

## EL ACELERÓGRAFO DE CARABALLEDA, ESTADO VARGAS Y SU REGISTRO EN DICIEMBRE DE 1999

José Antonio RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, Cristóbal GRIMÁN<sup>2</sup>, Freddy ZARAGOZA<sup>3</sup>  
& Jorge GONZÁLEZ<sup>3</sup>

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS. Caracas.

<sup>1</sup>Dpto. de Ciencias de la Tierra, correo-e: dptoct@funvisis.internet.ve

<sup>2</sup>Dpto. de Instrumentación Electrónica, correo-e: cgriman@hotmail.com

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Sísmica, correo-e: dptois@funvisis.internet.ve

### RESUMEN

El presente trabajo muestra cómo la energía producida por el material aluvio-torrencial transportado en el cauce del río San Julián pudo ser registrada por el acelerógrafo analógico SMA-1, que se encontraba instalado al este de Caraballeda para el momento de producirse los aludes torrenciales de diciembre '99. El material arrastrado dió lugar a la formación de un cono de deyección cuya zona de explayamiento máximo fue la Urbanización Los Corales, en donde causó enormes destrozos y provocó niveles de excedencia en términos de aceleración de la gravedad del umbral de detección del instrumento en 3 oportunidades, obtenidas del registro fotográfico del instrumento allí instalado y en sus componentes tanto horizontales como verticales.

Estos tres registros han sido denominados a los efectos del análisis en: Caraballeda 1, 2 y 3, respectivamente y los resultados se muestran ya procesados, con una duración del fenómeno de 11,97; 3,29 y 14,44 segundos, respectivamente. Se muestran los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento obtenidos para el 1% en que fue excedida la gravedad, longitudinal L; transversal, T y verticalmente, V empleando filtros con rangos límites entre 0,25 – 0,50 y 47 – 50 Hz usualmente empleados en el procesamiento de acelerogramas.

*Véase la versión completa de este artículo con sus figuras en el CD anexo (carpeta 2.3)*

### INTRODUCCIÓN

Como parte de su red nacional, Funvisis mantuvo instalado en el lapso 1993-2000 un acelerógrafo analógico en la sede del Cuerpo de Bomberos de Caraballeda en el estado Vargas (Fig. 1) a objeto de cuantificar los movimientos fuertes del terreno, provocados por la ocurrencia de un sismo. Dicho instrumento fue activado por el alud torrencial del '99.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INSTRUMENTO

El instrumento propiedad de este instituto, desinstalado posteriormente a la ocurrencia del alud torrencial de los días 15 y 16 de diciembre de 1999 y sustituido por un modelo digital, contemplado en los planes de modernización de la Red Acelerográfica Nacional, iniciada a raíz del Terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997, tenía como características las siguientes: Acelerógrafo *Kinematics*; modelo SMA-1 (strong motion accelerometer) de registro analógico en película fotográfica de 70 mm, tres componentes: dos

horizontales que registran la aceleración del terreno en dirección norte-sur y este-oeste y uno vertical.

Dicho instrumento poseía un nivel o umbral de disparo de 0,01 g, es decir 1% de la aceleración de la gravedad y estuvo distinguido con el serial 4163; con sensibilidad de 1 g; alimentado por 2 baterías internas de 6 voltios cada una, más un cargador de baterías y sin marcador de tiempo. Todo ello instalado sobre un pilar de concreto en una tanquilla construida al efecto en el patio interior de la sede bomberil.

A partir del 1° de febrero del año 2000, funciona en el mismo lugar un acelerógrafo digital *Kinematics*, modelo Etna, con tarjeta GPS incorporada al mismo lo que permite que pueda ser geo-referenciado y a la vez señale tiempo y duración del movimiento del terreno en ocasión de un sismo. Las coordenadas de esta herramienta en el sitio señalado son: 10,62° N – 66,85° W.

Cabe mencionar que tanto este equipo como el resto se encontraba al momento de producirse los aludes torrenciales de Vargas, en los almacenes del agente aduanal, fuera de la sede del puerto de La Guaira, razón por la que no sufrieron daño alguno.

