

# ENSAYOS DE MOVIMIENTO DE PARTICULAS DEBIDO A VIBRACION SISMICA

Pacífico R. Concetti

WesternGeco, Avda. Roque Sáenz Peña 1149, Piso 11, Buenos Aires, Argentina, [pconcetti@slb.com](mailto:pconcetti@slb.com)

**Keywords:** Velocidad, Desplazamiento de Partículas vs. Frecuencia, Criterio, Prevención.

## **Abstract: Testing of Particle Displacement as a Result of Vibrator Action**

*Town's public opinion, government- town authorities and Oil Companies management are sensitized to the vibrator seismic operations in urban areas and other critical areas. WesternGeco has experience in the measurement of particle movement and test and comparison justifications of vibrator operations before government and private agencies*

*To conduct these studies, we have performed a variety of Drive vs. Distance Tests using our Everlet Vibra-Tech in order to measure "Velocities vs. Frequencies" to be compared within the instrument to international standard maximum tolerance curves, such as the USBMRI 8508 & OSMRE, recommended by the "United States Bureau of Mines (USBM)" and the "United States Federal Office of Surface Mining and Reclamation Enforcement (OSMRE)", the German "DIN 4150" standard and the Spanish "Criterio de Prevención (UNE 22381)".*

## **Introducción**

A solicitud de Clientes y autoridades locales y nacionales, WesternGeco ha realizado estudios de Impacto Ambiental por acción de Vibradores, en áreas consideradas críticas. La realización de un proyecto sísmico dentro de zonas urbanas o suburbanas, generalmente se encuentra con una opinión pública adversa suponiendo daños sobre sus bienes inmobiliarios y los representantes públicos se encuentran por lo tanto sensibilizados y necesitan pruebas irrefutables sobre el impacto ambiental que producirán la acción del barrido sísmico sobre construcciones civiles tales como: viviendas, monumentos, cañerías de todo tipo, etc. También en áreas tales como: Aeropuertos, Viñedos, Manzanales, etc., razones de seguridad, falsas expectativas, intereses sectarios necesitan ser refutados por una demostración científica. Muchos proyectos sísmicos fueron ejecutados luego de obtener los permisos de "Medio Ambiente" municipales-provinciales-nacionales que ensayos similares a los aquí relatados justificaron.

El estudio consiste en medir "Velocidad de Movimientos de Partículas de Terreno" debido a la acción de los Vibradores, Tránsito de Camiones en Ruta y otros Generadores de micro sismos.

Los valores de velocidad obtenidos se compararon en el mismo instrumento con curvas de máxima tolerancia, correspondientes a normas internacionales, que aconsejan para cada tipo de construcción, cual es el límite de velocidad de movimiento de partícula del terreno que la sostiene es capaz de soportar, en función de la frecuencia (medida en hertzios) de la onda sísmica interviniente. Las Normas empleadas fueron: "USBMRI 8508 & OSMRE", aconsejada por la: "United States Bureau of Mines (USBM)", la "United States Federal Office of Surface Mining and Reclamation Enforcement (OSMRE)", la alemana "DIN 4150" y la española: "Criterio Prevención (UNE 22381)"

Nuestra experiencia en medir movimientos de partículas y de justificar con ensayos y comparaciones ante entidades gubernamentales y privadas, operaciones con Vibradores fueron entre otras las siguientes:

Zonas Urbanas: Maracaibo – Venezuela, General Roca –Río Negro, Cutralcó y Plottier- Neuquén, Barrio Prospero Palazo y suburbios de Comodoro Rivadavia – Chubut.

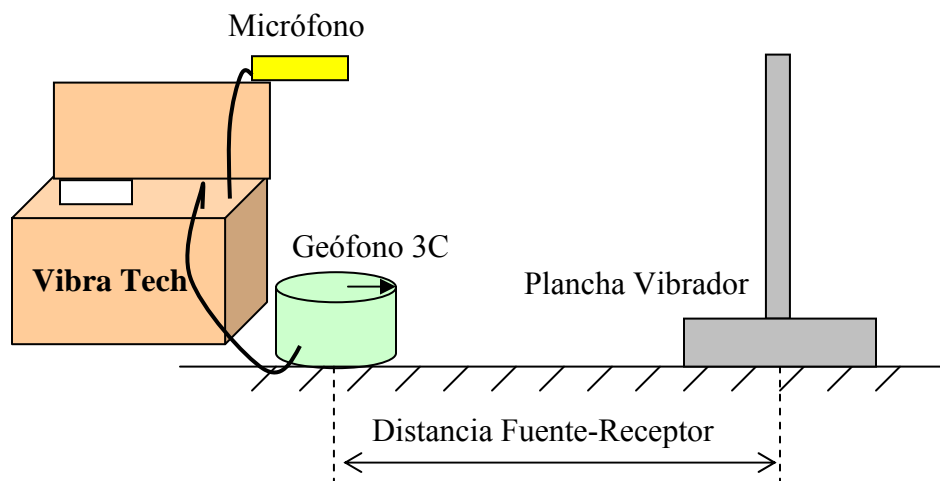
Aeropuertos: de Comodoro Rivadavia y del Neuquén.

Otros: Manzanales de Neuquén y Río Negro, etc., construcciones civiles cercanas a tránsito de Yacimientos, etc.

## **El Instrumento de Medida**

Para los ensayos mencionados hemos empleado el Everlet V de Vibra-Tech Engineers que es esencialmente una microcomputadora con memoria sólida, que computa los datos recibidos externamente desde un Geófono de Velocidad de Tres Componentes y un Micrófono de Presión. Tanto el Geófono 3C como el micrófono son colocados sobre el Punto donde se quiere medir el movimiento de partículas y la energía del ruido recibido.

A los diferentes eventos los hemos iniciado automáticamente, "seteando" al Everlet para que comience la toma de datos cuando el nivel de las vibraciones recibidas por el Geófono 3C supere un determinado nivel (Source: Geophone; Trigger Level: determinado p/cada evento)



**Figura 1:** Esquemático de la operación del Everlet

En general el ó los Vibradores disparan la adquisición del Everlet al excitar al Geófono 3C, y este adquiere c/u de las ondas recibidas en c/componente del Geófono 3C y del Micrófono durante el tiempo establecido (Record Time: especificado durante el “seteo” del Vibra-Tech)

Al concluir el evento, el Everlet muestra:

- En su “Display” el valor del vector máximo pico de velocidad: PVS (Peak Value Sum: Suma vectorial de los valores picos de c/componente que produce el máximo valor de Velocidad durante el tiempo de adquisición). Ejemplo:  
PVS: 13.00 mm/s  
Micro: 117.8 dB
- Por la impresora el Everlet imprimirá una información más detallada y dependiente de la selección realizada:

| Everlet Ve             |                       |        |        |      |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|------|
| SERIAL #               | 2961 V 5.42           |        |        |      |
| CLIENT                 | XXXXXXXX              |        |        |      |
| LOCATION               | XXXXXXXX              |        |        |      |
| USER                   | WesternGeco           |        |        |      |
| TRIGGER SOURCE         | Geo                   |        |        |      |
| TRIGGER LEVEL          | 0.52 mm/s             |        |        |      |
| RECORD TIME            | 10 s                  |        |        |      |
| NOTES:                 | Prueba Vibros         |        |        |      |
| SCALED DISTANCE        | 1.7 (11.0 m; 40.0 Kg) |        |        |      |
|                        | TRAN                  | VER    | LONG   |      |
| PPV                    | 6.22                  | 8.51   | 10.92  | mm/s |
| ZC Freq                | 20                    | 28     | 43     | Hz   |
| TIME                   | 688                   | 1474   | 2471   | ms   |
| PK ACCEL               | 0.21                  | 0.21   | 0.28   | g    |
| PK DISP 0.0168         | 0.052                 | 0.063  | 0.069  | mm   |
| Dynamic Geo Cal Passed | Passed                | Passed | Passed |      |
| Peak Vector Sum        | 13.00 mm/s at 2471 ms |        |        |      |

