

# *Medición de las Vibraciones del Suelo Originadas por Trabajos de Exploración Sísmica y por otras Fuentes en Neiva - Huila*

JL  
JORGE ARTURO CAMARGO PUERTO  
Profesor Facultad de Ingeniería USCO

## **1. INTRODUCCION**

Las vibraciones de baja amplitud y carácter aleatorio del suelo son una forma de contaminación ambiental propia de zonas urbanas, que afectan al hombre y a las obras civiles; dichas vibraciones denominadas ruido sísmico o vibraciones ambientales son originadas principalmente por el tránsito de vehículos pesados y en menor frecuencia por cambios en la presión atmosférica, sismos muy distantes, incamiento de pilotes, demoliciones de edificios, grandes embalses y detonación de explosivos en minas subterráneas, canteras a cielo abierto y en la construcción de grandes obras de ingeniería.

Ante la creciente demanda de hidrocarburos, durante la última década se han realizado trabajos de exploración petrolera en áreas urbanas, hecho que ha motivado numerosos estudios tendientes a determinar el impacto ambiental y a reglamentar los niveles permisibles de las vibraciones del suelo originadas durante los trabajos de exploración sísmica.

La compañía Hocol-Shell por intermedio de la compañía contratista HGS INCORPORATED realizó durante julio-septiembre de 1992 un estudio sísmico del campo Tello, denominado "TELLO 3-D, 1992" el cual involucró áreas urbanas de la ciudad de Neiva. En dicho estudio la fuente de energía utilizada para generar la señal sísmica consistió de pequeñas cargas de material explosivo.

Por solicitud de la comunidad y de diferentes entidades estatales la Comisión Técnica de la Oficina de Prevención y Atención de Emergencias recomendó que la UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA realizara una veeduría del proyecto sísmico, con el fin de verificar el cumplimiento de la metodología propuesta por HGS para dicho

proyecto, principalmente en lo relacionado con las distancias mínimas previstas entre las diferentes obras civiles y los puntos de disparo (pozos con pequeñas cargas de fondo de material explosivo) como también la profundidad de los pozos mismos y el peso de las cargas de explosivo, a fin de minimizar el efecto de las vibraciones del suelo sobre las obras civiles y las personas.

Durante la mencionada veeduría, los autores del presente artículo realizaron una serie de pruebas de campo para medir las vibraciones del suelo producidas por los trabajos sísmicos y las vibraciones ambientales en áreas urbanas y suburbanas de Neiva; el presente artículo resume los objetivos, la metodología utilizada y algunos de los resultados preliminares obtenidos en las citadas pruebas de campo.

El estudio de las vibraciones del suelo interesa no solo a geofísicos, ingenieros geólogos e ingenieros de minas sino también a ingenieros civiles y a especialistas en ingeniería sísmica, por cuanto estas se transmiten a las obras civiles fundadas sobre roca o suelo y su estudio permite conocer las propiedades dinámicas no solo de las masas de roca y suelo sino también de edificios, puentes, presas y terraplenes.

## 1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Registrar y cuantificar las vibraciones del suelo causadas por la detonación de pozos de exploración sísmica del proyec-

to "Tello 3-D, 1992" y por el disparo de pozos de carácter experimental especialmente perforados para el presente estudio.

1.1.2. Registrar y cuantificar la vibración ambiental en el área urbana y suburbana de Neiva.

1.2.3. Comparar las vibraciones ambientales registradas con las vibraciones producidas por la exploración sísmica.

## 2. ANTECEDENTES

La consulta bibliográfica sobre este tema permite concluir que aunque existen en el país algunas áreas urbanizadas cerca a canteras en explotación, no existe ninguna norma oficial sobre niveles permitidos de vibraciones del suelo en zonas urbanas, producidas por explosivos u otras causas, por lo tanto, para evaluar el nivel de vibraciones en Neiva fue necesario recurrir a las normas vigentes en otros países.

