

Determinación de la geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas con métodos geofísicos y geológicos

Michael Schmitz*, FUNVISIS, Gustavo Malavé, PDVSA-INTEVEP, Alberto La Cruz, PDVSA-E&P, José Cavada, UCV, Nuris Orihuela, FUNVISIS, Franck Audemard, FUNVISIS, Peter Kantak, FUNVISIS, y Manuel Diaz, PDVSA-E&P

Resumen

Basado en registros sísmicos obtenidos después del sismo de Caracas de 1967 y a realizar en febrero/marzo de 2000, se intenta definir la geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas, afectados por los aludes torrenciales de diciembre de 1999. Con el apoyo de perforaciones a realizar se espera poder datar las diferentes aludes torrenciales. El cono mas grande, el de Caraballeda, muestra profundidades del basamento rocoso mayores a 400 m en el centro, siendo esta profundidad mucho menor en la zona del campo de golf, donde se realizó una prueba sísmica reciente (70-80 m). Se considera la integración de otros métodos geofísicos para recopilación de información geotécnica y para el modelaje de la respuesta sísmica de los depósitos sedimentarios.

Summary

Based on existing seismic interpretations, obtained after the 1967 Caracas earthquake, and seismic measurements to obtain in february/march 2000, the geometry of the alluvial fans in the Vargas State, seriously affected by the debris flows of december 1999, will be determined. We expect to be able to date the recurrence time of the main debris flows using borehole information. The biggest alluvial fan at the Litoral, Caraballeda, shows depths to bedrock of more than 400 m in the center, decreasing towards the area of the golf club to about 70-80 m as derived by test measurements. We are considering to integrate other geophysical methods in order to provide information for geotechnical purpose and for the modeling of the wave response in case of an earthquake.

Introducción

El Macizo del Avila, que reina sobre la parte central de la Cordillera de la Costa, adquiere su aspecto actual a partir del Neógeno (e.g. recopilación hecha por Audemard, 1986), cuando se eleva esta parte de la cordillera, compuesta principalmente por esquistos y gneisses de edad Paleozoica-Precámbrica, removilizados al final del Paleozoico (Urbani y Ostos, 1989). Hoy en día, el Macizo del Avila está caracterizado por una topografía muy acentuada con elevaciones mayores que 2000 m en su cumbre, prolongado en dirección oeste – este, como barrera natural entre el Litoral Central y el Valle de Caracas. El levantamiento tectónico sigue activo, lo que

está documentado por relictos de superficies de aplanamiento en Caracas (Singer, 1977a) y se estiman valores de ascenso entre 0.03 y 1.0 mm/a (Schubert et al., 1977), basado en dataciones de antiguas líneas de playa. Desde el Picacho del Galipán en el oeste con 1.900 m de altura, el Macizo del Avila alcanza un máximo de 2.765 m en el Pico de Naiguatá en el este. Hacia la ciudad de Caracas en el sur hay una diferencia promedio en altura de aproximadamente 1 km con solo 3 km de distancia entre la cresta y el pie del relieve, mientras que esta diferencia aumenta a aproximadamente 2 km hacia la costa en el norte, con distancias que aumentan de 5 km en Maiquetía a 10 km en la zona de Naiguatá.

Las prolongadas lluvias caídas en la zona durante todo el mes de diciembre de 1999, con lluvias de gran intensidad los días 14 al 16 de diciembre de 1999, causaron numerosos derrumbes, deslizamientos, y flujos torrenciales los días 15 y 16 de diciembre de 1999. Las zonas mas afectadas por los flujos torrenciales fueron los conos aluviales en el flanco norte entre las localidades de Catia La Mar y Camurí Grande. En tiempos históricos han sido reportados varios eventos torrenciales de gran fuerza, de las cuáles los más desastrosos han sido los de los años 1798, 1951 y 1999. Los sedimentos depositados están compuestos por depósitos coluviales y acumulaciones caóticas en el Valle de Caracas (Singer, 1977b; FUNVISIS, 1978), mientras se intercalan con sedimentos marinos en la franja costera.

El objetivo del presente estudio es la determinación de la geometría de los conos aluviales ubicados en el flanco norte del Macizo del Avila, en el Estado Vargas, mediante mediciones sísmicas de refracción y de reflexión y a través de perforaciones. Se espera poder establecer ciclos de recurrencia de los eventos en los conos aluviales. Dada la elevada amenaza sísmica de la región (COVENIN 1998), se determinará la geometría de los conos aluviales con el fin de poder realizar modelajes de la respuesta sísmica de dichos depositos. Se aplicarán mediciones sísmicas de refracción y, donde sea factible, también de reflexión. Los pozos serán ubicados según los resultados de los estudios sísmicos y se aplicarán dataciones de los estratos aluviales, caracterización geotécnica y del potencial de licuación tanto como el control de velocidades V_p y V_s . Mediciones complementarias de resistividad eléctrica en los conos, como radar de suelo en la parte alta de las cuencas, ayudarán a evaluar el potencial de riesgo por los sedimentos acumulados en estas franjas de las cuencas.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

