



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL

Jesús A. Pascual de Blas - Jefe de Servicio al Cliente

Unión Española de Explosivos, S.A.

1



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL

CONTENIDOS

- **INTRODUCCIÓN**
- **GENERACIÓN DE VIBRACIONES EN VOLADURAS**
- **LEGISLACIÓN VIGENTE (NACIONAL E INTERNACIONAL)**
- **NORMA UNE 22.381.93 “CONTROL DE VIBRACIONES PRODUCIDAS POR VOLADURAS”**
- **MEDICIÓN DE VIBRACIONES. INSTRUMENTACIÓN**
- **CONTROLES Y ESTUDIOS DE VIBRACIONES**
- **ONDA AEREA Y OTROS ASPECTOS LIGADOS A LAS VIBRACIONES EN VOLADURAS**
- **VIBRACIONES GENERADAS POR MEDIOS MECANICOS**

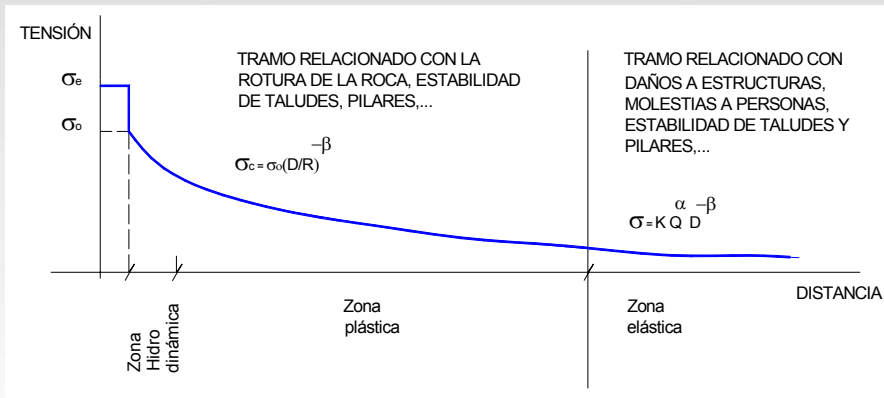
2

INTRODUCCIÓN

- VOLADURAS: TECNICA NECESARIA EN ARRANQUE DE ROCAS
- VIBRACIONES: CONSECUENCIA DIRECTA DE LAS VOLADURAS
- NORMATIVA LEGAL: REGULACIÓN Y CONTROL DE MOLESTIAS Y DAÑOS
- TECNICAS DE CUANTIFICACION Y REDUCCIÓN DE LAS VIBRACIONES GENERADAS
- ***ES POSIBLE VOLAR SIN PRODUCIR MOLESTIAS NI DAÑOS POR CAUSA DE LAS VIBRACIONES***

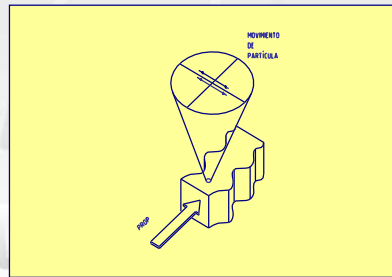
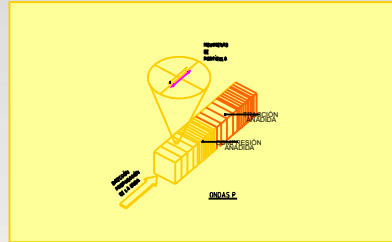
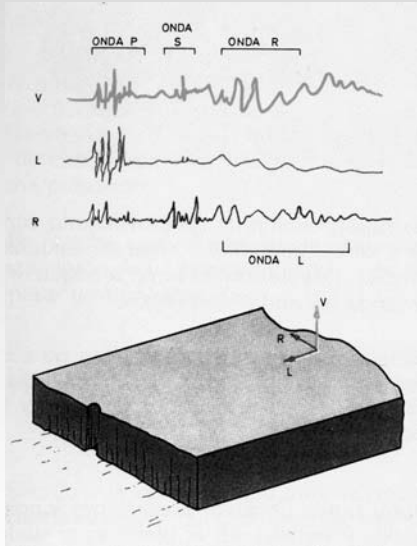
GENERACIÓN DE VIBRACIONES