**Figura 2:** Ticket Impreso del Evento A (medido en C.Rivadavia)

- Accediendo desde una PC al Everlet, utilizando el programa VT567 (Vibra-Tech PC program), podemos obtener el total de la información de cada evento. El que mostramos a continuación es el denominado: “Blast Event Summary” y es prácticamente el mismo que el mostrado por impresora.

Cuando es necesario registrar muchos eventos, la impresora no solo representa un consumo de batería muy grande sino que a su vez demora la prosecución de tareas.

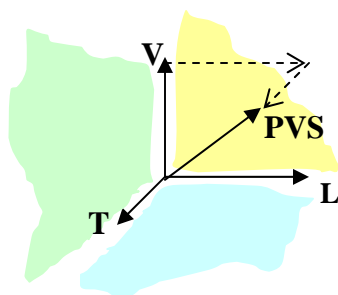
| BLAST EVENT SUMMARY WINDOW                             |                               |            |                       |       |            |
|--|-------------------------------|------------|-----------------------|-------|------------|
| EVENT TYPE   | : Full Waveform               |            |                       |       |            |
| SERIAL NO.   | : 2088 V5.42-EVVe             | TRAN       | VERT                  | LONG  |            |
| CODE   | : D0887Z9Z.KBV                | PPV        | 10.03                 | 24.38 | 21.84 mm/s |
|  |                               | ZC FREQ    | 64                    | 57    | 47 Hz      |
| TIME   | : Long. at 16:09:47           | FFT FREQ   | 49                    | 61    | 43 Hz      |
| DATE   | : Apr 15, 2000                | TIME       | 4626                  | 3712  | 3347 ms    |
| TRIG SOURCE  | : Geo                         | ACCEL      | 0.65                  | 0.84  | 0.97 g     |
| TRIG LEVEL   | : 2.00 mm/s                   |            |                       |       |            |
| RECORD TIME  | : 8 second(s)                 | PK DISP:   |                       |       |            |
| DATA FORMAT  | : Format 3                    | 1/4 WAVE   | 0.022                 | 0.057 | 0.068 mm   |
| LOCATION:  | Venezuela-Maracaibo           | PVS        | 31.38 mm/s at 3687 ms |       |            |
| CLIENT   | : Western Geophysical         | MICROPHONE | MIC CHANNEL OFF       |       |            |
|  |                               | PK AIR     | N/A                   |       |            |
| USER   | : P345                        | ZC FREQ    | N/A                   |       |            |
| NOTES  | : Vibros Qty 1 8-80hz         | 12seg log  |                       |       |            |
| SC-DIST.:  | 0.0 (2.0 m, 29000.0 kg/delay) |            |                       |       |            |
| PRESS F10 FOR MENU PG-UP = PREVIOUS PG-DN = NEXT EVENT |                               |            |                       |       |            |

**Figura 3:** Display de PC de un Evento medido en Venezuela, utilizando el programa VT567

## ANALISIS DE LAS SEÑALES ADQUIRIDAS

### Valores Picos de Amplitudes

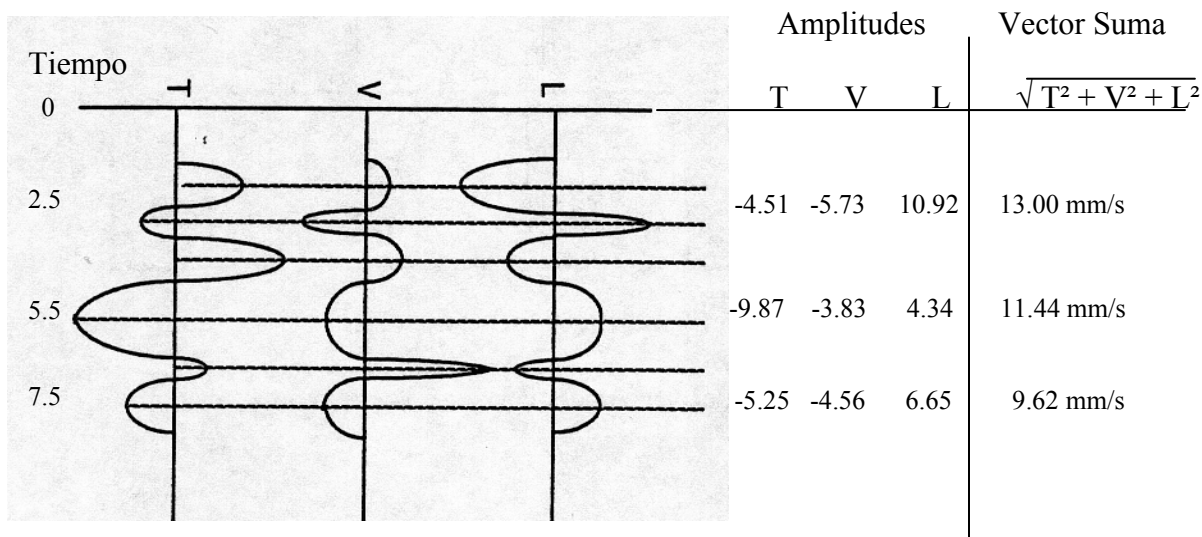
En las Figuras 2 y 3, figuran los Valores Picos de Velocidades: PPV (Peak Particle Velocity) alcanzados por cada Geófono componente (TRAN: Transversal, VERT: Vertical, LONG: Longitudinal) Estos valores picos son los máximos de cada componente y generalmente ocurren a diferentes tiempos y frecuencias de vibración, tal como se muestra en las filas de “TIME” y “ZC FREQ”. En cambio el valor “PVS” (Peak Vector Sum) es el valor pico máximo del Vector Suma de las tres componentes.