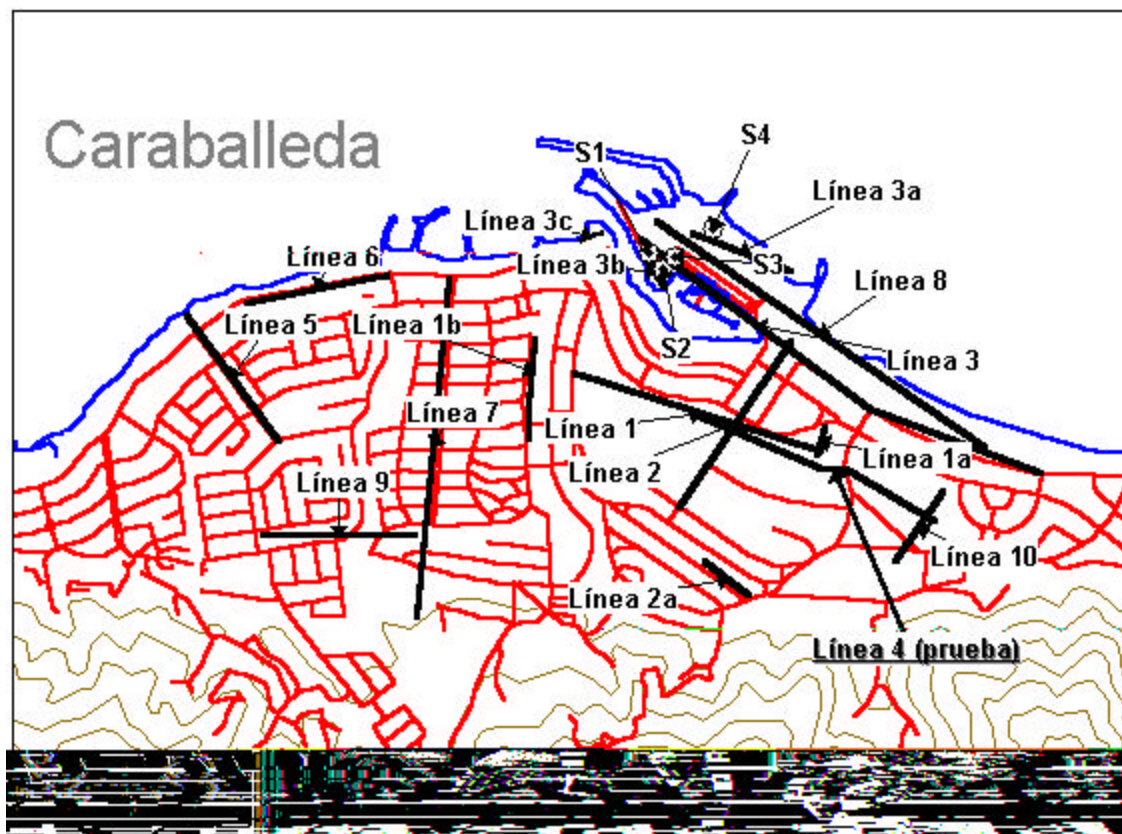


Figura 1. Mapa del cono de Caraballeda con las líneas sísmicas obtenidas después del sismo de Caracas (líneas 1-3c). Se indican la línea de prueba (4) y las líneas sísmicas previstas para febrero/marzo de 2000 (5-10). Círculos S1 – S4 indican la ubicación de las perforaciones existentes.

Hasta el momento (febrero de 2000) se cuenta con la información disponible por los estudios posteriores al sismo de Caracas de 1967 (Weston INC, 1969). Un primer perfil sísmico fue realizado en el cono de Caraballeda a comienzos de febrero del 2000 con el fin de determinar los parámetros para la adquisición sísmica. Los trabajos de adquisición sísmica están previstos para febrero/marzo de 2000, a las cuáles seguirán las primeras perforaciones.

Registros sísmicos existentes

El sismo de Caracas de 1967, que tuvo su epicentro al NW de La Guaira sobre la falla de San Sebastián, manifestó la importancia de las condiciones locales del suelo en los daños ocurridos tanto para el Valle de Caracas como para el Litoral Central (Seed et al., 1970). La zona de Caraballeda, donde ocurrieron los mayores daños en el Litoral, fue investigada detenidamente mediante perfiles sísmicos y perforaciones (e.g. Weston INC, 1969; Lineham

and Murphy, 1974; FUNVISIS, 1978). Se realizaron varias líneas sísmicas de refracción con longitudes hasta 1.5 km (figura 1), mediante las cuáles se determinaron profundidades del basamento de hasta 400 m (figura 2), lo que coincide con la profundidad del basamento planteado por la pendiente de la montaña. Se reportan suelos, en parte sueltos, con velocidades sísmicas (V_p) de 400 a 900 m/s con profundidades entre 5 y 20 m. La zona con suelos saturados y relleno compacto ($V_p = 1500 - 1850$ m/s) alcanza profundidades de 50 – 75 m, seguido por un estrato con un V_p de 2400 m/s, interpretado como roca sedimentaria o suelo cementado. El basamento con gneisses o esquistos muy sólidos está ubicado entre 100 y 400 m de profundidad, con una velocidad sísmica alrededor de 4000 m/s (e.g. FUNVISIS, 1978). Lamentablemente no han sido reportados nunca los datos sísmicos originales, por lo cuál no se puede juzgar el detalle de los resultados publicados.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

