. para el análisis espectral con una resolución de 400 líneas.

La figura 1 muestra los registros temporales de onda aérea y aceleración en el eje vertical para una voladura típica con una carga de 2,600 Kg de nagolita y 100 Kg de goma2E, con 10 barrenos y 10 detonadores.

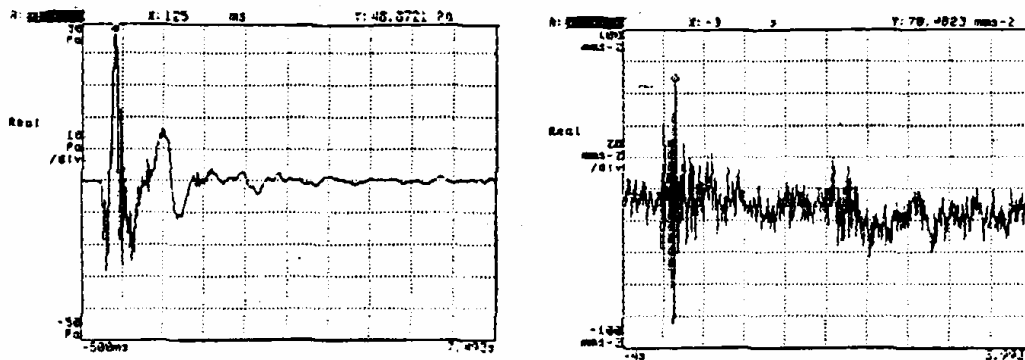


Fig 1.- Registros temporales de a) Onda aérea. b) Vibración vertical.

ANÁLISIS DE REGISTROS.

Se observa claramente en los registros temporales que el acelerómetro registra la onda sísmica casi 3 s. antes que la llegada de la onda aérea, la cual posee un nivel de 128 dB_{rms} (ref. 20 μ Pa).

La cuestión más importante a destacar es el efecto de la onda aérea sobre la vibración estructural, puesta de manifiesto en la parte central del registro de aceleración vertical, tiempo que corresponde a la presencia de la onda aérea. Este efecto es mayor, por lo general, en los registros de aceleración transversal. La mayor o menor influencia de la onda aérea en la vibración estructural depende de las características de la voladura (principalmente el retacado) y el tipo de roca, según el frente de la voladura. Asimismo, los forjados de plantas superiores de edificios con visión directa al frente de voladura se ven más afectados en su vibración estructural que los cimientos de edificios apantallados, en concordancia con los niveles de presión de la onda aérea medidos en las fachadas exteriores. En la encuesta que realizamos, la sensación de la onda aérea es tan molesta como la debida a la vibración.

El correspondiente análisis en frecuencias de ambos registros y de parte de los mismos cuantificará mejor ambos efectos. La figura 2 muestra la transformada de Fourier de ambos registros.

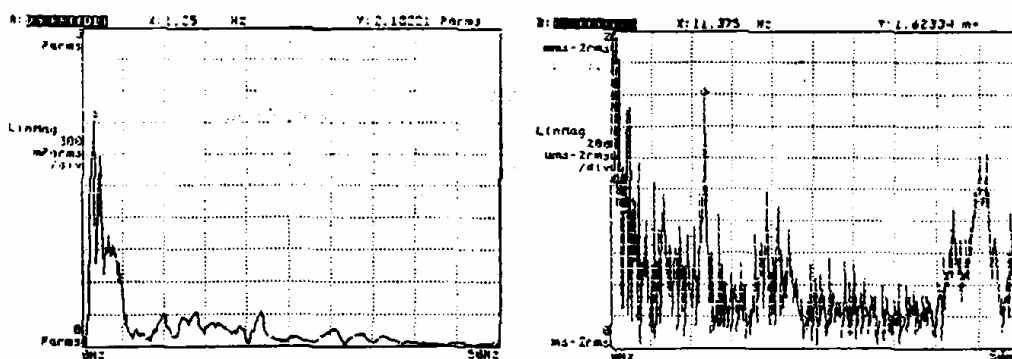


Fig 2.- Análisis espectral de los registros temporales de a) Onda aérea b) Vibración vertical.

La onda aérea concentra su energía en la banda de 1 a 5 Hz. La vibración vertical de la estructura posee contribuciones destacables en torno a 11, 20 y 45 Hz., las cuales deben atribuirse a frecuencias propias (y armónicos) de la estructura.

Dividamos ahora el registro de aceleración vertical (figura 1.b) en dos partes, tomando en la primera la vibración antes de que llegue la onda aérea y en la segunda la vibración tras la llegada de la onda aérea. Calculamos a continuación la transformada de Fourier de ambas partes. Todo ello se muestra en la figura 3.