En algunas normas el criterio para determinar el nivel admisible de las vibraciones es el daño a las construcciones, en tanto que en otras regulaciones el límite aceptable está basado en un criterio muy subjetivo como es el grado de molestia o desagrado que causan las vibraciones a las personas.

Diversos investigadores, tales como N. N. Ambraseys y A. J. Hendron Jr. (1968) sostienen que entre los diferentes parámetros utilizados para cuantifi-

car las vibraciones del suelo, la velocidad pico de partículas es el efecto dinámico mejor relacionado con los posibles daños causados a las construcciones civiles.

En Estados Unidos y Canadá las normas admiten que velocidades inferiores a 50 mm/seg. no causan daño a las construcciones civiles en tanto que en Suecia (U. Langefors y otros) se acepta que en determinadas condiciones el límite de seguridad puede ser incrementado a 71 mm/seg.

U. Langefors y B. Kihlstrom (1976) y C.H. Dowding (1985) coinciden en que las normas son válidas para unas condiciones del subsuelo determinadas y que dadas las diferencias en las velocidades de propagación de las ondas en los distintos tipos de suelos y rocas y la diversidad de materiales de construcción, recomiendan no aplicar normas provenientes de otros países, sin antes realizar mediciones para diferentes condiciones de suelos y rocas y para distintas relaciones de carga—distancia, a fin de determinar el límite de seguridad a adoptar.

B. W. Darracott (1987) realizó para SHELL EXPRO un estudio de niveles de vibración y desplazamientos del suelo inducidos por trabajos de exploración sísmica en Stafford (Gran Bretaña) en 1986, utilizando diferentes fuentes de energía (camión vibrador, pistola de aire y dinamita). En las pruebas con dinamita cada punto de disparo consistió de tres pozos alineados, de 4 metros de profundidad, distanciados a 5 metros y con 374 gramos de explosivo en cada

pozo. A 30 metros de distancia del punto de disparo, la velocidad de partícula fue de 7.0 mm/seg, a 50 metros fue de 2.4 mm/seg. y a 125 metros fue de 0.3 mm/seg.

De cerca de 4200 puntos de disparo contemplados en el proyecto sísmico "Tello 3-D, 1992", aproximadamente 100 quedaron localizados en las áreas urbanas de Neiva y consistieron de pozos de 60 pies de profundidad, cargados con 300 gramos de sismigel; en áreas rurales o abiertas los puntos de disparo consistieron de 6 pozos de 6 pies de profundidad separados de 2 a 4 metros, con 300 gramos de sismigel o de geoflex.

Para cumplir con los objetivos propuestos en el estudio de las vibraciones se realizaron mediciones directamente sobre la boca de cinco pozos de 60 pies de profundidad; en unos se varió el peso de la carga de explosivo y en otros se modificó la profundidad de la carga pero se conservó constante su peso.

Otras pruebas realizadas tuvieron como objetivo medir las vibraciones del suelo producidas por diferentes tipos de vehículos como buses, volquetas, motoniveladoras, vibrocompactadores de rodillo (30 toneladas) y por el impacto de una masa que golpea el suelo en "caída libre".

### 3. EQUIPO SISMOLOGICO UTILIZADO

En el presente estudio se utilizó el siguiente equipo de medición:

## 6. CONCLUSIONES

6.1. Entre los 42 eventos registrados, los valores más altos de velocidad de partícula fueron medidos en las pruebas realizadas en el Km.1 de la vía Palermo—Neiva, durante las cuales el sensor del acelerógrafo se ubicó a 50 cms. del borde de la vía. Allí se obtuvieron las siguientes velocidades, calculadas a partir de la componente horizontal norte—sur del acelerógrafo, al paso de los siguientes vehículos:

- camión cargado con mármol      = 84.17 mm/seg.
- volqueta con mármol (subiendo) = 60.60 mm/seg.
- volqueta con mármol (bajando) = 46.81 mm/seg.
- camión Ford-100                    = 17.12 mm/seg.
- camioneta LUV                      = 18.80 mm/seg.