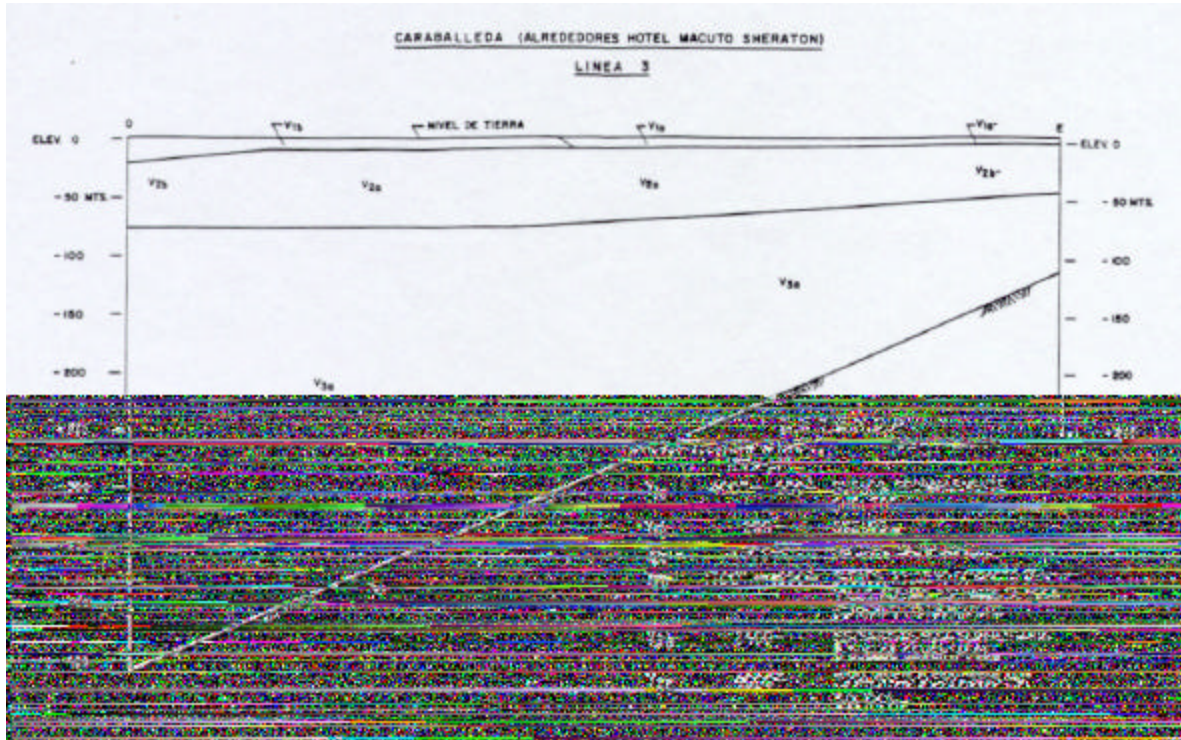


Figura 2. Velocidades sísmicas a lo largo de la línea 3 (Caraballeda, costa este) con una profundidad del basamento de unos 400 m debajo del Hotel Macuto Sheraton (FUNVISIS, 1978). Exageración vertical 2:1.