- DETONACIÓN: Liberación de energía (fragmentación, desplazamiento, vibraciones, onda aérea, etc) 20 - 40%



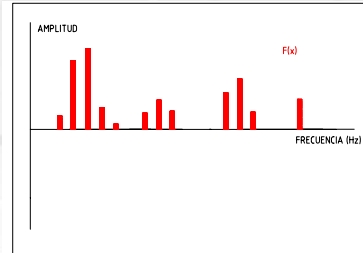
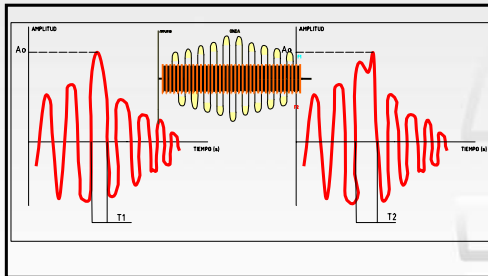
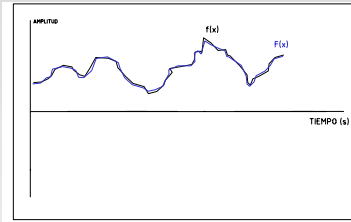
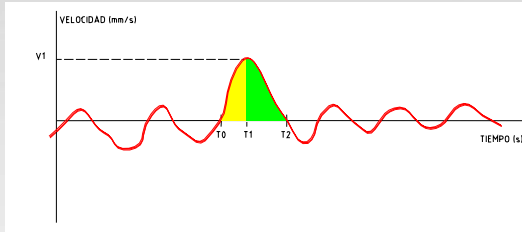
GENERACIÓN DE VIBRACIONES

- **DETONACIÓN:** Liberación de energía (fragmentación, desplazamiento, vibraciones, onda aérea, etc) 20 - 40%
- **VIBRACIONES:** Movimiento espacial y complejo (ondas P, S y Superficiales Love y Rayleigh)



GENERACIÓN DE VIBRACIONES

- **DETONACIÓN:** Liberación de energía (Fragmentación, Desplazamiento, Vibraciones, Onda aérea, etc) 20-40%
- **VIBRACIONES:** Movimiento espacial y complejo (ondas P, S y Superficiales Love y Rayleigh)
- **CARACTERÍSTICAS:** Amplitud, Frecuencia y Duración



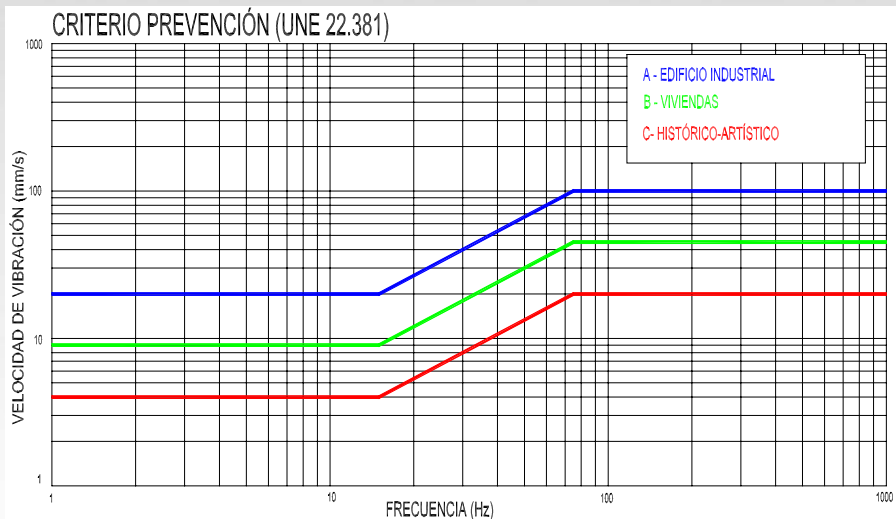
GENERACIÓN DE VIBRACIONES

- **DETONACIÓN:** Liberación de energía (Fragmentación, Desplazamiento, Vibraciones, Onda aérea, etc) 20-40%
- **VIBRACIONES:** Movimiento espacial y complejo (ondas P, S y Superficiales Love y Rayleigh)
- **CARACTERÍSTICAS:** Amplitud, Frecuencia y Duración
- **TRANSMISIÓN:**
 - Amplitud y Frecuencia decrecen con la distancia
 - Reflexión y refracción en juntas, capas, agua, etc
 - Diferente según el tipo de terreno



