

**VIBRACIONES PRODUCIDAS EN EDIFICIOS POR VOLADURAS EN CANTERAS :  
RESULTADOS Y VALORACION.**

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

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

**INTRODUCCION**

Toda norma sobre vibraciones originadas por voladuras tiene como objetivo establecer los requerimientos y limitaciones que eviten las molestias de los habitantes y/o garanticen la seguridad de los inmuebles. En el caso de las personas (y en términos generales) la molestia depende principalmente del tipo de actividad que desarrolle; en forma análoga, se pueden calificar las estructuras a efectos de prevención de daños. En función del objetivo, las distintas normas establecen su parámetro representativo, límites de prevención, etc.

En esta comunicación, tras una breve discusión y resumen esquemático de diversos criterios y normativas, aportamos los resultados obtenidos en las 21 medidas que llevamos a cabo para determinar los niveles de vibración originados en viviendas por voladuras en canteras. En 11 de ellas se midió también el nivel de presión de la onda aérea. 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.

**NORMATIVA**

Existen normativas específicamente elaboradas para la medida y prevención de vibraciones generadas por voladuras, tal como la UNE 22-381-93 o la americana R.I. 8507 U.S. Bureau. Esta clase de normativas requiere o recomienda el estudio de leyes de propagación que permitan garantizar la seguridad de los edificios en función de la distancia y carga utilizada, ley que permita predecir razonablemente el valor del parámetro representativo de la vibración, comúnmente la velocidad de partícula.

Otras normativas limitan las vibraciones en los edificios causados por cualquier tipo de agente con el objetivo primordial de garantizar el confort a los residentes. Ello implica diferencia entre posiciones y requerimientos de la medida. El cuadro nº1 resume las características y requerimientos para seis normativas relativas a vibraciones en edificios.

Los criterios de prevención muestran los límites que garantizan ausencia de daños en edificios o mínimas molestias en los residentes. Así, DIN 4150 y UNE 22-381-93 imponen valores máximos para la velocidad de partícula en cimientos para tres tramos del espectro, siendo más restrictiva la zona de bajas frecuencias. DIN 4150 pone límites, además, para los forjados de último piso.

ISO 2631 y D.F. 135/1989 parten de una ponderación particular para la aceleración en tres tramos del espectro entre 1 y 80 Hz., considerando más molestas las frecuencias entre 4 y 8 Hz. y estableciendo curvas límites según el tiempo de exposición y la actividad.

CUADRO N° 1

	Parámetro representativo	Clasificación de Estructuras	Ley de Propagación	Posición de medida
UNE 22-381-93	Velocidad pico Desplazamiento Frecuencia principal	Grupo I: Industriales Grupo II: Viviendas, oficinas Grupo III: Especiales	General $V=KQ^{\alpha}D^{\beta}$ ó Cuadrática $V=K(DN\sqrt{Q})^{\alpha}$	Cimientos de la estructura
DIN 4150 Parte III	Velocidad pico frecuencia	Grupo I: Industrial y comercial Grupo II: Viviendas, oficinas Grupo III: Especiales	No se estudia	Cimientos de la estructura y forjados más altos
ISO 2631-Parte2	Aceleración (ponderada)	Especiales Residenciales Oficinas Comerciales-Industriales	No se estudia	Posición donde se apoya el cuerpo humano
D.F. 135/1989 (Gobierno de Navarra)	Aceleración eficaz en 1/3 de octava (1-80 Hz)	Zona Industrial Zona no Industrial	No se estudia	Centro de cimiento o forjado de local receptor.
NBE-CA-89	Aceleración (0,5-80 Hz)	Areas de reposo Areas vivideras	No se estudia	Centro de cimiento o forjado de local receptor.
R.I.8507 U.S. Bureau	Velocidad pico. Desplazamiento Análisis espectral	Residenciales	$V=K ( D/Q_i)^{\alpha}$	Cimientos, estructuras y paredes.