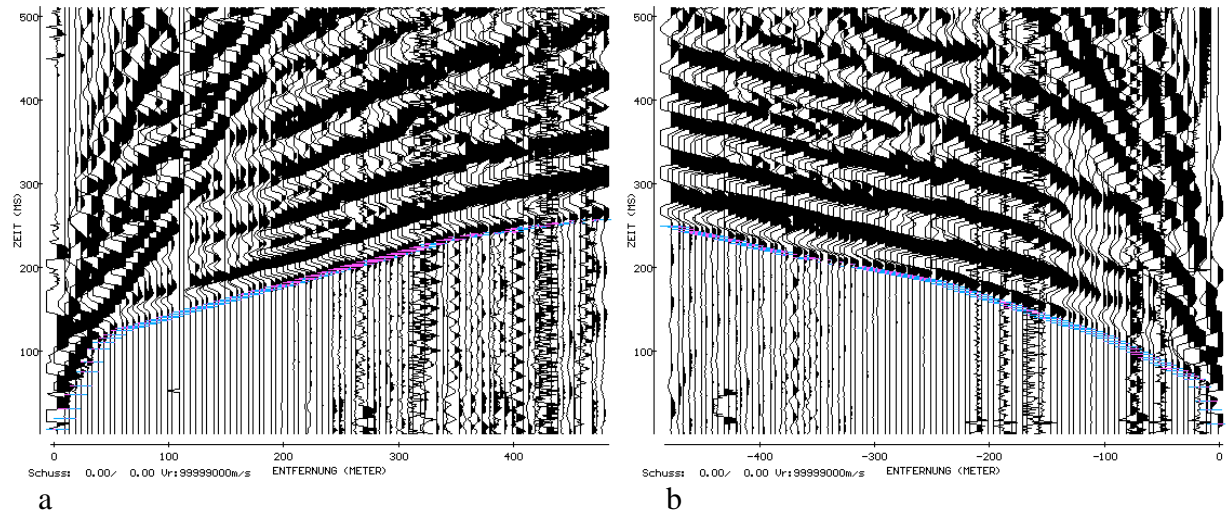


Figura 3a y b. Registros de la línea sísmica 4 en los campos de golf de Caraballeda, a) disparo a 0 m; b) disparo a 480 m; Los indicadores azules representan las primeras llegadas, usadas para los modelajes 1-D y 2-D.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

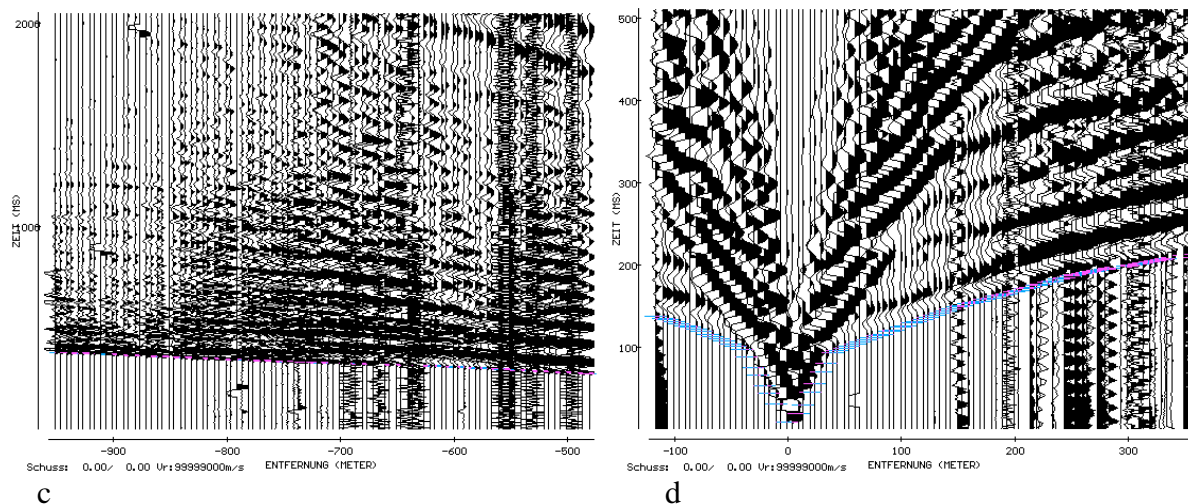


Figura 3c y d. Registros de la línea sísmica 4 en los campos de golf de Caraballeda, c) disparo a 960 m; d) disparo a 120 m. Los indicadores azules representan las primeras llegadas, usadas para los modelajes 1-D y 2-D.

Para la determinación de los parámetros para la adquisición de los perfiles sísmicos, se realizó un perfil de prueba en los campos de golf de Caraballeda (línea 4 en figura 1). Se registraron un total de 96 canales (dos equipos Geometrics StrataView de 48 canales en forma paralela) a lo largo de un perfil de 480 m con cargas de explosivos que varían entre 100 g y 3 kg, siendo la máxima distancia del disparo 960 m. Se observan primeras llegadas muy claras a lo largo del perfil (figura 3). Existen algunos indicios para un reflector a los 100 ms twt (figura 3d).

Los datos han sido procesados con el programa REFRA y el modelaje 2D se efectuó mediante el trazado de rayos con el programa RAYAMP. Para la línea 4 se presenta un modelo preliminar con tres capas planas, representando sedimentos sueltos con una velocidad V_p de 450 m en la parte superficial (0-20 m), sedimentos más compactados entre los 20 y 80 m de profundidad con V_p de 2.500 m/s y la superficie del basamento con una velocidad de 3.700 m/s entre 70 y 80 m de profundidad (figura 4). Según las interpretaciones obtenidas después del sismo de Caracas (Weston, 1969), ésta profundidad aumenta rápidamente hacia el NW, donde alcanza profundidades mayores a 250 m (figura 5).