6.2 En el barrio Chapinero de Neiva, se obtuvieron los siguientes registros durante la pavimentación de la carrera 9a. entre las calles 19 y 20.

- paso de bus urbano a 60 km/hora      = 3.42 mm/seg.
- camión Mayhew a 60 km /hora          = 15.76 mm/seg.
- vibrocompactador de 30 ton. vibrando y desplazándose a velocidad de compactación      = 9.96 mm/seg.
- vibrocompactador de 30 ton. vibrando en posición estática.                      = 19.83 mm/seg.

6.3. El pozo de producción sísmica 107-172, de 60 pies de profundidad y con 300 gramos de sismigel, ubicado en el sector de IDEMA, dió velocidad de partícula de 16.5 mm/seg. que resultó ser la máxima velocidad registrada en pozos profundos, en los cuales la velocidad, en promedio, fue inferior a 1 mm/seg.

6.4. En el pozo experimental, perforado especialmente para el estudio de vibraciones, en el sector del pozo Tello-29 (Barrio Olaya Herrera), en el cual se detonaron cargas variando la profundidad y el peso de la carga de explosivo, se obtuvieron las siguientes velocidades de partícula.

- 150 grs. de sismigel a 15 pies      = 21.34mm/seg.
- 300 grs. de sismigel a 45 pies      = 4.68mm/seg.
- 300 grs. de sismigel a 60 pies      = 1.01mm/seg.
- 300 grs. de sismigel a 75 pies      = 0.32mm/seg.

6.5 Las pruebas realizadas en el barrio Chapinero y en la carretera Palermo—Neiva demuestran que la velocidad de partícula originada por "vibración ambiental" propia de áreas urbanas es mucho mayor que las velocidades generadas por la detonación de cargas de material explosivo de 300 grs. colocadas a 60 pies de profundidad.

- 6.6 En el pozo experimental del sector del pozo Tello-29 (Barrio Olaya Herrera) la frecuencia dominante fue de 78 ciclos/seg. Esta frecuencia se obtuvo a partir de 12 registros digitalizados de los geófonos del equipo de refracción sísmica Nos. 1, 4, 8, 12 y 21. Los geófonos Nos. 8 y 12, localizados sobre los muros de una casa en construcción, registraron una mayor cantidad de picos de frecuencia, posiblemente originados por ruido ambiental.
- 6.7 Los valores de velocidad de partícula registrados en los pozos de producción sísmica (60 pies de profundidad y 300 grs. de sísmigel) fueron en promedio menores a 1 mm/seg. y sus frecuencias dominantes fueron superiores a 19 ciclos/seg. Estos valores permiten concluir que las vibraciones del suelo originadas en el área urbana de Neiva, durante el estudio sísmico del campo Tello, son inócuas para las obras civiles e imperceptibles para las personas.
- 6.8. Las vibraciones del suelo registradas en los pozos de producción del estudio sísmico "Tello 3-D, 1992" expresadas en términos de sismicidad equivalen a 0,45 de magnitud en la escala abierta de Richter.

## BIBLIOGRAFIA

- Attewell P.B.; Farmer I.W., 1982. Principles of engineering geology. Chapman and Hall. London.
- Cuéllar J.V.; Camargo J.A. 1992. Análisis sísmológico de las vibraciones en Neiva, Huila. Informe inédito. Santafé de Bogotá.
- Darracot B.W., 1987. Vibration levels of some land seismic sources and environmental implications. Shell U.K. Exploration and Production.
- Dowding C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall, Inc. Englewoods Cliffs.
- Jiménez Salas J.A., 1980. Geotecnia y Cimientos III. Cimentaciones e implicaciones de la geotécnica. Primera parte. Editorial Rueda, Madrid.
- Langefors U.; Kihlstrom B., 1976. Modern Technique of Rock Blasting. Jhon Willey and Son Inc., New York. Second Edition.
- Sarria A., 1991. Introducción a los métodos geofísicos en la Ingeniería civil. Universidad de Los Andes. Santafé de Bogotá. ★