**Figura 4:** Diagrama vectorial 3D

T, V y L son los “valores Picos” ó Amplitudes instantáneas de los vectores de velocidad: Transversal, Vertical y Longitudinal. PVS es la Amplitud del Vector Suma de los anteriores y que trigonométrica mente se lo calcula de la siguiente forma:

$$PVS = \sqrt{T^2 + V^2 + L^2}$$



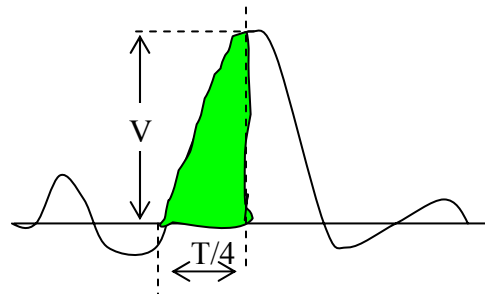
**Figura 5:** Valores instantáneos de las señales de velocidad recibidas en c/Geófono

En la Figura 5 se muestra, a manera de ejemplo, las señales analógicas recibidas en c/ Componente de Velocidad que corresponden a c/u de los tres ejes coordenados: Transversal, Vertical y Longitudinal. Tomando tres tiempos diferentes, calculamos el Vector Suma como la suma vectorial de las Amplitudes Instantáneas (Picos) de las componentes vectoriales. El PVS es la mayor amplitud del vector suma obtenida durante la duración del Evento y este fue:

PVS = 13.00 mm/s y ocurrió a los 2,5 segundos del comienzo del Evento.

También en las Figuras 2 y 3 se observan valores picos máximo de aceleración (medidos en unidades de gravedad: g) y de desplazamiento de partículas, estos valores son obtenidos de aproximaciones gráficas sobre la señal de velocidad para cada componente.

Vemos por ejemplo, que los valores de Desplazamiento se expresan con la indicación de: PK DISP: ¼ WAVE para expresar el modo con que este valor es determinado. Si se considera que ¼ de ciclo de la señal sinusoidal de velocidad, es un triángulo rectángulo, entonces son válidas las siguientes aproximaciones:



**Figura 6:** Método gráfico de cálculo

Desplazamiento (D) = Velocidad x Tiempo = Área de un cuarto de senoide de velocidad:

$$D = \text{Área del triángulo} = \text{base} \times \text{altura} / 2 = T/4 \times \text{Pico Velocidad} / 2 = \text{Pico Velocidad} \times T/8$$

### Nivel de Presión de Aire

El Micrófono fue “seteado” para capturar presión de aire con peso Lineal, sin filtrar la presión continua (DC) que es la que se filtra para obtener un valor de tolerancia del oído humano (correspondería a la selección C en el Everlet) Este peso es utilizado para medir cargas sobre las estructuras. El valor máximo mostrado en la Figura 7 se produjo a los: 4145 milisegundos de iniciado el evento y el “display” indicó: PEAK AIR = 117.8 dB (L) Finalmente se desestimó la utilización del micrófono, debido a lo poco significativa y monótona de las respuestas obtenidas:

- Dentro de un radio de 5 metros alrededor del Vibrador, los niveles de ruido ambiente provocado por un vibrador en operación de vibrado, superan el límite permitido para una exposición permanente del oído humano: 86 dB (Selección “C” de Peso Micrófono) Mas allá de este radio los niveles se mantienen por debajo de este valor dependiendo de la orientación del viento.

- Para ese mismo radio de 5 metros, el nivel de presión del aire cuando uno ó más vibradores se encuentran en operación de vibrado, supera en algunos casos los 120 DB, para luego caer por debajo de 110 dB para distancias de 10 metros.

### Distancia y Peso

Hemos utilizado esta selección del Everlet (que se presenta exactamente antes de adquirir el evento), para indicar:

Distance: Colocamos la distancia del Geófono al Centro de Emisión de la Fuente de Energía (si se tratase de un solo Vibrador, es la distancia hasta el borde de la Plancha del Vibro, si existe más de un Vibrador, entonces representa la distancia al centro del dispositivo de emisión) En este caso (ejemplo) se trata de un solo vibrador y el Geófono se encuentra colocado a 5 metros de la Plancha del Vibrador.

Weight: Colocamos la Fuerza con que hemos preseteado a nuestros Vibradores. En este caso: 80 Kg./delay indica que el Vibrador operó al 80% del valor de su Hold Down Weight)

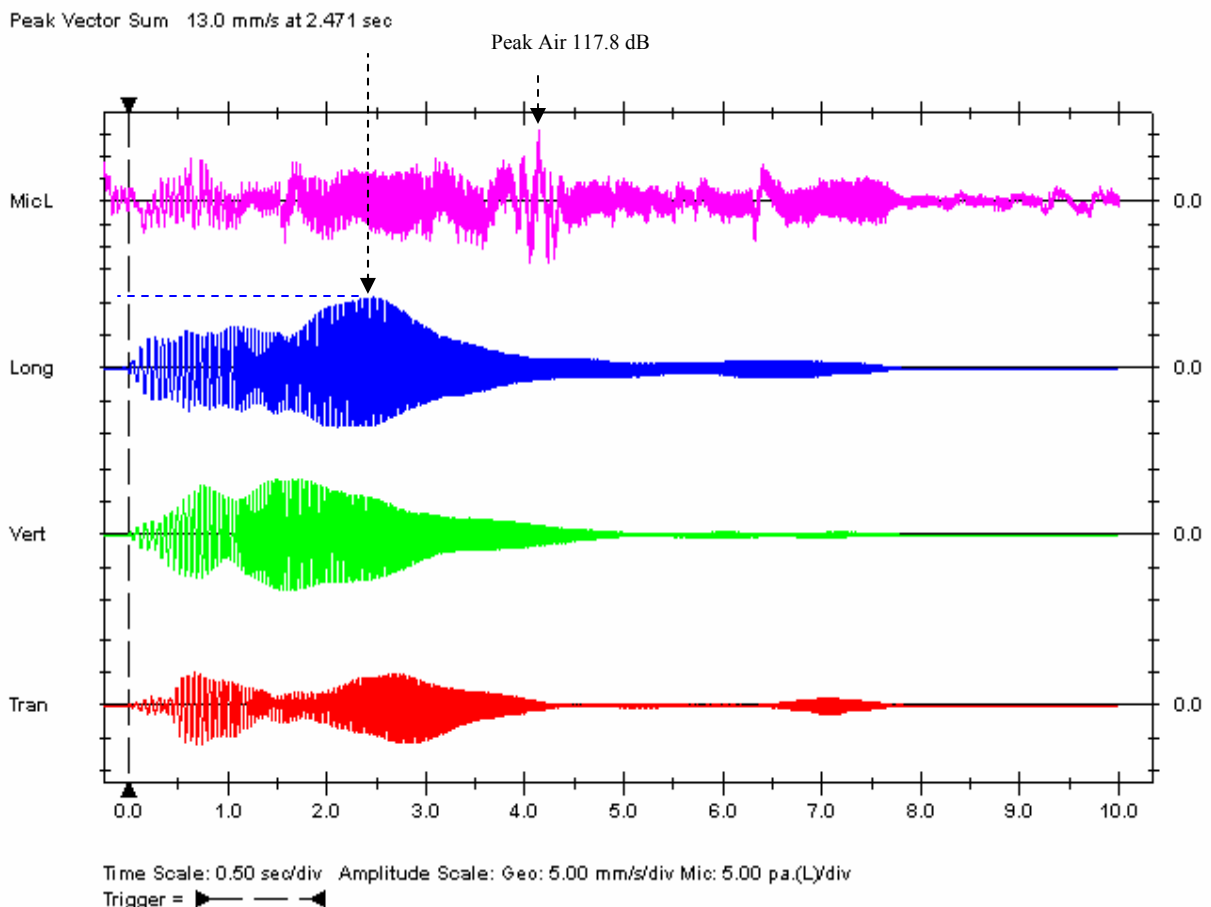
Scale Distance: Representa a un valor computado con el dato de “distance” y sirve para escala de ploteo.