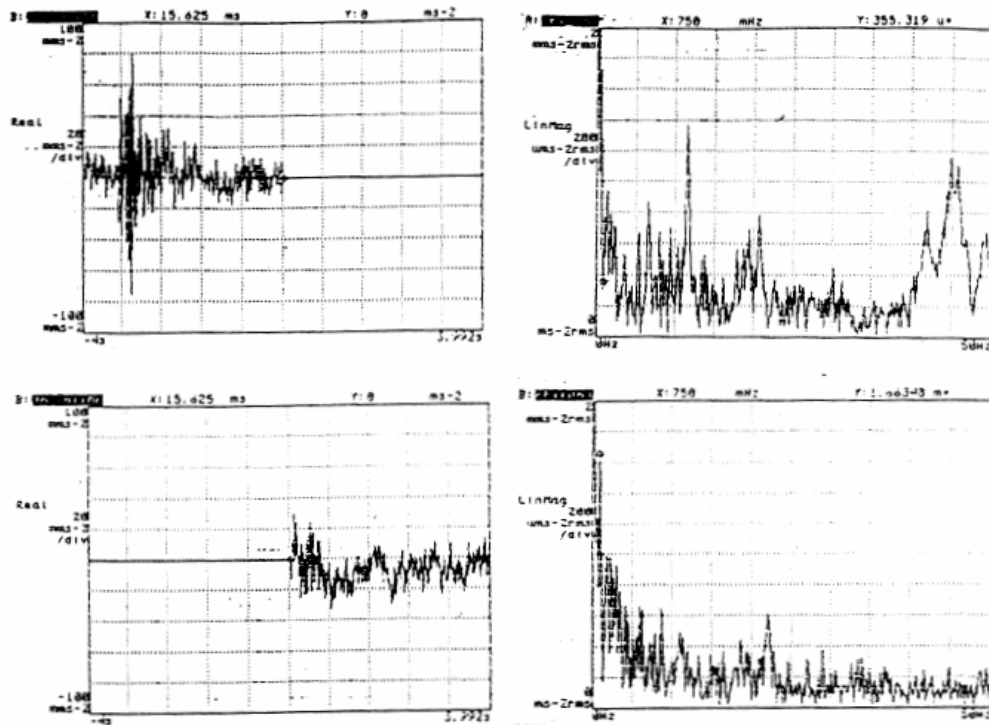


Fig. 3.- Semiregistros temporales de aceleración vertical y sus correspondientes análisis en frecuencias.

Es evidente la similitud entre las transformadas del registro total (figura 2.b) y y del primer semiregistro. La vibración estructural en bajas frecuencias (inferiores a 5 Hz.) debe atribuirse (en una parte muy superior al resto de componentes espectrales) al efecto de la onda aérea.

La figura 4 muestra los registros microfónico y de aceleración de otra voladura con idéntica carga en distinto frente y con un mejor retacado. Se obtienen niveles muy inferiores para la onda aérea y superiores para la onda sísmica, observándose en el registro temporal la casi nula influencia del efecto de la onda aérea sobre la vibración estructural. Esto último queda más patente en la figura 5, donde se muestran los análisis espectrales del registro temporal de vibración y el correspondiente a la primera mitad.

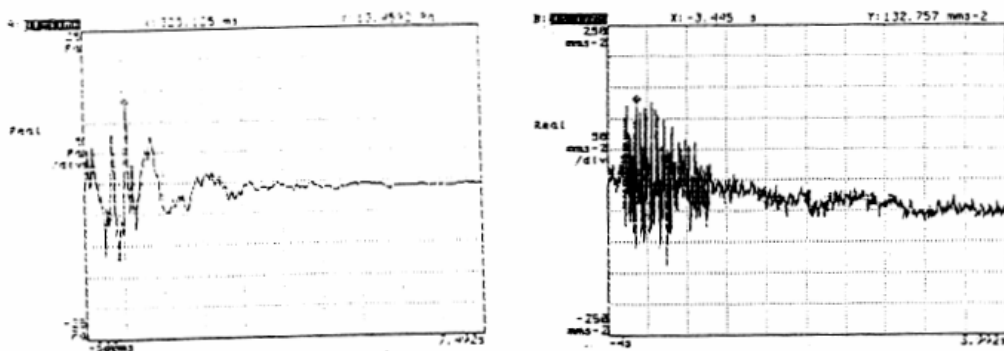


Fig. 4.- Registros temporales de a) Onda aérea. b) Vibración vertical.