Perforaciones existentes

Existen informes sobre 4 perforaciones de hasta 70 m de profundidad en los alrededores del Hotel Macuto Sheraton (FUNVISIS, 1978; ver figura 1). Según ellos, los conos están compuestos por los sedimentos provenientes de la falda norte del Avila, de suelos granulares gruesos, desde arenas y gravas hasta peñones grandes. En la franja costera se intercalan a estos sedimentos aluviales sedimentos

marinos de arenas finas y arcillas o limos plásticos, generalmente blandos, de unos 50 m de espesor (figura 6). Se considera la existencia de estos suelos blandos responsable de los daños ocurridos en el sector a consecuencia del sismo de Caracas de 1967 y con alto potencial de licuación (Castilla, 1999).

Mediciones previstas

Para la determinación de la geometría de los 11 conos aluviales en el Litoral Central entre Catia La Mar y Camurí Grande, están previstos 28 perfiles sísmicos con un total de 20 km de longitud. En el cono de Caraballeda se realizarán 2 perfiles sísmicos de reflexión, ya que la presencia de sedimentos marinos intercalados podría generar reflexiones someras. Se descarta el uso de perfiles sísmicos de reflexión como primera herramienta, ya que el perfil de prueba no mostró una reflectividad importante en los registros. Se realizarán entre 2 y 3 perfiles sísmicos de refracción para la caracterización de cada cono. Se ubicarán las perforaciones en cada cono, según los resultados de las mediciones sísmicas. Se intentará localizar el basamento en una perforación por cada cono, lo cual compromete una perforación profunda mayor de 400 m en Caraballeda y perforaciones de 100 m aproximadamente en los demás conos.

Las dataciones para poder establecer los ciclos de recurrencia de eventos torrenciales en los conos se basarán en la presencia de material orgánico para dataciones con el método C-14, tanto como dataciones mediante el método de termoluminescence (TL) y luminescencia de estimulación óptica (OSL), métodos que se basan en la exposición del cuarzo y/o feldespato al sol.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