### Programa BlastWare Serie III

Este es otro programa para correr en PC proporcionado por Everlet, que corre bajo “Windows” y permite un mejor manejo de la información de los Eventos, ya grabados dentro de esta PC. Sin entrar en detalles de la operación del programa, veremos los procesamientos más significativos que hemos adoptado durante nuestra experiencia y utilizamos para explicar el Evento tomado como ejemplo: (Prueba Vibros de 60000 lb, Evento A, 1 Vibro 80 % de Fuerza a 5 metros de distancia)

### Sismograma del Evento

En la Figura 7 vemos las señales captadas por el Micrófono de Presión y por c/u de los Geófonos Componentes durante el total del tiempo de adquisición, que fue de 10 segundos aunque se observa que el Barrido del Vibrador fue de menor duración (el Sweep Length fue de 8 segundos)



**Figura 7:** Sismograma del Evento A

El Everlet memoriza los últimos 0,25 segundos antes del inicio del Evento, para tener una evaluación de señal – ruido previo al mismo. Tener en cuenta que el Evento se dispara cuando el nivel del desplazamiento de

partículas supera un determinado umbral, que el Vibrador comienza su barrido con un “taper” y entonces este “pre-evento” nos permite aproximarnos al real comienzo de la emisión de nuestra Fuente de Energía. La escala de Amplitud de Velocidad, computada automáticamente, es de 5 mm/división y podemos comprobar que los valores picos para c/componente coinciden con los valores numéricos mostrados en la Figura 2. El tener una visión completa y analógica de las diferentes componentes de velocidad durante el total de la duración del evento, nos permite una evaluación más criteriosa de la respuesta del terreno ensayado, detectando: duración de las magnitudes importantes, coincidencias de altas amplitudes en las componentes, etc.

### CRITERIOS DE PREVENCIÓN

Hemos utilizado esta denominación para diferenciar las distintas normas de “Control de Daños sobre Construcciones” de distinta naturaleza, en función de la velocidad de desplazamiento de partículas, provocadas por algún sismo u otro generador de emisión sísmica (en nuestro caso Vibradores Sísmicos)

Existen varios criterios y pueden emplearse los que se consideren convenientes pues se trata solamente de superponer gráficos sobre los puntos que reflejan “velocidad de partículas vs. Frecuencias”.

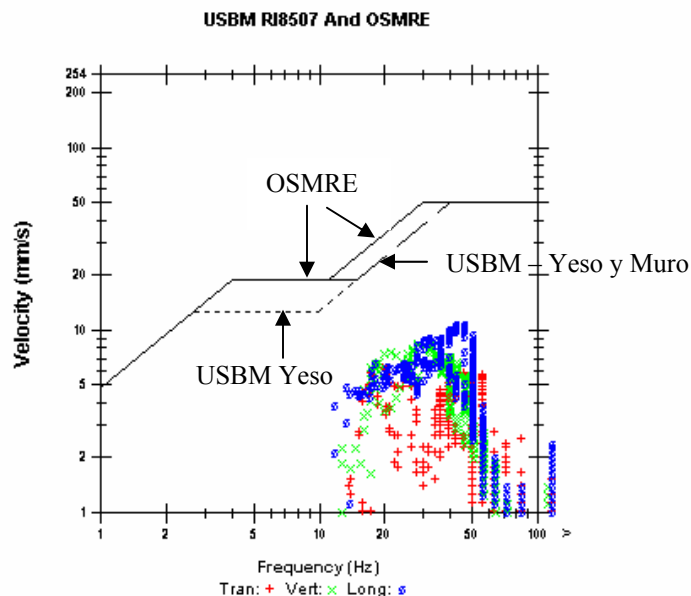
#### Estándar Americano: Criterio USBM RI 8507 & OSMRE

En la Figura 8, vemos representados los valores picos de velocidades para distintas frecuencias y para las tres componentes del mismo Evento del ejemplo. Como aquí se ha empleado un “Barrido Sísmico lineal” para producir el movimiento de partículas, los valores picos de velocidad corresponden a las frecuencias del barrido sísmico ciclo a ciclo (de 10 a 100 hertzios). El criterio aquí utilizado corresponde al de las Normas ya mencionadas: OSMR (línea continua más tolerante) y la USBM RI 8507 (línea de puntos, más exigente por aplicarse a construcciones con paredes de yeso y/o muros de piedras sin amalgama)

Podemos asegurar que ninguna amplitud supera las líneas de peligro de daño, ya que todos los puntos se encuentran por debajo de los umbrales establecidos (para el tipo de construcción regular en USA.)

La curva de la Figura 8 nos indica que las velocidades de desplazamiento de partículas son más peligrosas a baja frecuencia, pero que nuestro Evento, según este criterio, “no” ha superado los límites especificados para ninguna componente de frecuencia recibida:

- El límite aceptado para las Amplitudes de Velocidad, para frecuencias comprendidas entre 3 y 15 Hz. es de: 20 mm/seg, pero disminuye a 12 mm/seg tratándose de paredes de yeso.
- Luego la curva se vuelve lineal: desde 12 a 30 Hz. para construcciones sólidas, 9 a 35 Hz para construcciones de yeso y de 15 a 35 Hz para construcciones de muros sin amalgamar, la aceptación del aumento de amplitud en la velocidad crece linealmente con la frecuencia.
- Desde 30 Hz hacia las altas frecuencias (desde los 35 Hz para las construcciones de yeso ó muro sin amalgamar) la curva máxima de aceptación se fija en 50 mm/seg.



**Figura 8:** Criterio USBM RI8507 y OSMRE (\*contenido en el software del Everlet)

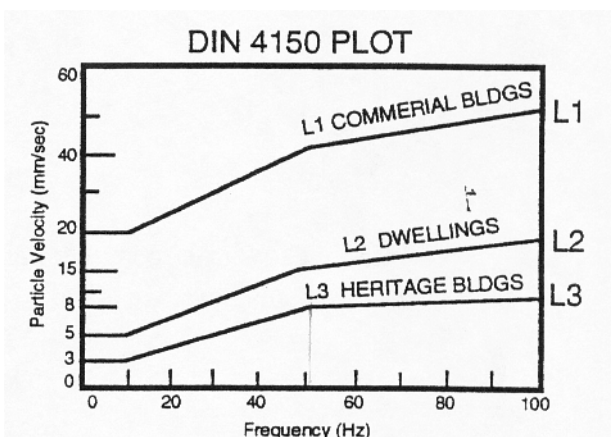


Como vemos en la Figura 8, (también en las Figuras 2, 5 y 7) la mayor amplitud de este Evento corresponde a la: Componente Longitudinal (Geófono Horizontal orientado mirando al Vibrador, en color azul y forma circular) que alcanzó un valor máximo de 10,92 mm/seg para una frecuencia de 43 Hz (límite permitido: 50 mm/seg)