## RESULTADOS Y VALORACION

En la mayoría de las medidas se registraron la aceleración vertical y una de las transversales, aquella cuya dirección coincide con la de la línea de voladura; la correspondiente a la dirección perpendicular a esta última en el plano del suelo, poseía valores muy inferiores. En algunos registros, este segundo canal se usó para el micrófono. Tras análisis FFT de los registros, se obtiene el espectro de cada registro en el ancho de 0 a 50 Hz. en formato SDF. Tras conversión a tipo ASC, se introdujeron en hoja de cálculo Quattro Pro. Finalmente, con los datos de los componentes de la aceleración en cada frecuencia (con resolución de 0.125 Hz) se calcularon la velocidad y desplazamiento, así como la aceleración en bandas de tercio de octava. La velocidad resultante se calculó componiendo las componentes vertical y longitudinal. La respuesta de los acelerómetros usados es prácticamente plana ( $\pm 1$  de B) por encima de 0.6 Hz.

Comentamos a continuación los resultados y valoración de los mismos (para 21 medidas realizadas) en base a las distintas normativas.

### a) DIN 4150 Parte III

Las máximas componentes espectrales para la velocidad, medida tanto en cimientos como en forjados, se obtienen en frecuencias en torno a 1 Hz. con valores que oscilan entre 0,50 y 4,72 mm/s. con valor medio de 1,85 mm/s y desviación típica de 1,09 mm/s. En dos de las medidas se obtuvieron valores de 4,42 y 4,72 mm/s, próximos al límite de 5 mm/s que establece la norma. En definitiva, todas las medidas cumplirían con dicha normativa.

### b) UNE 22-381-93

Similar comentario. Para estas frecuencias y estructuras del mismo tipo (grupo II) el valor máximo permitido se eleva a 9 mm/s.

c)ISO 2631

Opera con tres criterios que dan lugar a valoraciones diferentes: límite de confort, límite de reducción de la capacidad de trabajo y límite de exposición. Según el eje en que se mida la vibración, debe adoptarse la aceleración o velocidad, siempre en valores r.m.s. Para actividades puntuales como la que nos ocupa, en el anexo A, punto 7, se admite un factor de multiplicación de 30 a 90 respecto a los valores admisibles establecidos. Tomando el valor más restrictivo en este factor (30) se admiten aceleraciones en el eje z que van desde 300 mm/s<sup>2</sup> en la banda de 1 Hz hasta 1,500 mm/s<sup>2</sup> en la banda de octava centrada en 80 Hz.; para la aceleración en el eje X, desde 108 mm/s<sup>2</sup> hasta 4.320 mm/s<sup>2</sup> para idénticas bandas. El cuadro nº 2 resume los resultados obtenidos a la luz de esta norma.

CUADRO nº 2

Banda (Hz) (1/3 de octava)	Acel. máx. r.m.s. (mm/s <sup>2</sup> ) rango de valores obtenidos	Ejes
1,25	18	x
5	7,5-19	x-z
6,3	14.5-23	x-z
8	29	x
10	32.5	x
12,5	8-36	x-z
16	57	z
20	11.5-26	z
25	37-77	z
31,5	26	x
40	13-51	x-z

d)R.I. 8507 U.S. Bureau

Esta norma, compleja de aplicación, adopta un criterio, mixto de desplazamiento y velocidad dependiendo de la frecuencia dominante. Así mismo para frecuencias entre 4 y 10 Hz. establece valores máximos para la velocidad medidos en tabiques. En nuestro caso, tres de las medidas superaron los límites establecidos para el valor del desplazamiento.

e)D.F. 135/1989 del Gobierno de Navarra

Si bien esta normativa no contempla explícitamente las vibraciones producidas por voladuras, debe considerarse de aplicación al incluir genéricamente todo tipo de actividades susceptibles de generar molestias a las personas. Similar a ISO 2631, sólo distingue entre zonas industrial y no industrial, con límites diferentes para los horarios diurno y nocturno.

En base al parámetro LA 60 definido en dicho Decreto, seis de las medidas superaron el mismo. Análoga situación se hubiera dado en la ISO 2631 de no considerar el factor multiplicativo que tomamos.

f)NBE-CA-89

En dos medidas se superó el valor de K=0,1, si bien las voladuras se realizan siempre en horario diurno, con lo cual es admisible hasta K=5, valor muy superior a los obtenidos. Incluso se admite K=10 para impulsos aislados en cualquier área o situación.