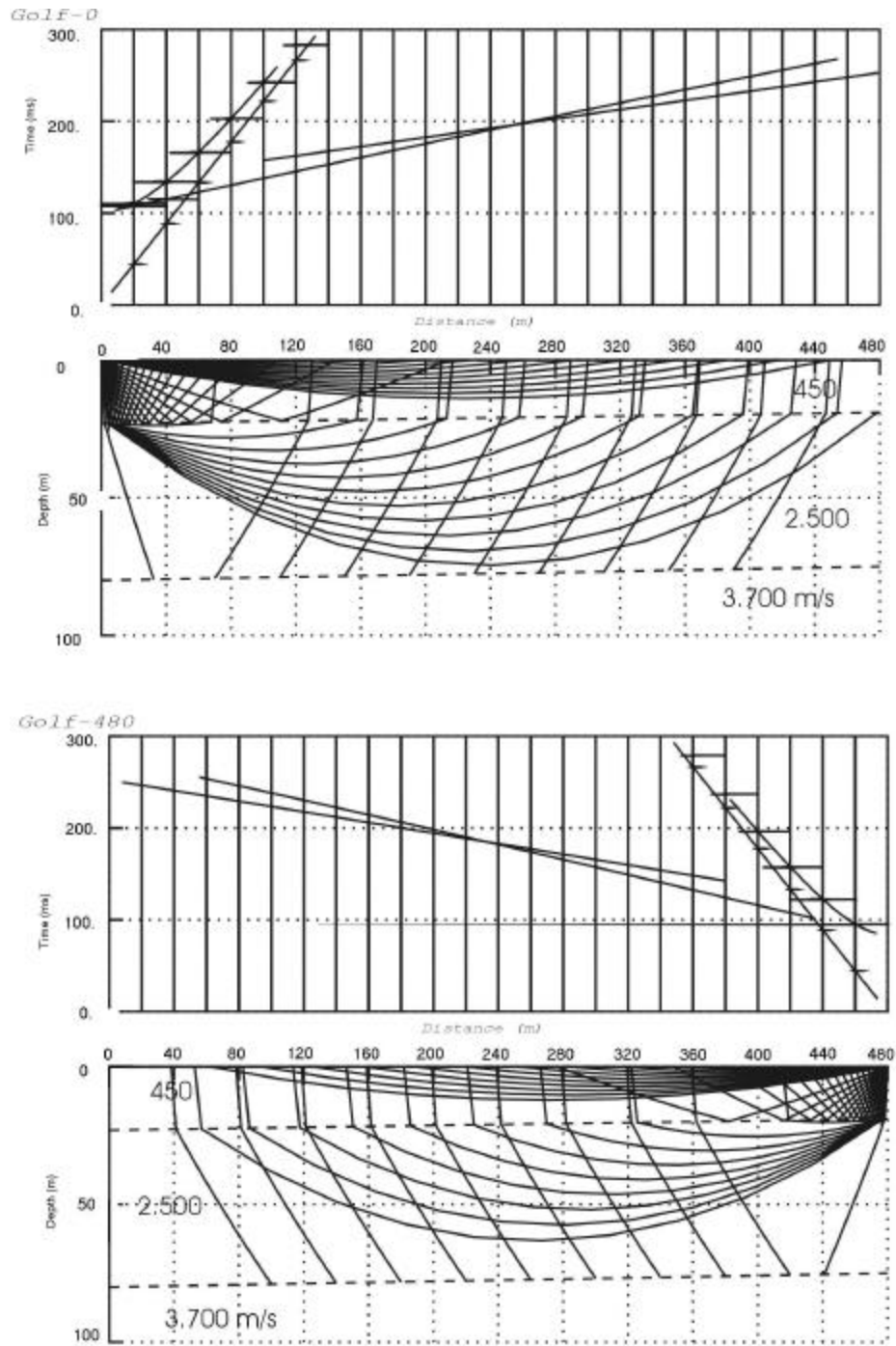


Figura 4. Modelo 2-D preliminar a lo largo de la línea 4 (prueba en el campo de golf) con trazados de rayos de los disparos ubicados a 0 y 480 m (parte inferior) con los tiempos de llegada calculados encima. Con este modelo simple se logra un buen ajuste de las llegadas observadas en estos dos registros (ver figura 3a y 3b).

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

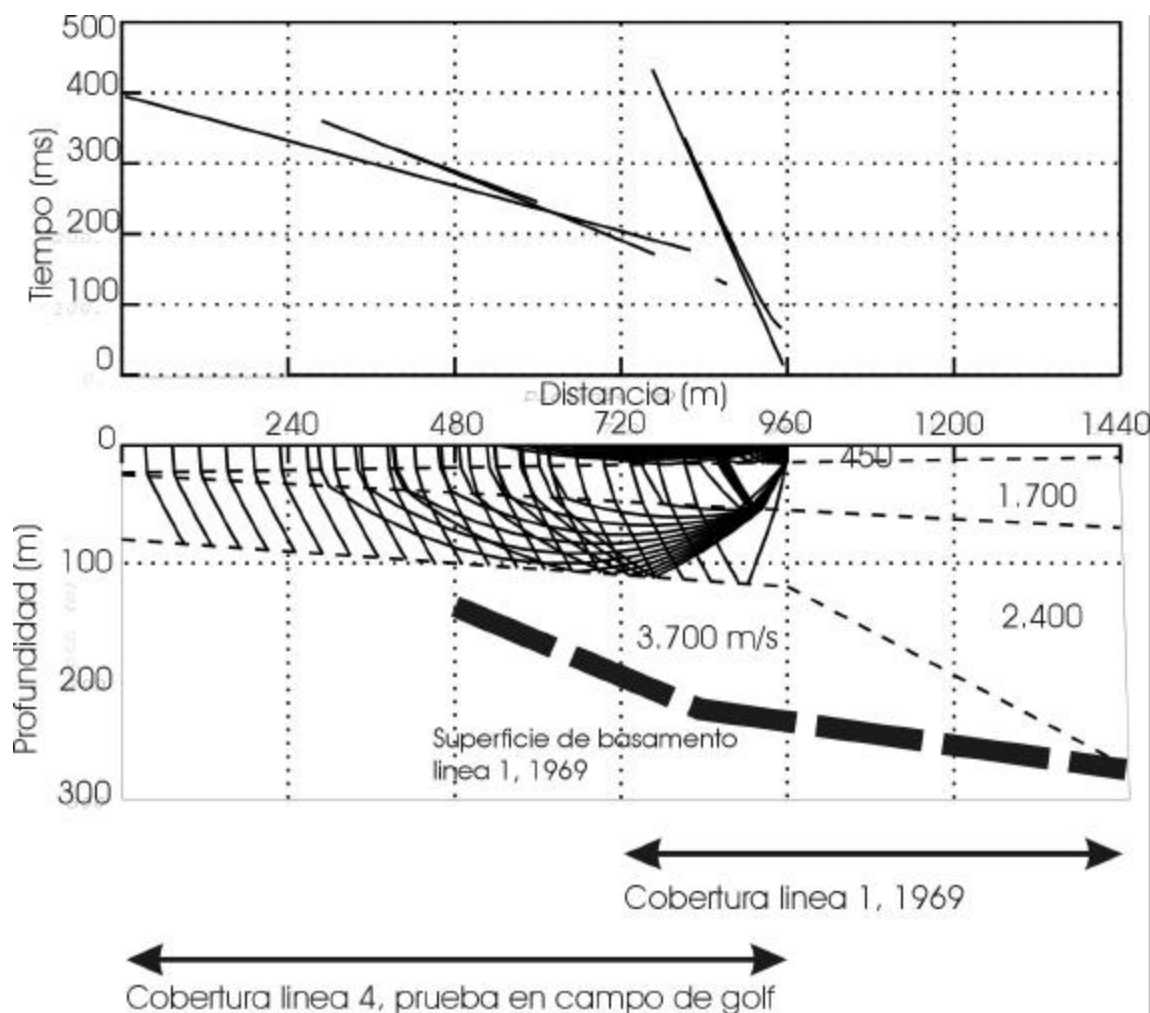


Figura 5. Modelo 2-D preliminar a lo largo de la línea 4 (prueba en el campo de golf) con trazados de rayos del disparo ubicado a 960 m (parte inferior) con los tiempos de llegada calculados encima. En este modelo se incorporaron los resultados de estudios anteriores, a lo largo de la línea 1 (Weston, 1969). Se evidencia que existen diferencias entre la profundidad del basamento en la parte central del perfil. Los estudios anteriores indican además un estrato con V_p de 1.700 m/s entre 10 y 70 m de profundidad. Este estrato se ve posiblemente reflejado en las observaciones de los disparos a 960 m y a 480 m (ver figuras 3 y 4). Con este modelo simple se logra un buen ajuste de las llegadas observadas en estos dos registros (ver figura 3a y 3b).