LEGISLACION VIGENTE

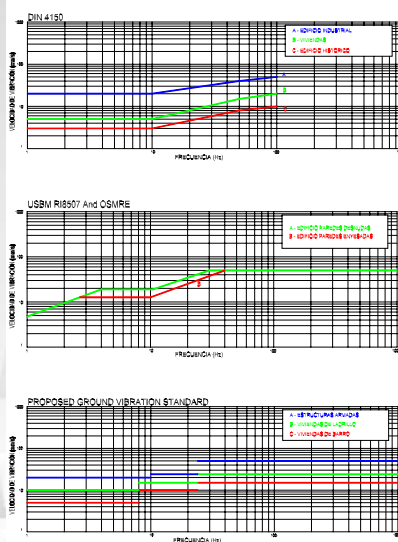
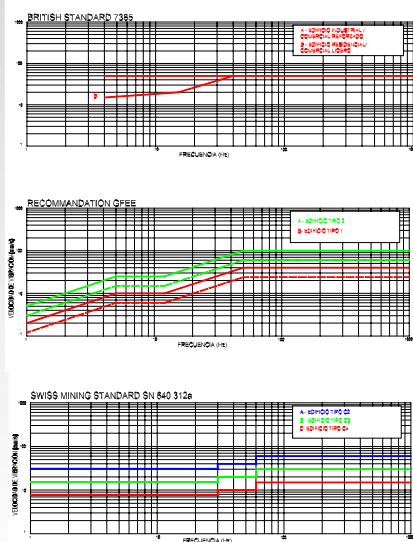
- **LEGISLACIÓN NACIONAL: RGNBSM; Capítulo X Explosivos; ITC 10.3.01, Vol. Especiales: “La Autoridad puede exigir la aplicación de la Norma UNE 22.381.93”**



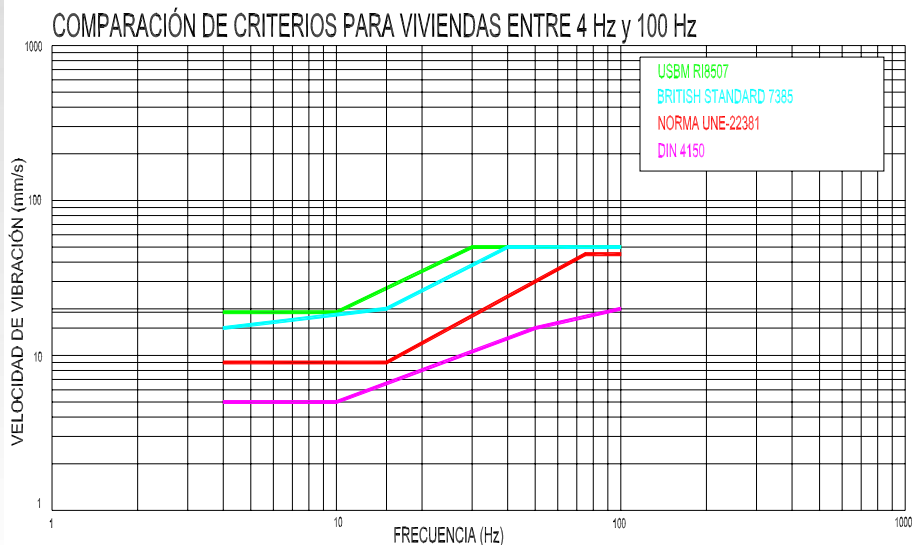
LEGISLACION VIGENTE

- **LEGISLACIÓN NACIONAL:** RGNBSM; Capítulo X Explosivos; ITC 10.3.01, Vol. Especiales: “La Autoridad puede exigir la aplicación de la Norma UNE 22.381.93”
- **LEGISLACION INTERNACIONAL:**
 - Alemania: DIN 4150
 - Francia: GFEE
 - Gran Bretaña: BS 7385
 - Suecia: SS 460 48 66
 - Portugal: NP-2074
 - ISO 2631
 - EEUU: USBM R18507
 - Borrador Norma Europea