Para no quedarnos con este único criterio, comparamos las anteriores amplitudes con el Criterio de la Norma Alemana DIN 4150 y la Española UNE 22381, que superpondremos a la figura 8 para obtener la Figura 9 y 10. Vemos que las condiciones impuestas por la Norma Alemana y Española son más exigentes que la Norteamericana

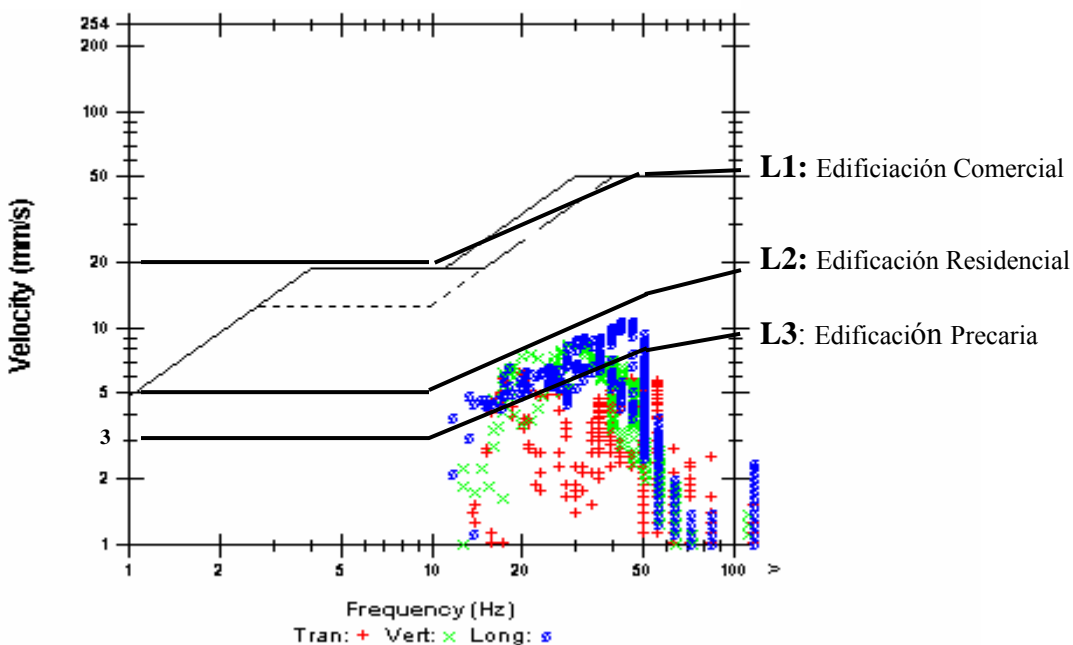
**Estándar Alemán: Criterio DIN 4150:**

Para frecuencias comprendidas entre 0 y 10 Hz. el límite para Edificación Precaria es de 3mm/seg (Curva L3), cuando para el anterior criterio todo límite superaba los 5 mm/seg. Luego también se establece una relación lineal entre la Curva de velocidad límite de partículas y la frecuencia con diferencias de pendientes (para 50 Hz la curva pasa por 7,5 mm/seg y para 100 Hz por 9 mm/seg) Vemos que entre 10 y 50 Hz todas las componentes superaron la Curva L3.



**Figura 9-a:** Estándar Alemán DIN 4150 (\*Everlet User manual)

**DIN 4150 superpuesta a la Estándar Americana**



**Figura 9-b,** Superposición Criterios DIN 4150 y Estándar Americano

### Estándar Español: Criterio Prevención (UNE 22381)

Utiliza un Criterio similar a la DIN dividiendo en los mismos tipos de construcciones anteriores:

I: Construcciones Sólidas, II: Construcciones Residenciales y III: Construcciones Precarias

En la Figura 10-b vemos la superposición de los valores límites con el gráfico de la Figura 8 del estándar americano donde se observa que:

Se extienden las exigencias para bajas frecuencias de vibrado hasta 15 Hertz pero aumentan los valores de tolerancia y que para altas frecuencias son más permisivos, duplicando los valores anteriores para igual situación en 100Hz..

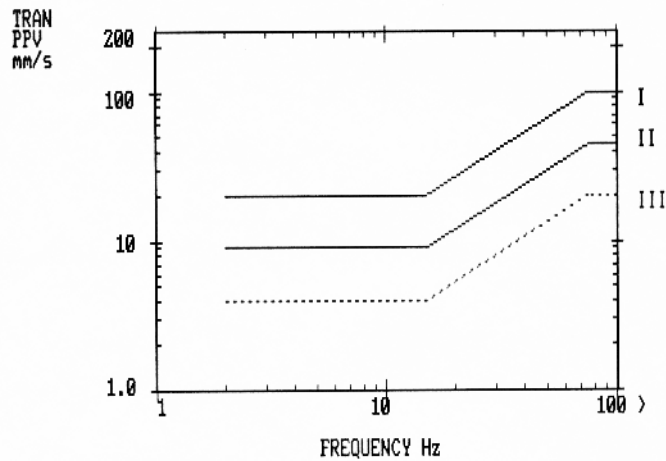


Figura 10-a, Estándar Español UNE 22381 (\*Everlet User manual)