**ONDA AEREA**

Prácticamente ninguna normativa establece criterios de prevención para los niveles de onda aérea. Si bien las explosiones son audibles la mayor parte de la energía acústica se encuentra en los infrasonidos, por debajo de los 5 Hz.

El Bureau of mines de EEUU establece unos niveles de seguridad en función de la frecuencia, siendo de 134 dBL para frecuencias medidas a partir de 0,1 Hz. Nuestros valores medidos han oscilado entre 115 y 120 dBL. En una de las medidas obtuvimos 128 dBL.

## LEYES DE TRANSMISION

Las leyes de trasmisión correlacionan la velocidad de partícula con las cargas utilizadas y la distancia al punto de voladura en la forma  $V = K D^\alpha Q^\beta$ . La más usada es la ley cuadrática, de forma:

$$V = K (D/\sqrt{Q})^\alpha$$

donde Q representa la carga equivalente de goma pura, y K y  $\alpha$  constantes a determinar en el estudio de correlación; tales constantes contemplarán las características del terreno.

Una buena disposición experimental para la obtención de leyes fiables sería realizar voladuras de prueba (variando Q) y con numerosos captadores a diferentes distancias para cada voladora. Ninguno de los dos requisitos estuvieron a nuestro alcance. Los resultados obtenidos para las voladuras de producción medidas, aportan las siguientes leyes de trasmisión:

Cantera	Ley	$R^2$
Echauri-Tiebas	$V_v = 23.6 (D/\sqrt{Q})^{-0.79}$	0,29
Alaiz	$V_l = 7.34 (D/\sqrt{Q})^{-0.317}$	0,18
	$V_r = 8.90 (D/\sqrt{Q})^{-0.317}$	0,22

donde los subíndices del parámetro velocidad, se refieren a vertical, longitudinal y resultante, respectivamente.

El bajo coeficiente de determinación invalida su pretendido carácter predictivo.

La figura 1 muestra los gráficos de correlación ( en ejes logarítmicos) para estas tres leyes, con la correspondiente recta de regresión.

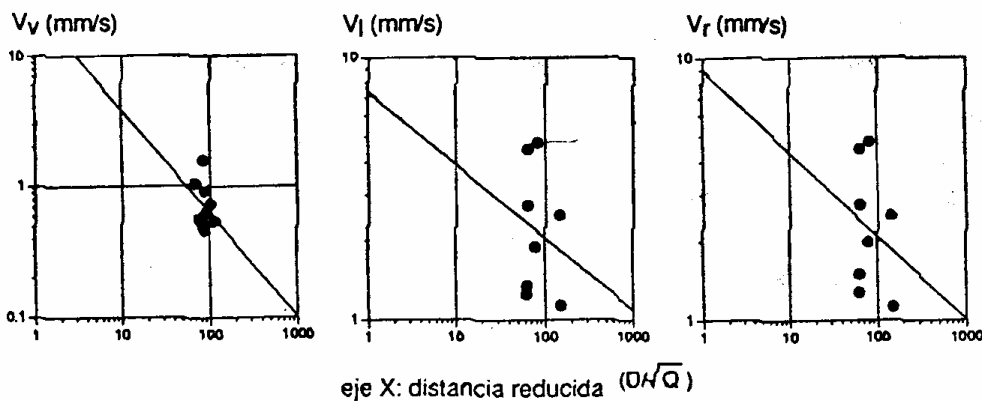


Fig. 1 gráficos de correlación velocidad-distancia reducida, para las canteras a) Echauri-Tiebas b) y c) Alaiz.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.-Shock and Vibration Handbook  
Cyril M. Harris. McGraw-Hill 1987
- 2.-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
- 3.-Estudio sobre las canteras "La Nueva" y "Muruarte de Feta". Instituto Geológico y Minero de España (IGME) 1987
- 4.-DIN 4150. Parte 3
- 5.-ISO 2631-1-1985. ISO 2631-2-1989
- 6.-UNE 22-381-93
- 7.-O.F. 135/1989 (B.O.N. nº 76. 19 de junio de 1989)
- 8.-NBE-CA-89
- 9.-E.T. 0380-1-85 "Control de vibraciones producidas por voladuras"