13



14



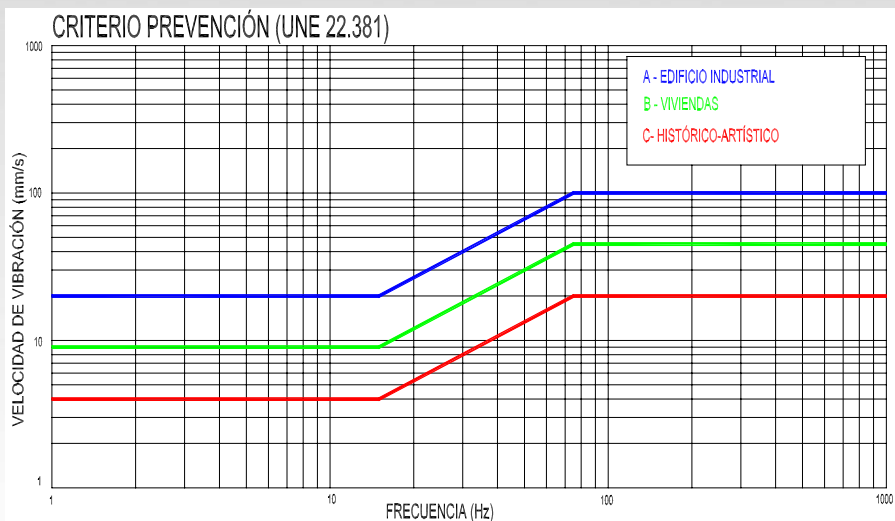
LEGISLACION VIGENTE

- **LEGISLACIÓN NACIONAL:** RGNBSM; Capítulo X Explosivos; ITC 10.3.01, Vol. Especiales: “La Autoridad puede exigir la aplicación de la Norma UNE 22.381.93”
- **LEGISLACION INTERNACIONAL:**
 - Alemania: DIN 4150
 - Francia: GFEE
 - Gran Bretaña: BS 7385
 - Suecia: SS 460 48 66
 - Portugal: NP-2074
 - ISO 2631
 - EEUU: USBM R18507
 - Borrador Norma Europea
- **LEGISLACIONES LOCALES**

NORMA UNE 22.381.93

- **ESTRUCTURAS:** Grupos I, II y III. Resto NO
- **PARÁMETROS DE LA VIBRACIÓN:** Velocidad pico y Frecuencia principal (Semiperiodo, FFT y Pseudoespectro de velocidad de respuesta)
- **CRITERIO DE PREVENCIÓN DE DAÑOS (molestias):** V y F