### CRITERIO DE PREVENCIÓN (UNE 22381) superpuesta a la americana

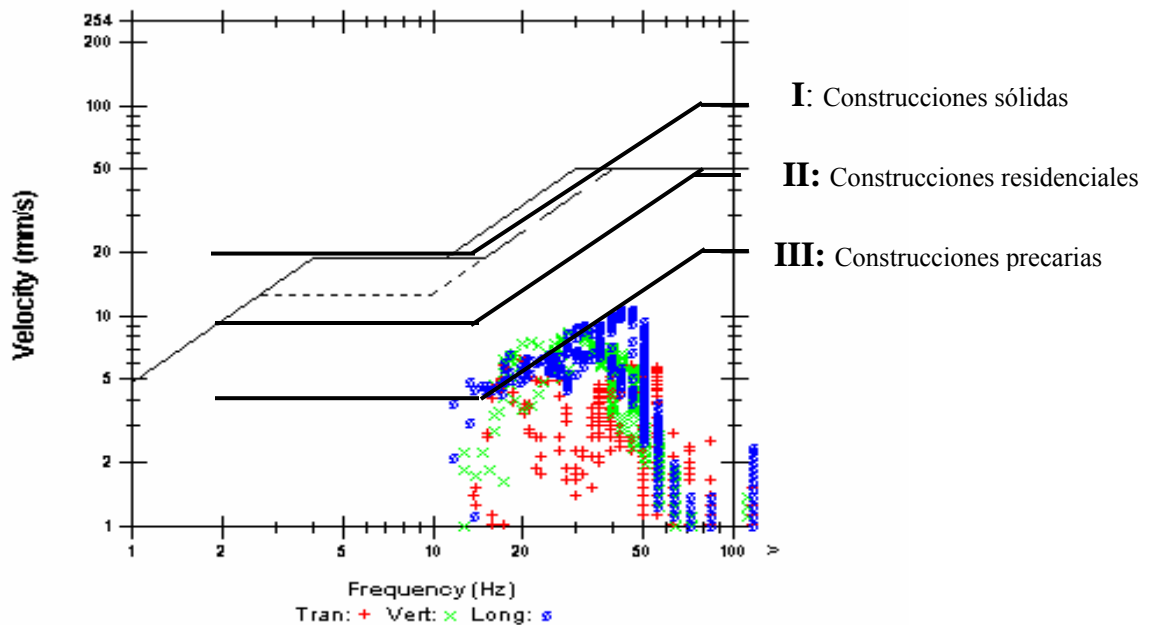
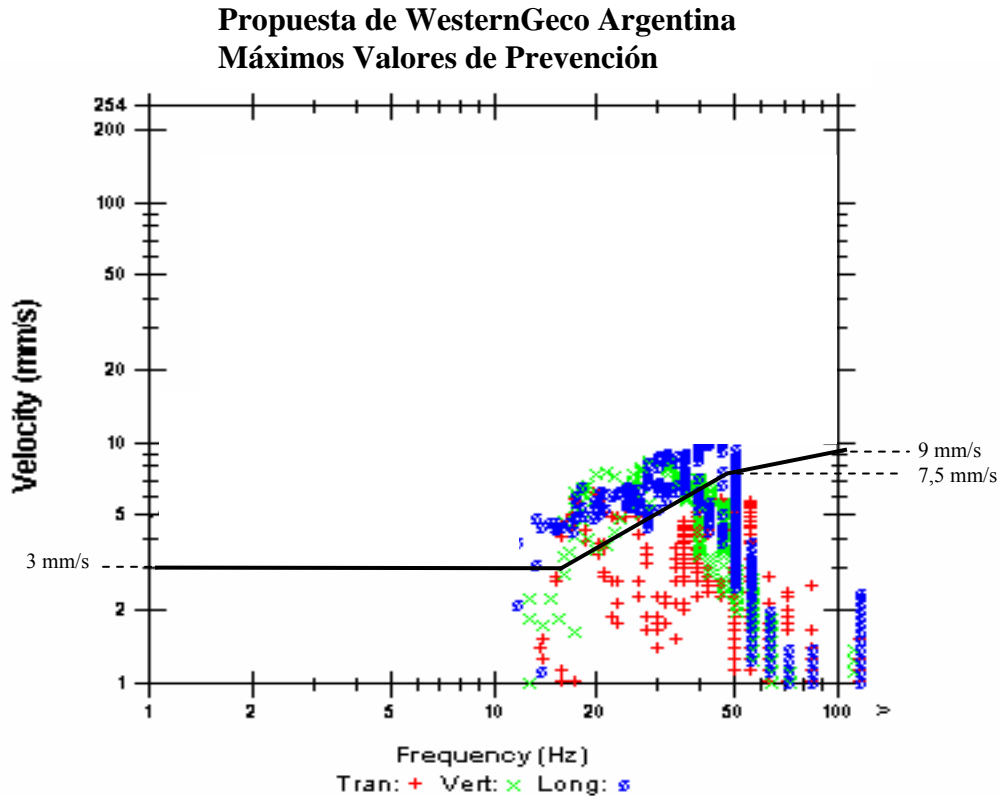


Figura 10-b, Criterio de Prevención UNE 22381 y Estándar americano



### Propuesta a Formalizar:

Deseamos proponer desde WesternGeco, como Curva a ser utilizada en Argentina, una combinación de la DIN 4150 y Criterio UNE 22381 para tomar las condiciones más desfavorables, considerando que cualquier construcción puede ser “precaria”. Por lo tanto siempre tomaríamos como referencia la Curva L3 (de la DIN4150) prolongándola hasta una frecuencia de 15 Hz (como en la UNE 22381) continuando luego con la Curva L3 (más exigente a las altas frecuencias) adaptada a esta modificación.



**Figure 11,** Criterio de Prevención WesternGeco

Para nuestro Evento-Ejemplo, resulta evidente que el único Vibrador (de 60 Klb) utilizado en este Evento, no debería utilizarse a menos de 5 metros de cualquier construcción con una Fuerza del 80 % (respecto a 60 Klb), Veremos a continuación que aconteció con otros Eventos empleando diferentes fuerzas y distancias para luego generalizar una propuesta de distancias segura de vibrado.

#### **DETALLE DE LOS EVENTOS REALIZADOS**

Varios eventos fueron realizados en diferentes locaciones manteniendo parámetros previos y cambiando ó la cantidad de Vibroseis ó la Fuerza de Salida del Vibrador ó la distancia al punto a medir. En la mayoría de las experiencias hemos empleado Vibradores AHV-IV-362 y RHV-321 los cuales poseen un “Hold down Weight de 60000 lb” y cuya fuerza de salida fue variada porcentualmente a este peso. El control electrónico empleado fue Pelton Advance II y VibPro.

La tabla siguiente es un ejemplo de una locación donde se utilizaron un total de 4 vibradores y se compararon las respuestas obtenidas a diferentes distancias (0,3; 5; 7,5 y 10 metros), vibrando con 2 y con 4 vibradores y con dos diferentes barridos. El barrido de 3 a 20 Hz de 8 segundos fue intentado para generar máxima energía en las frecuencias mas peligrosas de producir movimiento de partículas superficiales.

| <b>1).- 4 Vibradores de 267 Knewtons (60.000 lbf) Barriendo 8-96 Hz durante 8 segundos Lineal</b>        |                     |     |      |                  |     |      |                      |     |      |
|--|---------------------|-----|------|------------------|-----|------|----------------------|-----|------|
| Distancia<br>metros  | Geofono Transversal |     |      | Geofono Vertical |     |      | Geofono Longitudinal |     |      |
|  | mm/seg              | Hz. | "G"  | mm/seg           | Hz. | "G"  | mm/seg               | Hz. | "G"  |
| 0,3  | 28,96               | 5   | 0,87 | 115,82           | 57  | 9    | 34,54                | 3   | 1,1  |
| 5  | 2,79                | 17  | 0,09 | 11,43            | 47  | 0,66 | 10,67                | 21  | 0,34 |
| 7,5  | 3,68                | 32  | 0,09 | 3,81             | 43  | 0,16 | 13,97                | 28  | 0,30 |
| 10   | 2,41                | 23  | 0,08 | 3,68             | 47  | 0,17 | 6,89                 | 20  | 0,09 |
| <b>2). 2 Vibradores de 267 Knewtons (60.000 lbf) Barriendo 8-96 Hz durante 8 segundos Lineal</b>         |                     |     |      |                  |     |      |                      |     |      |
| 0,3  | 23,88               | 4   | 0,8  | 113,79           | 51  | 8,59 | 46,74                | 2   | 1,33 |
| 5  | 13,72               | 19  | 0,25 | 14,99            | 47  | 0,93 | 13,34                | 16  | 0,24 |
| 7,5  | 5,33                | 30  | 0,16 | 2,79             | 51  | 0,12 | 5,84                 | 18  | 0,11 |
| 10   | 4,45                | 8   | 0,08 | 2,54             | 47  | 0,12 | 3,94                 | 4   | 0,07 |
| <b>3).- 4 Vibradores de 267 Kilo Newtons (60.000 lbf) Barriendo 3-20 Hz. Durante 8 Segundos Lineales</b> |                     |     |      |                  |     |      |                      |     |      |
| 0,3  | 4,57                | 34  | 0,13 | 15,88            | 34  | 0,58 | 5,59                 | 16  | 0,09 |
| 5  | 7,87                | 12  | 0,08 | 4,32             | 10  | 0,13 | 8,34                 | 23  | 0,27 |
| 7,5  | 2,67                | 21  | 0,07 | 2,16             | 17  | 0,05 | 7,24                 | 20  | 0,2  |
| 10   | 1,65                | 28  | 0,05 | 2,16             | 8   | 0,04 | 4,83                 | 21  | 0,08 |
| <b>4).- 2 Vibradores de 267 Kilo-Newton (60.000 lbf) Barriendo 3-20 Hz. durante 8 segundos Lineales</b>  |                     |     |      |                  |     |      |                      |     |      |
| 0,3  | 5,97                | 7   | 0,07 | 19,18            | 32  | 1,27 | 14,86                | 12  | 0,16 |
| 5  | 7,11                | 19  | 0,15 | 7,24             | 2   | 0,12 | 14,35                | 14  | 0,16 |
| 7,5  | 4,06                | 27  | 0,11 | 2,03             | 9   | 0,05 | 7,11                 | 21  | 0,11 |
| 10   | 1,91                | 32  | 0,07 | 1,91             | 18  | 0,05 | 5,84                 | 15  | 0,07 |