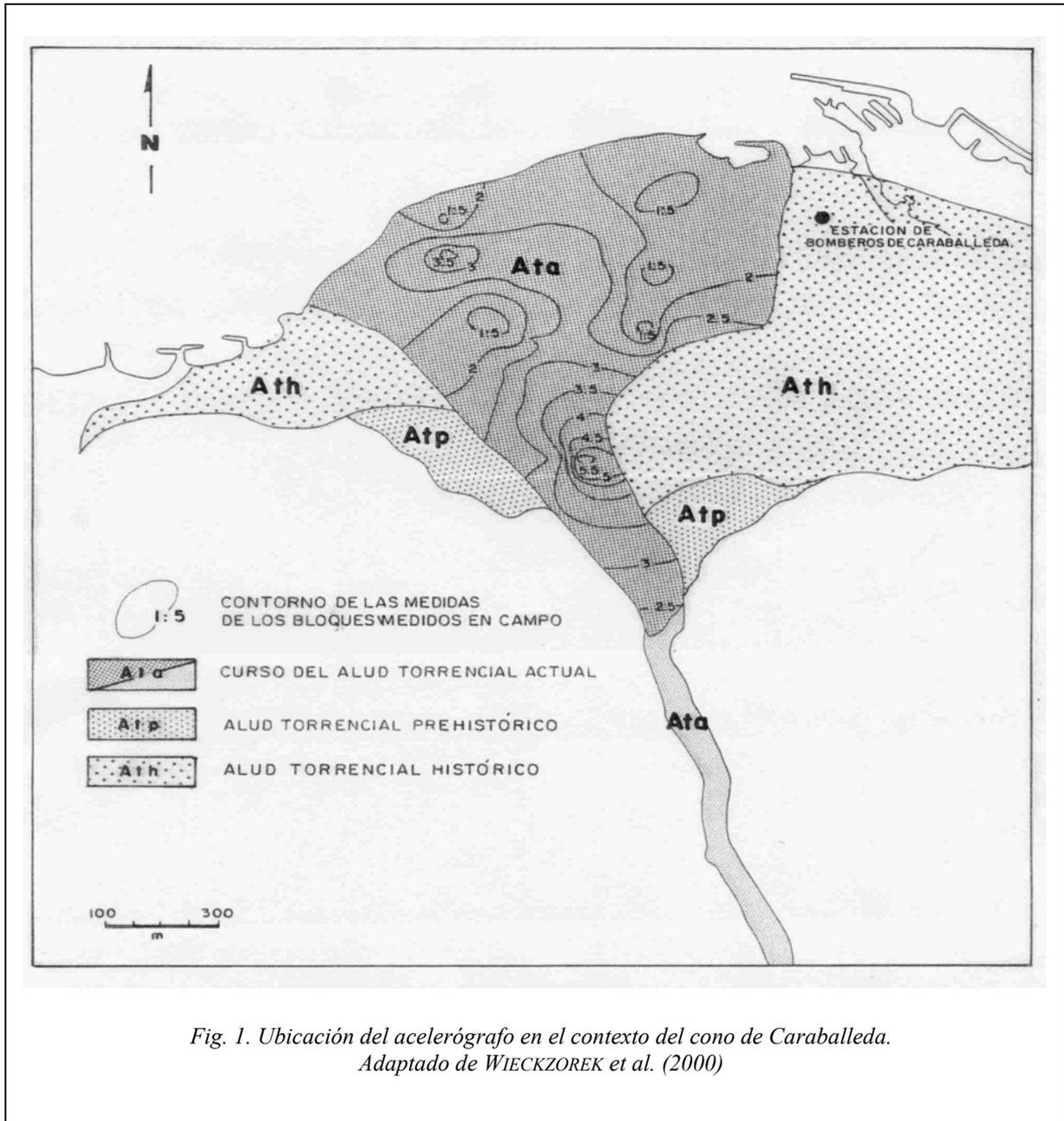


Fig. 1. Ubicación del acelerógrafo en el contexto del cono de Caraballeda.  
Adaptado de WIECKZOREK et al. (2000)

### EL FENÓMENO SEGÚN ENTREVISTAS REALIZADAS

Durante el mes de julio del año 2000, profesionales del IGVS-B-MARNR, MCT-FUNVISIS, INGEOMIN-MEM y UCV (Escuela de Geología, Minas y Geofísica) y el Instituto de Mecánica de Fluidos, IMF) en compañía de los geólogos M. Larsen, G. Wiczorek y S. Eaton, miembros del USGS, visitaron el cono de Caraballeda con el objetivo específico de cartografiar el mismo y estimar el volumen de material torrencial depositado en

la urbanización Los Corales y zonas aledañas, trabajo cumplido durante unos 15 días continuos de actividad de campo. Dicha labor arrojó la cantidad de 1,9 millones de m<sup>3</sup>, solamente en dicho lugar (M. Larsen, *com. pers.*, 2000).

La ocasión fue aprovechada para realizar entrevistas a los vecinos en los alrededores de la zona, quienes expresaron que el alud torrencial fue percibido a manera de *olas*, sintiéndose la primera entre las 08:00 y 08:30 pm del día 15, continuando con 2 más el día 16, una de ellas a las 03:00 de la madrugada y la otra a las 06:00 de

la mañana. Casi todos los entrevistados manifestaron que el día 16 la *vibración del suelo era como un sismo*.