Datos complementarios para la datación de los eventos torrenciales podrían ser obtenidos mediante perforaciones en los sedimentos mas finos costa afuera de los conos aluviales. Las perforaciones principales, tanto como dos perforaciones secundarias en cada cono, serán aprovechadas para la determinación de los parámetros

geotécnicos y el potencial de licuación. Se realizarán además mediciones de las velocidades V_p y V_s en los pozos como insumo para el modelaje dinámico, datos que pueden ser complementados por mediciones del período de vibración predominante del suelo.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

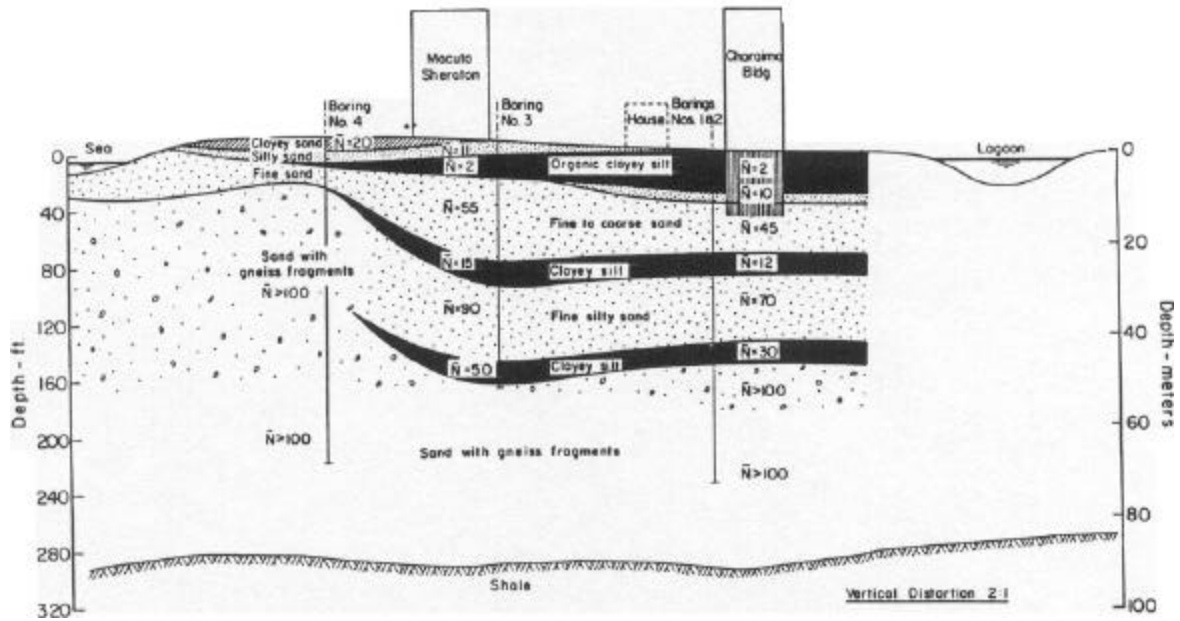
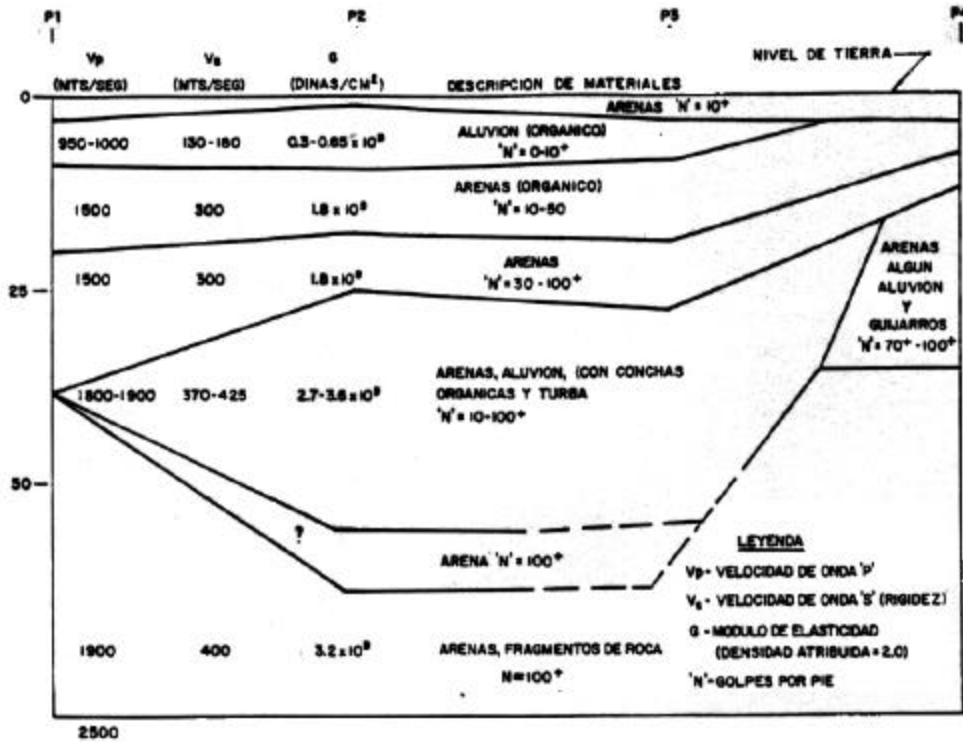