**Tabla I,** Locación ensayada con 2 y 4 Vibros

### CONCLUSIONES GENERALES

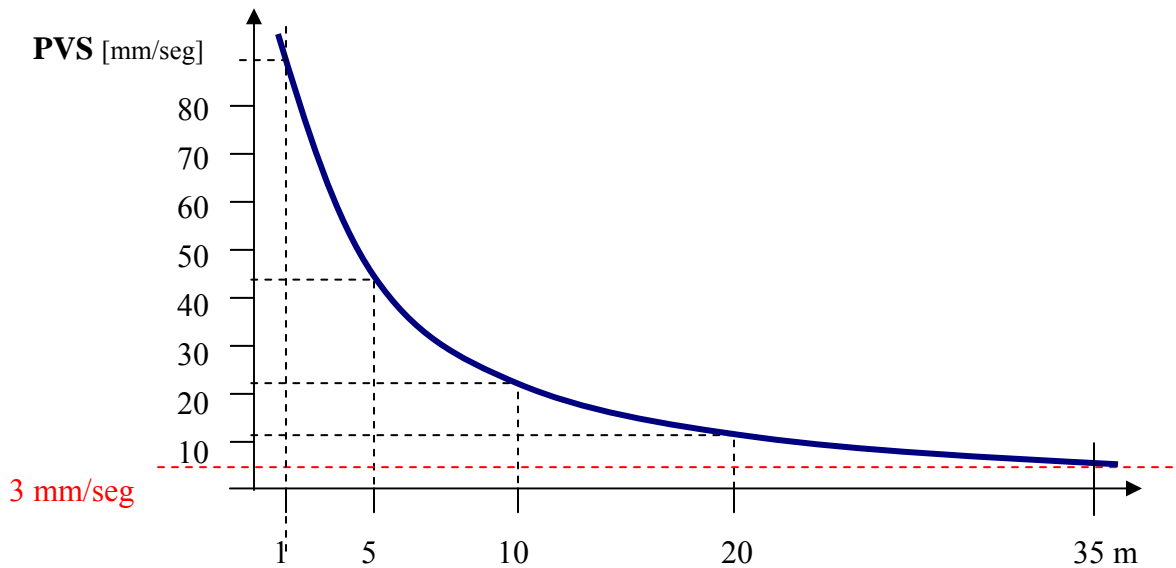
Del total de eventos medidos por la ex -Western Geophysical (actual WesternGeco) y por WesternGeco, podemos generalizar las siguientes conclusiones:

#### Curva de valores máximos medidos

Las tablas, similar a la mostrada anteriormente, nos indican que el valor máximo de PVS para cada distancia ensayada vs. cantidad de Vibradores y Fuerza emitida fue:

- 1 metros      PVS = 90 mm/seg,      1 Vibrador al 80%
- 5 metros      PVS = 43 mm/seg,      1 Vibrador al 80%
- 10 metros     PVS = 23 mm/seg,      4 Vibradores al 80%
- 20 metros     PVS = 12 mm/seg,      4 Vibradores al 80%

En la curva se han volcado los valores máximos de PVS obtenidos para todos los Eventos y se ha trazado el límite de 3 mm/seg que las Normas DIN y la por nosotros propuesta aconsejan como máximo para vibrar ante Edificaciones Precarias a frecuencias menores a 10 Hz (para la española, frecuencias menores de 15 Hz.)



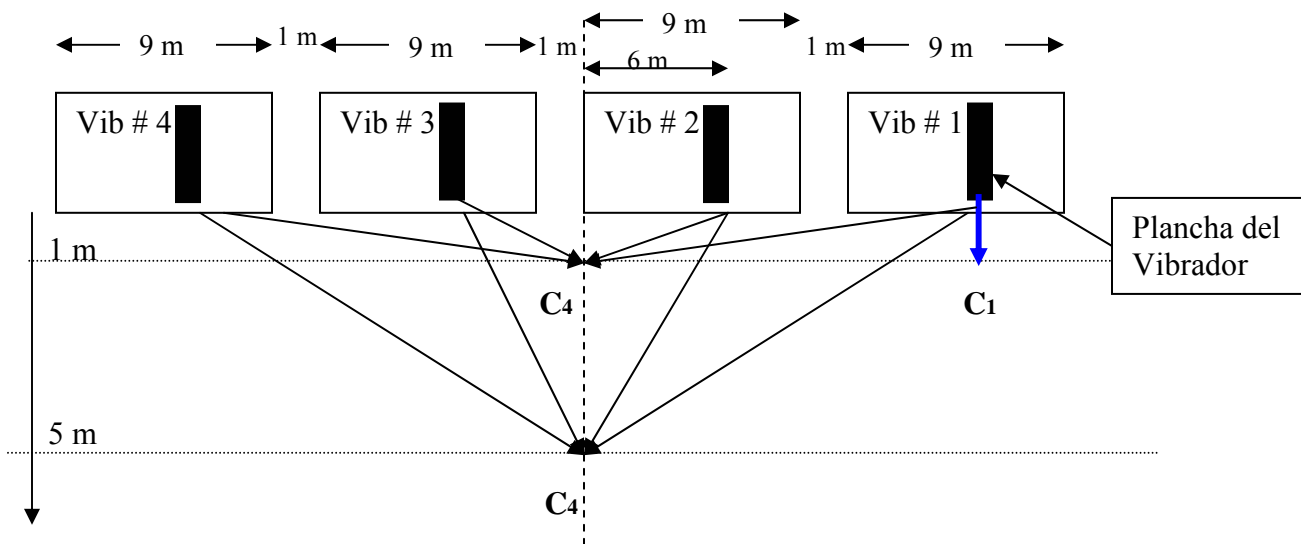
**Figura 12:** Curva de valores máximos de PVS

Como consecuencia podríamos decir que: tomando distancias mayores a las aquí mostradas, estaríamos en condiciones de establecer la distancia mínima necesaria para vibrar, teóricamente sin riesgos, ante diferentes estructuras. Por ejemplo para estructuras precarias utilizando 4 Vibradores de 60000 lb, deberíamos vibrar al 80% a una distancia mínima de 50 metros (ver distancia de seguridad establecida en Alberta-Canadá, Tabla 2)

**Vibrando a diferencias distancias**

Del estudio de las tablas de valores producidas en todos los eventos, inferimos que para distancias de 1 a 5 metros los valores mayores de PVS se obtienen con un solo Vibrador, pero para distancias mayores a 10 metros los valores máximos se obtienen con 4 Vibradores

La Figura 13 muestra la distribución de Vibradores sobre el terreno y las distancias útiles para especular en una explicación a la observación anterior.