17

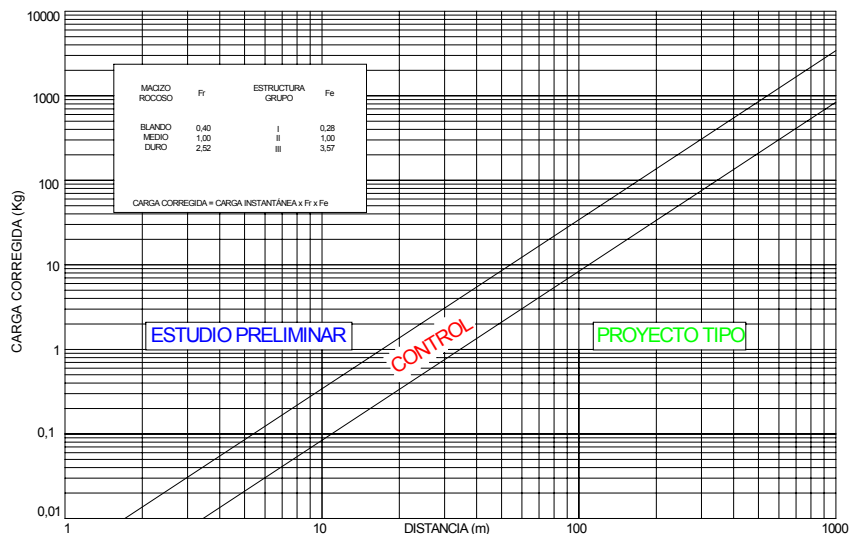


18

NORMA UNE 22.381.93

- **ESTRUCTURAS:** Grupos I, II y III. Resto NO
- **PARÁMETROS DE LA VIBRACIÓN:** Velocidad pico y Frecuencia principal (Semiperiodo, FFT y Pseudoespectro de velocidad de respuesta)
- **CRITERIO DE PREVENCIÓN DE DAÑOS** (molestias): V y F
- **TIPO DE ESTUDIO REQUERIDO:** Estructura, Roca, Q y D
 - Estimación de vibración: $v = (Fr/924.79)Q/D^2 \cdot 10^6$
 - Definición de tabla carga-distancia

19



20



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL

NORMA UNE 22.381.93

- **ESTRUCTURAS:** Grupos I, II y III. Resto NO
- **PARÁMETROS DE LA VIBRACIÓN:** Velocidad pico y Frecuencia principal (Semiperiodo, FFT y Pseudoespectro de velocidad de respuesta)
- **CRITERIO DE PREVENCIÓN DE DAÑOS (molestias):** V y F
- **TIPO DE ESTUDIO REQUERIDO:** Estructura, Roca, Q y D
 - Estimación de vibración: $v = (Fr/924.79)Q/D^2 \cdot 10^6$
 - Definición de tabla carga-distancia
- **INSTRUMENTACIÓN:**
 - Frecuencia de muestreo 2 - 200 Hz
 - Velocidad pico: 1 - 100 mm/s

21



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL

SISMOGRAFO MULTISENS V ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Sísmica

- Rango: hasta 127 mm/s, autorango
- Niveles de disparo: de 0.25 a 127 mm/s
- Análisis de frecuencias: Frecuencia pico, con los criterios USBM, OSMRE, DIN 4150, UNE 22381 y otros, con informe rápido.
- Precisión: calibrado a menos de 1% de la referencia B&K a 15 Hz.

Onda aérea

- Rango: de 100 a 142 dB (2 a 25 Pa).
- Niveles de disparo: de 106 a 142 dB (4 a 250 Pa)
- Precisión: calibrado a menos de 0,4 dB de la referencia B&K a 30 Hz.

General

- Frecuencia de muestreo: 1024 muestras por segundo a canal, en todos los modos de medida.
- Respuesta en frecuencia: Todos los canales de 2 a 250 Hz (-3dB), independientemente del tiempo de registro.
- Modos de registro: Manual, registro único, registro continuo y automático.
- Tiempos de registro automáticos: de 1 a 20 segundos.
- Almacenamiento de registros: 40 registros de 1 segundo, incluyendo todos los parámetros del registro. Memoria de estado sólido, con más de 10 años de vida de almacenamiento.

Funciones especiales

- Unidades: métricas o imperiales, dB0 lineal Pa
- Temporizador: Temporizador de encendido y apagado programable
- Identificación de los registros: identificación numérica de los registros programables desde el sísmógrafo
- Batería: vida de 10 días (240 h) en modo de monitorización. Batería recargable
- Dimensiones: 8,1 x 0,2 x 16 cm
- Peso: 1,4 Kg
- Temperatura: de -20 a 60°C

Date/Time: Vert at 09:31:35, March 2, 1997
Trigger Source: Geo: 12.7 mm/s
Range: Geo: 254 mm/s
Record Time: 1.0 sec at 1024 sps
Job Number: 1

Serial Number: BBS176 V 3 11-3 11 EVERLENT 01
Battery Level: 6.0 Volts
Calibration: February 24, 1997 by Instalmed Inc.
File Name: C0005A17.A01

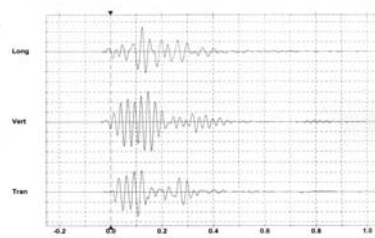
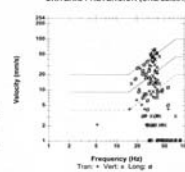
Notes: BEST CONSTRUCTION
Client: 700 Feet south of blast
Location: Cloud Base
Notes: Production (Blast, Ranging)