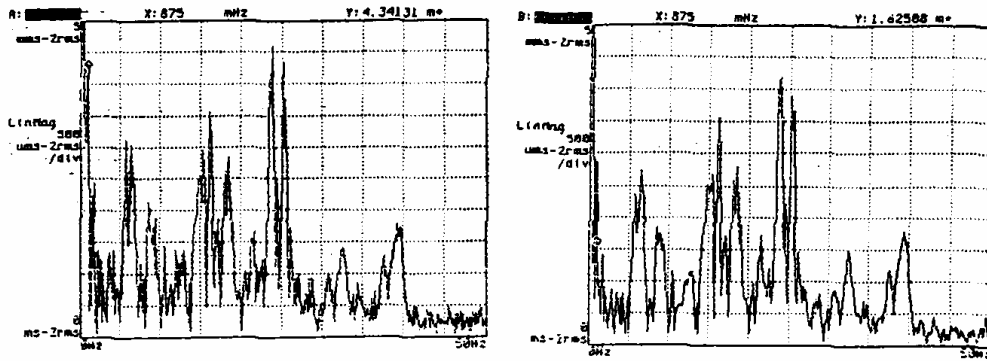


Fig. 5.- Análisis espectral del registro de la figura 4.b. a) Registro total. b) Primer semiregistro. Mediante integraciones sucesivas, obtenemos la velocidad y desplazamiento de la estructura. Mediante la adecuada agrupación de líneas espectrales, obtenemos la aceleración en bandas de tercio de octava, tal como lo requieren algunas normativas (ISO y Gobierno de Navarra). Nosotros exportamos los datos de la FFT del registro de vibración a hoja de cálculo para una mejor representación gráfica de los análisis espectrales de velocidad y desplazamiento, así como aceleración en tercios de octava.

La figura 6 muestra estos resultados para el registro de vibración de la figura 4b.

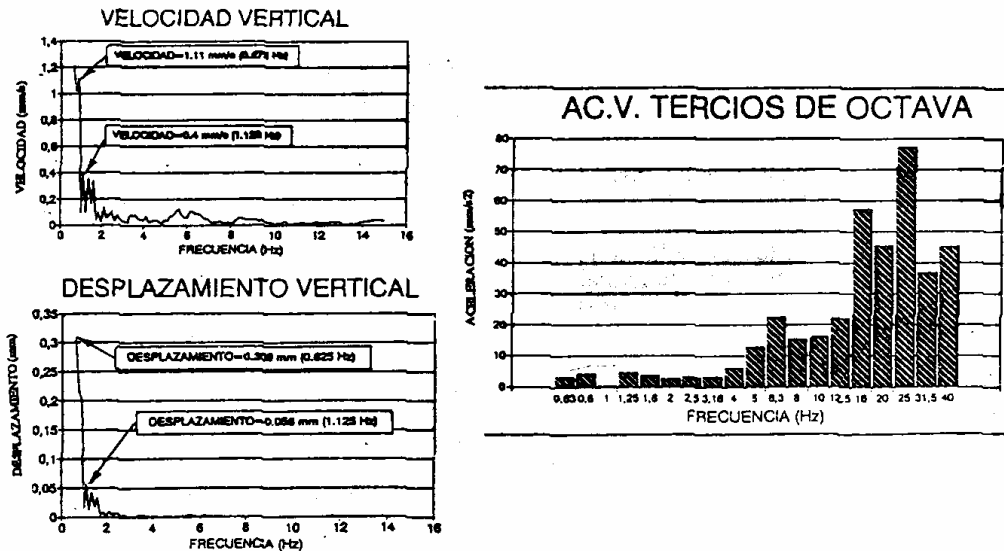


Fig. 6. a) Espectro de velocidades, b) Espectro de desplazamientos c) Aceleración vertical en tercios de octava, correspondientes al registro de la fig. 4b.

En conclusión, el registro temporal de las señales de vibración y onda aérea con sus delays correspondientes permite valorar la afección que ambos fenómenos provocan sobre la vibración estructural de los edificios debidas a voladuras en canteras. La práctica totalidad de dicha vibración es transmitida por el terreno, afectando la onda aérea en la zona de muy bajas frecuencias (0-5 Hz.). El posterior tratamiento matemático de los datos de los registros permite obtener el valor de todas las variables de interés (velocidad, desplazamiento etc.) de la vibración.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Shock and Vibration Handbook.
Cyril M. Harris. McGraw-Hill. 1987.
- 2.- HP 35665A. Operator's Reference.
- 3.- Medida, análisis y valoración de las vibraciones producidas por voladuras en canteras.
Proyecto Fin de Carrera. C.P.S. de I. I. Universidad de Zaragoza.
San Martín, M.L.; Ibarra, M.