**Figura 13:** Distancias de los Vibradores al Punto de medida del Evento

Cuando se trata de un Vibrador, nuestro punto de medida se encuentra exactamente a esa distancia de la Plancha del Vibrador, en cambio cuando colocamos nuestro punto de medida en el Centro del Dispositivo de Emisión, este se encuentra a:

- Para 1 metro: 6 metros de los Vibros 2 y 3 y a 16 metros de los Vibros 1 y 4
- Para 5 metros: 8 metros de los Vibros 2 y 3 y a 17 metros de los Vibros 1 y 4
- Para 10 metros: 12 metros de los Vibros 2 y 3 y a 19 metros de los Vibros 1 y 4
- Para 20 metros: 21 metros de los Vibros 2 y 3 y a 26 metros de los Vibros 1 y 4

Cuando se trata de 4 Vibros, el Geófono de 3 Componentes esta recibiendo simultáneamente y sumando, 4 Ondas con diferentes fases, por lo tanto el resultado no es el de una suma algebraica, produciéndose atenuaciones en el valor instantáneo suma de cada componente de velocidad adquirida.

Cuanto más grande es la distancia al centro del arreglo mayor es la aproximación de fases instantáneas en las componentes que llegan al Geófono 3C, comprobándose que a distancias mayores a 10 metros, el PVS de 4 Vibradores es mayor que el de un solo Vibrador. Vemos como la curva de la Figura 12 se aproxima a una hipérbola y esta tiende a decrecer mucho más lentamente con la distancia y parece, dentro de las distancias ensayadas, tender asintóticamente al valor de una velocidad de movimiento de partículas de terreno de: 3 mm/seg (si hubiésemos medido partículas a mayores distancias veríamos a la curva decrecer asintóticamente hacia el eje de 0 velocidad). La velocidad de 3 mm/s coincide exactamente con la velocidad límite para construcciones precarias de la mayoría de las curvas cuando la frecuencia de la onda recibida es menor a 10 Hz.

Aumentando aún más las distancias, podemos explicarnos algunos fenómenos que nos han ocurrido, cuando dañamos, durante las operaciones con vibradores, a edificios ubicados a mayor distancia que otros mucho más próximos a nuestros Vibros.

Para mayores distancias, podemos aproximarnos a la siguiente lectura:

PVS de 4 Vibros a largas distancias = 4 PVS de 1 Vibro a esa misma distancia

#### **Distancias de seguridad adoptadas en operaciones en Canadá**

| Structure   | # Vib | High drive | Low drive |
|---|-------|------------|-----------|
| <b>High sensitivity structures</b>  |       |            |           |
| Wellhead, SWICC water pipeline  | 5     | 60 m       | 55 m      |
| Uncased water well, culturally sensitive structure (Including grave yard) | 3     | 55 m       | 40 m      |
| Potentially vulnerable structure (mud house)                              | 1     | 30 m       | 30 m      |
| <b>Medium sensitivity structures</b>                                      |       |            |           |
| High pressure Gas line or pipeline  | 5     | 24 m       | 24 m      |
| Cased water well, buried cistern.   | 3     | 24 m       | 12 m      |
| Barn or dam, graveyard, bridge. Domestic property                         | 1     | 20 m       | 12 m      |
| <b>Low sensitivity structures</b>   |       |            |           |
| Offices and industrial premises   | 5     | 10 m       | 5 m       |
| Pipeline (all except high pressure)                                       | 3     | 10 m       | 5 m       |
| Rail road track, Irrigation channels or canals                            | 1     | 10 m       | 5 m       |
| Substantial steel structure.  |       |            |           |
| Telephone or telecom line and pole.                                       |       |            |           |
| High-tension power line and pole.   |       |            |           |
| Buried telephone line or electric line.                                   |       |            |           |
| Paved road  |       | N/A        | N/A       |
| Graded road   |       |            |           |

Tabla 2, distancias de seguridad adoptadas por WesternGeco Canadá

En base a estudios de movimiento de partículas similares a los nuestros, un Grupo de WesternGeco en Canadá ayudo a las autoridades de Alberta a regular la distancia mínima necesaria para las operaciones sísmicas con vibradores. Se propuso la Tabla 2 como límites de distancia en función de las estructuras cercana a una operación

sísmica de hasta 5 Vibradores de 60000 lb de “holdown weight” (igual a los utilizados por nosotros). Como vemos se mantienen los tres tipos de estructuras definidas por los Criterios de Prevención para la velocidad del movimiento de partículas y las distancias adoptadas son congruentes con nuestra especulación establecida a partir de la Figura 12 (Curva de valores máximos de PVS)

**Observaciones Adicionales:**

Las medidas de eventos generados por: Tránsito de Camiones con Acoplados Cargados sobre asfalto deteriorado, Bombas de Extracción Petroleras, Plantas de Bombeos, etc. producen movimiento de partículas a velocidades menores de 1.5 mm/seg para distancias muy pequeñas (2 metros). Estos valores no son comparables con los obtenidos por la acción de vibradores, por tal razón no me he detenido en mostrar este tipo de eventos ya que no representan ningún peligro para ningún tipo de edificación comparada con la acción de los Vibradores Sísmicos.



**Foto 1 y 2, Vibrando por General Roca – Río Negro (1996)**



**Foto 3**, midiendo movimiento de partículas en Tránsito Pesado en C. Rivadavia (2003)

#### **Conclusión final**

Las experiencias mencionados dieron origen, a posteriori, a ensayos masivos en áreas neurálgicas para la actividad petrolera, desgraciadamente los eventos producidos no se encuentran incluidos en este artículo por problemas de tiempo y de permisos. Cuando los demás actores lo estimen conveniente, sería realmente necesario vincular dichas experiencias con lo aquí escrito por el gran valor estadístico de las medidas obtenidas. Luego habría que proponer oficialmente: una Curva de Prevención sobre Movimiento de Partículas que sienta jurisprudencia en Argentina.

#### **Agradecimiento:**

A WesternGeco Argentina por permitirme publicar este compendio de experiencias, a mis compañeros de aventura durante las mismas, a las experiencias transmitidas desde Western Geophysical Venezuela (año 2000) y a las diferentes Empresas que directa ó indirectamente contribuyeron a obtener la información aquí publicada.

#### **Bibliografía Consultada:**

Everlet V, Everlet Ve User Manual – Vibra-Tech Engineers, que incluyen los Criterios de Prevención mencionados en este artículo.

WesternGeco: vibroseis operation safe distance experiences.