

DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE CORTE EN LOS PRIMEROS 30 M DE PROFUNDIDAD A PARTIR DE REFRACCIÓN POR MICROTREMORES ReMi EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MÉRIDA

Jennifer COLINA¹, Vanessa VOLCANES², Milgreya CERRADA^{1,2}, Francisco PINTO¹, Marianelly SALAS¹, Stephanie KLARICA², Reina ARANGUREN², José CHOY², Luis YEGRES³, Jesús ÁVILA³, Omar ZAMBRANO¹, Cecilio MORALES³, Adriana PÉREZ², Grelys SOSA⁴

¹ Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.

² Grupo de Geofísica, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes.

³ Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

⁴ Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.

COLINA J., VOLCANES V., CERRADA M., PINTO F., SALAS M., KLARICA S., ARANGUREN R., CHOY J., YEGRES L., ÁVILA J., ZAMBRANO O., MORALES C., PÉREZ A., SOSA G. (2014). Determinación de las velocidades de corte en los primeros 30 m de profundidad a partir de refracción por microtemores ReMi en el Área Metropolitana de Mérida. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1):18-26.

Manuscrito recibido: junio 2013; corregido recibido: enero 2014; aceptado: enero 2014

RESUMEN

Para conocer el valor de las velocidades de las ondas de corte promedio (Vs30), en la zona metropolitana de Mérida se adquirieron treinta y tres (33) sondeos sísmicos por el método de refracción por microtemores (microsisimos) (ReMi). Los valores de velocidad obtenidos se correlacionaron con la geología de la zona y se compararon con resultados previos de otros autores. Los valores de velocidad Vs promedio obtenidos en la zona de estudio están en el rango de 180 a 1520 m/s y aplican las formas espectrales S1 y S2 de las normas COVENIN 1756-1:2001 en la zona sísmica 5. Estos suelos se clasificarían como tipo B, C y D según la especificación de IBC.

Palabras clave: Dispersión, refracción, microsisimos, ondas superficiales, Vs30.

ABSTRACT

Shear wave velocities determination for the topmost 30 m from microearthquakes refraction, ReMi, of the Mérida metropolitan area. To determine shallow shear wave velocities (Vs30) in the Mérida metropolitan area, micro earthquake were recorded using 33 seismic lines. They were analysed using the refraction microtremor (ReMi) technique. The equipment used for the acquisition are digital seismographs (geometric geodes) and for data processing, the software ReMiTM SeisOpt®. The velocity values were analysed with the geology of the area and compared with the results of previous works. The value velocities in the area are between 180 to 1520 m/s and apply the spectral shapes S1 and S2 of standards CONVENIN 1756-1:2001, which indicated that these area is a seismic zone 5. In the study area the soil can be classified in class B, C and D, following specifications of IBC.

Key words: Dispersion, refraction, microearthquakes, surface waves, Vs30.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Mérida se caracteriza por ser sísmicamente activa, debido a que se encuentra ubicada cerca al sistema de fallas de Boconó; lo cual genera condiciones de inestabilidad geológica, junto al vertiginoso crecimiento poblacional que se ha venido desarrollando durante los últimos 20 años en zonas que presentan un alto grado de amenaza para la población. Por ello, se han efectuado numerosos estudios geofísicos con fines de microzonificación sísmica en el área metropolitana de Mérida, aplicando varias técnicas de adquisición entre las cuales se encuentra el método por sísmica de refracción tradicional de difícil aplicación en ciertas zonas urbanas (VASQUEZ 2005). Debido a ello, se empleó por primera vez en Mérida la técnica de microtemores (ReMi) desarrollada

por LOUIE (2001), como método de adquisición utilizando ruido sísmico ambiental, esta técnica es innovadora, de fácil aplicación, bajo costo, y permite realizar caracterización de sitio en función de la distribución de las velocidades de las ondas de corte, a partir del análisis de las ondas superficiales (ondas Rayleigh).

Esta investigación consistió en el análisis de 33 sondeos sísmicos dentro del área metropolitana, los datos que se generaron con este método de adquisición fueron procesados con el programa *SeisOpt®ReMi™*, para obtener la velocidad de las ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad y así conocer la condición de los suelos que componen el área metropolitana de Mérida según las *National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)*.

El producto que se deriva de esta investigación pretende ser un aporte al proyecto de microzonificación sísmica del área Metropolitana de Mérida, llevada a cabo por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y al proyecto FONACIT PEI 2011001375.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se localizó en el occidente de Venezuela, en la cordillera andina venezolana, específicamente en el área metropolitana de Mérida, y corresponde a los municipios Santos Marquina, Libertador y Campo Elías. Con una extensión de 9.410 km² y abarca las ciudades de Tabay, Mérida y Ejido (Fig. 1).