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long
PPV	47.6	62.0	49.8 mm/s
20 Freq	32	37	32 Hz
Time (Ref to Trig)	0.106	0.146	0.121 sec
Peak Acceleration	0.368	1.48	1.00 g
Peak Displacement	0.226	0.273	0.250 mm
Dynamic Geo Cal.	Passed	Passed	Passed

Peak Vector Sum: 77.4 mm/s at 0.121 sec

CRITERIO PREVENCIÓN (UNE 22.381)



Time Scale: 0.10 sec/Div. Amplitude Scale: Geo: 20.0 mm/s/Div
Trigger: a - - - - - 4
Printed: June 15, 1999 01:43:14
Format Copyrighted 1988-1999

22

INSTRUMENTACION

- TIPO DE MEDIDOR:
 - Galgas: Desplazamiento; altas frecuencias, baratos
 - Geófonos: Velocidad; frecuencia voladuras
 - Piezoeléctricos: Aceleración; todas las frecuencias, muy caros
- REGISTRO CONTINUO
- ANALISIS DE ONDAS (FFT)
- FRECUENCIA MUESTREO
- ERGONOMIA

23

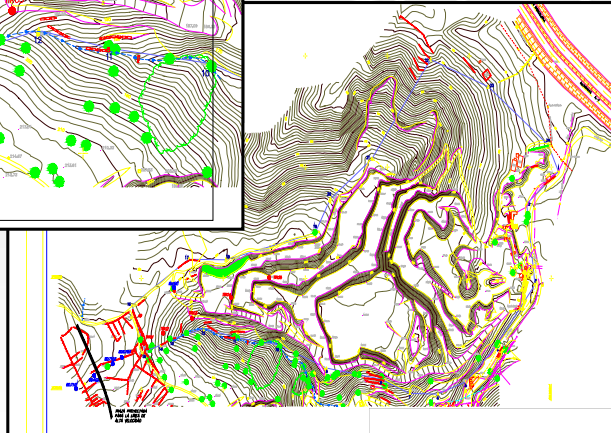
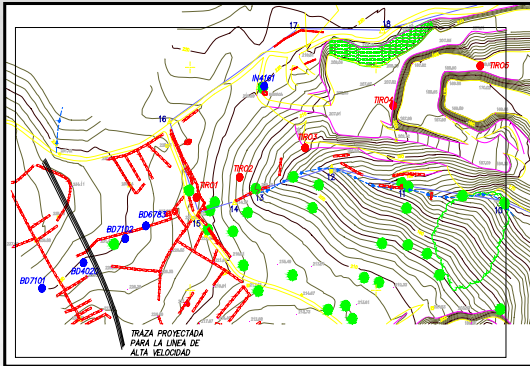
CONTROLES Y ESTUDIOS

- CONTROL: Velocidad de vibración de una voladura real
- ESTUDIO: Determinación de la transmisividad del terreno:
 - Cálculo estadístico y empírico (valores medidos)
 - Ley de amortiguación velocidad: $V = K_v \cdot Q^a \cdot D^{-b}$
 - Ley de amortiguación frecuencia: $F = K_f \cdot D^{-c}$
 - Velocidad límite
 - Tabla carga-distancia