Figura 6. Condiciones de suelo a lo largo de la costa en Caraballeda (FUNVISIS, 1978) por mediciones de velocidades in situ (arriba) e interpretación de las perforaciones (abajo). Ubicación de las perforaciones ver figura 1, nota que el perfil de velocidades (arriba) va en dirección O-E, mientras el perfil interpretativo (abajo) va en dirección opuesta.

Geometría de los conos aluviales en el Estado Vargas

Conclusiones

Las mediciones geofísicas y geológicas previstas en el Litoral Central contribuirán a conocer el riesgo geológico de la zona, sobre todo en lo referente a la ocurrencia de flujos torrenciales así como del comportamiento de los suelos y de las estructuras ante la ocurrencia de un sismo. El perfil sísmico de prueba adquirido en la zona de los campos de golf de Caraballeda evidenció la dificultad de definir los diferentes eventos sedimentarios mediante reflexiones. En las mediciones de refracción, se identificaron estratos sedimentarios con velocidades V_p de 450 a 2.500 m/s hasta 70-80 m de profundidad, y el basamento rocoso caracterizado por V_p de 3.700 m/s. Se observan discrepancias en la profundidad del basamento entre la data existente (Weston, 1969) y la prueba sísmica reciente, por lo cual hay que corroborar la información existente mediante nuevas mediciones. Entendemos que estos estudios puntuales deberán ser integrados con los resultados de otros métodos geofísicos y geológicos y conllevar a estudios posteriores más detallados para poder de esta manera generar una base de datos confiable y de amplia cobertura.

Agradecimientos

La realización del perfil sísmico de prueba ha sido posible gracias al apoyo de Western Geophysical (perforaciones para las voladuras), CAVIM (voladuras) y el apoyo logístico de la Fuerza de Tarea conjunta Bravo (Ejército - B3). Se agradece a DIGECAFA poner a disposición los mapas y fotos aéreas de la zona.

Referencias

Audemard, F., 1986. Estudio de amenaza sísmica para las urbanizaciones La Punta y Mata Redonda al sur de Maracay. Informe de avance inédito, (Evaluación de

- la información geológica existente), FUNVISIS, 51 pp.
- COVENIN, 1998. COVENIN 1756-98 - "Edificaciones Sismorresistentes", Ministerio de Desarrollo Urbano – FUNVISIS.
- FUNVISIS, 1978. Segunda Fase del Estudio del Sismo ocurrido en Caracas el 29 de Julio de 1967. Ministerio de Obras Públicas, Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo, FUNVISIS, Caracas, Venezuela, Volumen A, pp. 517.
- Lineham, S.J. and Murphy, V.J., 1974. Caracas earthquake of July 1967: geophysical field measurements. 5th WCEE, Rome, Proceedings, 767-770.
- Schubert, C., Valastro Jr., S. Y Cowart, J.B., 1977. Evidencias de levantamiento reciente de la costa Norte-central (Cordillera de la Costa), Venezuela. Acta Cient. Venezolana, 28, 363-372.
- Seed, H.B., Idriss, I.M. and Dezfulian, H., 1970. Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquake of July 29, 1967. EERC-Report 70-2, Berkeley, California, pp. 40.
- Singer, A., 1977a. Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el área de Caracas. V Congr. Geol. Venezolano, Caracas, Excursión No. 1.
- Singer, A., 1977b. Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el Graben de Caracas, Venezuela. V Congr. Geol. Venezolano, Caracas, Vol. 4, 1861-1902.
- Urbani, F. y Ostos, M., 1989. El Complejo Avila, Cordillera de la Costa, Venezuela. GEOS, Caracas, No. 29, 205-215.
- Weston Geophysical Engineers International INC, 1969. Investigaciones Sísmicas en el Valle de Caracas y en el Litoral Central (bajo la planificación y supervisión de la Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo), pp. 1-22.