### ACTIVACIÓN DEL SMA-1

El acelerógrafo SMA-1 se activo entre el 15 y el 16 de diciembre en horas indeterminadas por carecer de marcador de tiempo, captando 3 registros en cada uno de sus componentes tanto horizontales como vertical. Se aprecia que el primer impacto (Fig. 2) tuvo una duración de 11,97 segundos seguido por 2 más de 3,29 y 14,44 segundos respectivamente. Es importante señalar que este documento y sus resultados constituyen la única medida *in situ* de las vibraciones del suelo producidas por el *alud de Caraballeda* y se produjeron en las cercanías del lugar de instalación del instrumento destinado en primera instancia para determinar aceleraciones fuertes del terreno provocadas por sismos. Además de ello, son los primeros en la historia de los aludes torrenciales en Venezuela, cuyos antecedentes han sido expuestos en trabajos de investigación previos (SINGER *et al.* 1983 y RODRÍGUEZ *et al.* 2002), entre otros.

### CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS DEL ALUD DE CARABALLEDA Y OTROS EVENTOS

WIECZOREK *et al.* (2001) han señalado que el significativo volumen de los depósitos de esta zona del estado Vargas han podido ser comparados con otros grandes aludes torrenciales a nivel mundial y para ello han usado una escala de magnitud, derivada del logaritmo del volumen depositado en el sitio, de acuerdo a KEATON *et al.* (1988) estimándose la magnitud de los depósitos de Caraballeda en 6.3 y catalogados entre los más grandes inducidos por lluvia.

La magnitud mencionada en ningún momento se refiere a magnitud sísmica WIECZOREK (*com. pers.*, 2002).

Por otra parte, LAHUSEN (1996) señala que flujos de detritos han sido seguidos con sismógrafos convencionales tal como el caso que ocupa el presente trabajo. Sin embargo, siendo la función de los sismógrafos convencionales detectar los movimientos fuertes del terreno en rangos entre 0,5 y 20 Hz, los mismos no detectan las vibraciones más fuertes provenientes de los flujos e inundaciones, las cuales ocurren en frecuencias entre 50 y 250 Hz, no pudiéndose determinar la localización exacta desde donde un alud torrencial se encuentra fluyendo, LAHUSEN (*op. cit.*).

No obstante lo planteado, el acelerógrafo de Caraballeda en diciembre de 1999, no tuvo como objetivo la ubicación del lugar de donde fluía este material no-newtoniano, sino la determinación de los niveles de vibración generados en el suelo y que

produjeron en 3 ocasiones, que se excediese la calibración del SMA-1 analógico

### PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

Es necesario destacar que el registro obtenido del equipo SMA-1 es atípico, y el mismo fue grabado en película Kodak rar 2449 de 70 mm, obteniéndose en forma preliminar resultados en cuanto a aceleración, velocidad y desplazamiento en la superficie del terreno en tres lapsos de tiempo desconocidos por carecer el instrumento de marcador de tiempo.

El procesamiento de los registros obtenidos y denominados a los efectos de este trabajo como Caraballeda 1 al 3, fue realizado empleando el filtro ORMSBY, con rangos límites entre 0,25 - 0,50 y 4 7- 50 Hz. Resultados del análisis espectral de cada registro aparecen en las tablas realizadas *ad hoc*. Un análisis más detallado que incluirá el análisis de las aceleraciones instantáneas en registros corregidos, los espectros de respuesta en gráficos de cada registro y datos de geofísica aplicada en el cono de Caraballeda, serán presentados en un trabajo posterior al presente

#### Caraballeda 1

Tuvo una duración de registro a partir de un tiempo  $t_0$  fuera del umbral de excedencia del instrumento de 11,97 segundos. Los resultados aparecen en la siguiente tabla:

Componente	a (cm/seg <sup>2</sup> )	V (cm/seg)	d (cm)
L (N-S)	302,69	16,8	3,71
T (E-W)	395,52	26,91	4,83
V	324,16	44,65	10,49

#### Caraballeda 2

Al evaluar la película obtenida del acelerógrafo, se verificó un segundo ciclo, fuera del 1% de la gravedad en un tiempo correspondiente a 3,29 segundos e iniciado en un tiempo  $t_1$ . El análisis muestra los siguientes datos:

Componente	a (cm/seg <sup>2</sup> )	V (cm/seg)	d (cm)
L (N-S)	218,63	13,63	2,16
T (E-W)	164,34	24,24	3,43
V	170,50	13,34	2,59

#### Caraballeda 3

El tercero de los registros con datos de haber superado el umbral de calibración del SMA-1 verifica para un tiempo desconocido  $t_2$ , un lapso de tiempo de excedencia de 14,44 segundos.