24



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL



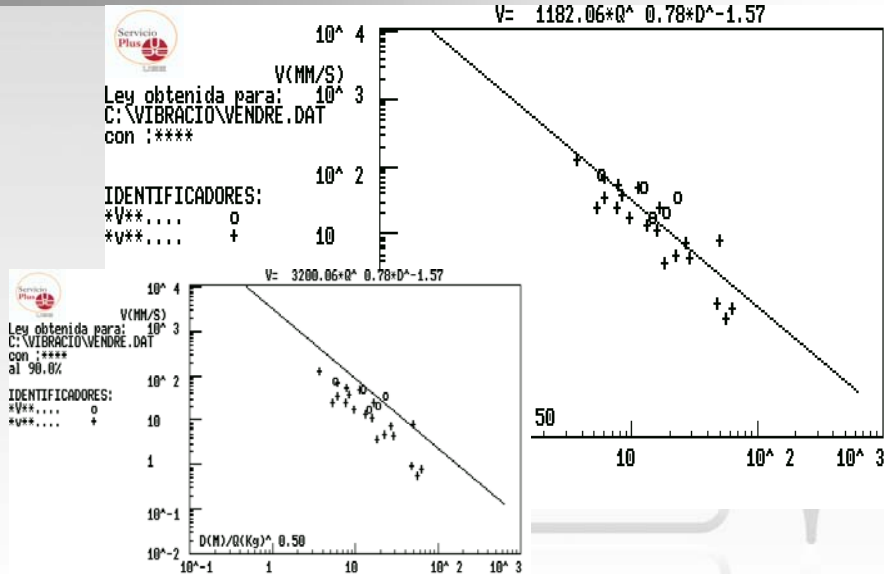
25



LAS VIBRACIONES EN LAS VOLADURAS. MEDICIÓN, CONTROL Y REGULACIÓN LEGAL

TIPO	T	FIP	V	FVP	L	FIP	O	FoP	FoD	FDC	V _{máx}	Q	D	A	S	Tiempo	Dif. Tie.
V	27.70	57.0	36.30	23.0	70.20	30.0	75.80	4.10	3.25	45.8L	70.20	161.00	148.00	-120	BD6783	14:21:06	
V	18.00	20.0	24.60	30.0	22.80	18.0	67.30	4.90	3.25	9.6V	24.60	161.00	173.00	-120	BD7102	14:21:44	00:00:38
V	19.81	26.0	13.72	28.0	29.46	32.0	56.37	4.00		1.0L	29.46	161.00	223.00	-120	BD4020	14:23:19	00:02:13
V	19.80	32.0	26.90	39.0	50.70	37.0	37.80	5.30	3.37	44.3L	50.70	161.00	273.00	-120	BD7101	14:21:49	00:00:05
V	46.70	18.0	82.30	39.0	108.00	5.0	250.00	8.00	2.50	1.8L	108.00	161.00	68.00	127	IN4161	14:25:31	00:04:25
T5	1.27	15.0	1.02	16.0	0.89	14.0	10.00	73.00	3.50	11.0T	1.27	75.00	387.00	s/s	BD6783	14:33:29	
T5	0.98	14.0	0.86	13.0	0.63	13.0	14.00	7.80	4.50	10.7T	0.98	75.00	412.00	s/s	BD7102	14:34:07	00:00:38
T5	0.57	11.0	0.70	13.0	0.57	16.0	6.32	22.00		14.0V	0.70	75.00	462.00	s/s	BD4020	14:35:41	00:02:12
T5	0.89	12.0	1.02	32.0	0.76	22.0	3.50	22.00	4.25	12.0V	1.02	75.00	512.00	s/s	BD7101	14:34:11	00:00:04
T5	3.62	15.0	3.62	19.0	5.91	14.0	16.00	85.00	5.80	13.8L	5.91	75.00	234.00	s/s	IN4161	14:37:54	00:04:25
T4	0.63	23.0	0.51	30.0	0.51	18.0	11.00	85.00	2.00	11.0T	0.63	100.00	290.00	s/s	BD6783	14:38:05	
T4			No registr								0.00	100.00	315.00	s/s	BD7102	14:38:43	00:00:38
T4			No registr								0.00	100.00	365.00	s/s	BD4020		
T4	0.63	39.0	0.76	32.0	0.51	51.0	2.75	57.00	1.00	8.0V	0.76	100.00	415.00	s/s	BD7101	14:38:47	00:00:04
T4	7.37	28.0	2.79	18.0	2.67	39.0	30.00	NA	4.50	23.0T	7.37	100.00	140.00	s/s	IN4161	14:42:29	00:04:24
T3	14.90	51.0	9.02	37.0	11.40	51.0	53.30	17.00	2.00	71.7T	14.90	150.00	185.00	s/s	BD6783	14:48:02	
T3	4.38	57.0	3.57	13.0	4.83	39.0	40.00	18.00	6.70	15.2T	4.83	150.00	210.00	s/s	BD7102	14:48:40	00:00:38
T3	3.62	73.0	3.68	22.0	6.03	47.0	28.25	15.00		13.0L	6.03	150.00	260.00	s/s	BD4020	14:50:14	00:02:12
T3	6.10	37.0	7.11	57.0	9.52	47.0	19.00	15.00	3.50	61.0L	9.52	150.00	310.00	s/s	BD7101	14:48:44	00:00:04
T3	37.60	22.0	89.40	30.0	88.40	4.0	214.00	27.00	2.00	22.3V	89.40	150.00	70.00	s/s	IN4161	14:52:27	00:04:25
T2	23.20	57.0	30.90	57.0	68.80	32.0	82.80	57.00	47.00	31.0L	68.80	225.00	110.00	s/s	BD6783	14:55:10	
T2	11.20	34.0	23.30	43.0	16.90	21.0	53.00	22.00	5.70	13.7V	23.30	225.00	135.00	s/s	BD7102	14:55:48	00:00:38
T2	13.72	47.0	6.86	30.0	17.78	37.0	31.70	11.00		35.0L	17.78	225.00	185.00	s/s	BD4020	14:57:23	00:02:13
T2	11.20	39.0	14.10	43.0	32.60	39.0	22.50	39.00	7.20	54.2L	32.60	225.00	235.00	s/s	BD7101	14:55:53	00:00:05
T2	23.90	16.0	14.00	22.0	44.70	9.0	190.00	18.00	7.70	11.1L	44.70	225.00	86.00	s/s	IN4161	14:59:35	00:04:25
T1	62.40	24.0	149.00	39.0	163.00	26.0	411.00	73.00	50.00	1.75L	163.00	300.00	60.00	s/s	BD6783	15:03:36	
T1	31.75	11.0	31.75	43.0	31.75	39.0	237.00	57.00	5.00	24.00	31.75	300.00	85.00	s/s	BD7102	15:04:14	00:00:38
T1	38.61	37.0	27.43	37.0	50.80	26.0	126.20	64.00		1.0L	50.80	300.00	135.00	s/s	BD4020	15:05:48	00:02:12
T1	17.70	47.0	42.80	57.0	64.60	32.0	84.00	57.00	40.70	30.0L	64.60	300.00	185.00	s/s	BD7101	15:04:18	00:00:04
T1	31.50	20.0	21.80	15.0	31.50	18.0	78.00	39.00	5.20	25.0T	31.50	300.00	123.00	s/s	IN4161	15:08:01	00:04:25

26

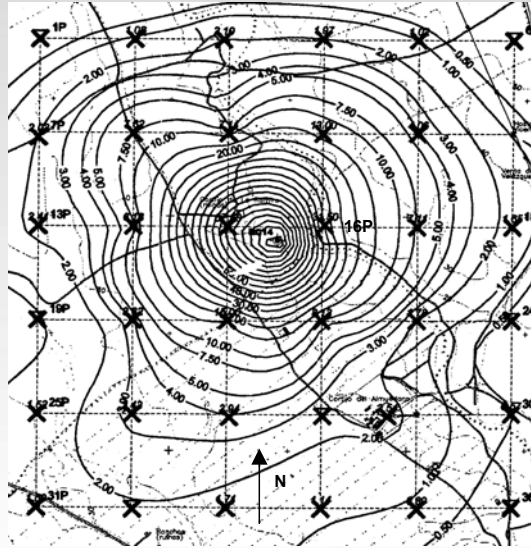


27

CONTROLES Y ESTUDIOS

- **CONTROL:** Velocidad de vibración de una voladura real
- **ESTUDIO:** Determinación de la transmisividad del terreno:
 - Cálculo estadístico y empírico (valores medidos)
 - Ley de amortiguación velocidad: $V = K_v \cdot Q^a \cdot D^{-b}$
 - Ley de amortiguación frecuencia: $F = K_f \cdot D^{-c}$
 - Velocidad límite
 - Tabla carga-distancia
- **ESTUDIOS ESPECIALES:**
 - Estudio estructural
 - Estudio bidimensional (mapas isolíneas de velocidad)

28



ONDA AEREA

- ONDA AEREA Y RUIDO

MEDIDAS DE PREVENCION

- VIBRACIONES: diseño, secuenciación
- ONDA AÉREA: diseño, escape gases y explosivo al aire

MEDIOS MECANICOS

- Vibración en función del tamaño de equipo (energía)
- Acción continua
- Bajas frecuencias