Los resultados obtenidos del análisis señalan:

Componente	a (cm/seg <sup>2</sup> )	V (cm/seg)	d (cm)
L (N-S)	340,63	42,69	7,88
T (E-W)	219,75	41,95	8,50
V	268,08	27,91	5,12

### CONCLUSIONES

Si bien las entrevistas en la zona de la urbanización Los Corales indican 3 eventos sentidos entre los días 15 y 16 de diciembre y el acelerograma proveniente de la estación de Bomberos de Caraballeda, estado Vargas muestra el registro de por lo menos 3 veces en que fue excedido el 1% de la gravedad, por la masa integrada por el alud torrencial, la falta de un marcador de tiempo del instrumento impide asociar los datos de las entrevistas con el análisis procesado.

Si bien los registros obtenidos en la superficie del terreno en Caraballeda no fueron provocados por un evento sísmico, las aceleraciones horizontales alcanzadas para Caraballeda 1 y 3, supera el valor de aceleración en roca previsto en la Norma Edificaciones Sismorresistentes de 290 cm/seg<sup>2</sup> (0,30 g) para la zona con fines de diseño, lo que dá idea de las grandes fuerzas generadas en el movimiento de agradación, accionado por el evento hidrometeorológico extremo producido a finales de 1999.

### AGRADECIMIENTOS

A Marina Peña, por su eficiencia en la ilustración que le solicitamos y por su paciencia en “traducir jeroglíficos”, vertiéndolos en gráficos legibles y de calidad que complementan este trabajo. A Mathew Larsen y Gerald Wiecezorek (USGS) por su aporte en

datos y aclaratorias del fenómeno. A Franco Urbani (UCV-FUNVISIS), por su paciente corrección del manuscrito. A quienes compartieron la idea de elaborar este trabajo y no perder un importante testimonio de este particular fenómeno natural que afectó a Venezuela a finales de 1999.

### BIBLIOGRAFÍA

- LAHUSEN R. 1996. Detecting debris flows using ground vibrations: *USGS Fact Sheet*.  
<http://vulcan.wr.usgs.gov/Proyectos/AFM/FS236-96/FS236-96.html>
- RODRÍGUEZ J. A., F. AUDEMARD, V. CANO, J. GONZÁLEZ, L. MELO, A. MOLINA & F. URBANI. 2002. Integración geológica y amenaza sísmica: contribuciones de FUNVISIS en el plan de ordenamiento territorial del estado Vargas. *II Jornadas Venezolanas de Impacto Ambiental*. Soc. Venezolana de Ing. Geofis.; Soc. Venezolana de Geólogos; Soc. Venezolana de Ingeniería de Petróleo. Porlamar, 6 al 8 de marzo de 2002. (CD-rom).
- SINGER A., C. ROJAS & M. LUGO. 1983. Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. Estudio Preliminar. *Serie Técnica FUNVISIS 03-83*, 245 p.
- WIECZOREK G., M. LARSEN, S. EATON, B. MORGAN & J. BLAIR. 2001. Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation. *USGS Open-file Report 01-144*. 40 p. (también en CD)
- KEATON J., L. ANDERSON & C. MATHEWSON. 1988. Assessing debrisflow hazards on alluvial fans in Davis County, Utah. In: *24th Annual Symp. Eng. Geology and Soils Engineering*. R. J. FRAGASZY (ed.). Publications and Printing, Washington State University, Pullman, Washington, p. 98-108.

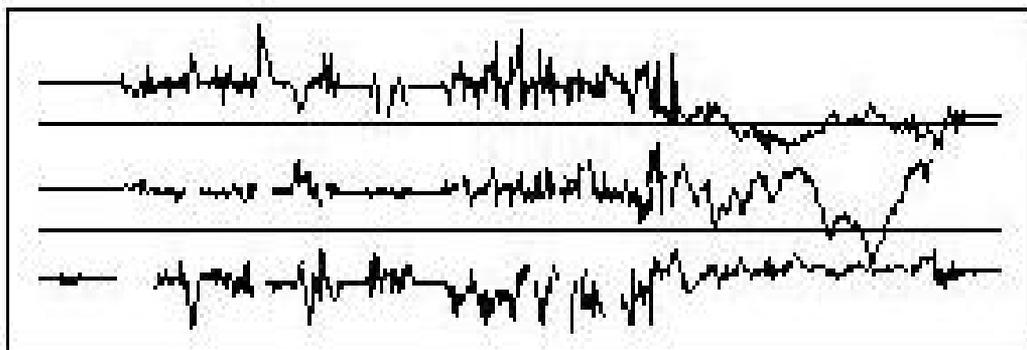


Fig. 2. Reproducción facsimilar del registro Caraballeda 1 previo a su procesamiento.