MÉTODO

Adquisición de datos

Se llevó a cabo durante dos campañas de trabajo de campo, en donde se realizaron 33 perfiles (Fig. 2).

Para la ubicación de éstos, se consideró que el sector en estudio debe presentar al menos 250 m de longitud,

preferiblemente islas o avenidas libres de oquedades, sin variaciones notables de pendientes y tuberías sub-superficiales y con una buena fuente de ruido ambiental. El levantamiento de estos perfiles fue ejecutado por personal de FUNVISIS, Laboratorio de Geofísica de la Facultad de Ciencias, estudiantes y profesores de la Escuela de Geológica de la Facultad de Ingeniería ambas dependencias de la Universidad de Los Andes.

La adquisición de los datos se realizó con los siguientes equipos: Dos sismógrafos digitales (*Geometrics Geode*), 48 geófonos de 4,5 Hz, cables de transmisión, comunicación y tipo “caimán”, una laptop, caja de interfaz (NIP), baterías y GPS (*Global Positioning System*). Un esquema del tendido ReMi se ilustra en la Fig. 3, la misma refleja cómo se disponen los componentes del equipo en el terreno. Posteriormente, los datos grabados en formato SEG2 fueron convertidos en formato SEG Y por medio de la aplicación del software *Reflexw 4.0* lo que permitió el manejo de los datos en el programa *SeisOpt@ReMiTM* (ambos licencia de FUNVISIS).

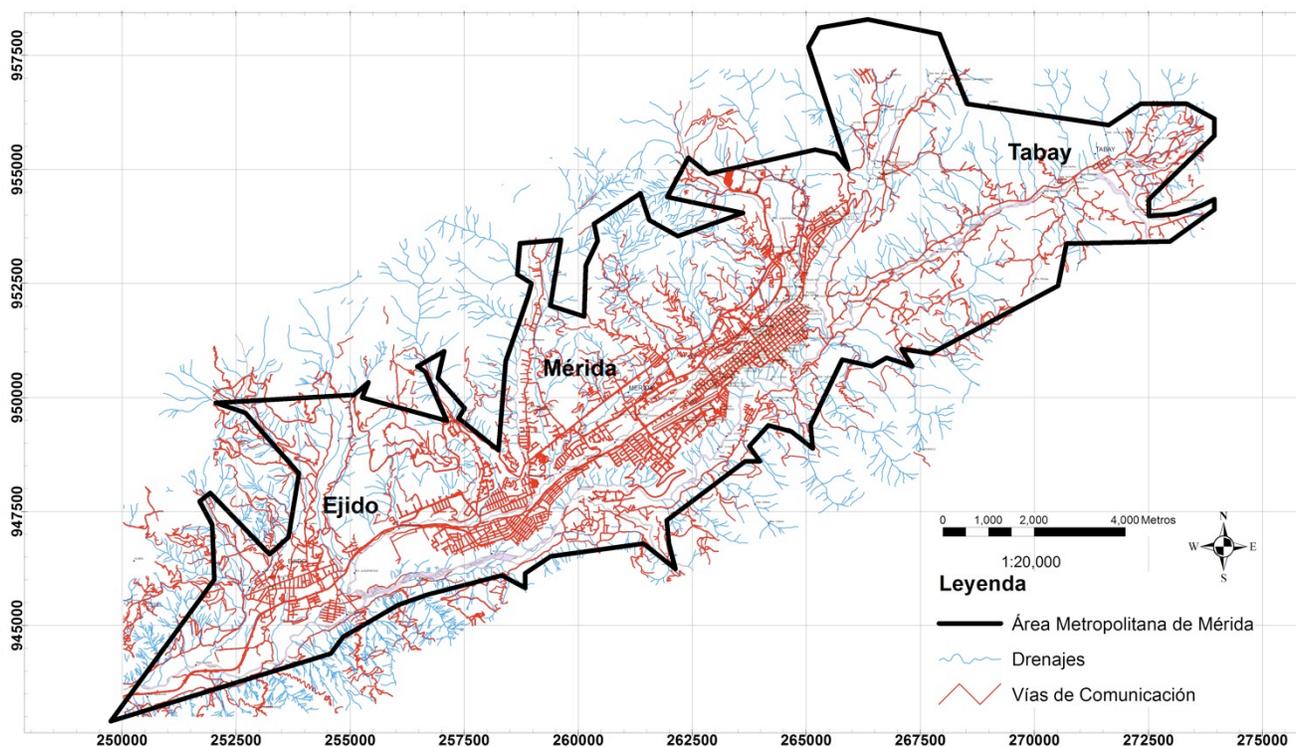


Fig. 1. Ubicación del área de estudio según la poligonal del Ministerio del Desarrollo Urbano, resolución N° 3001.

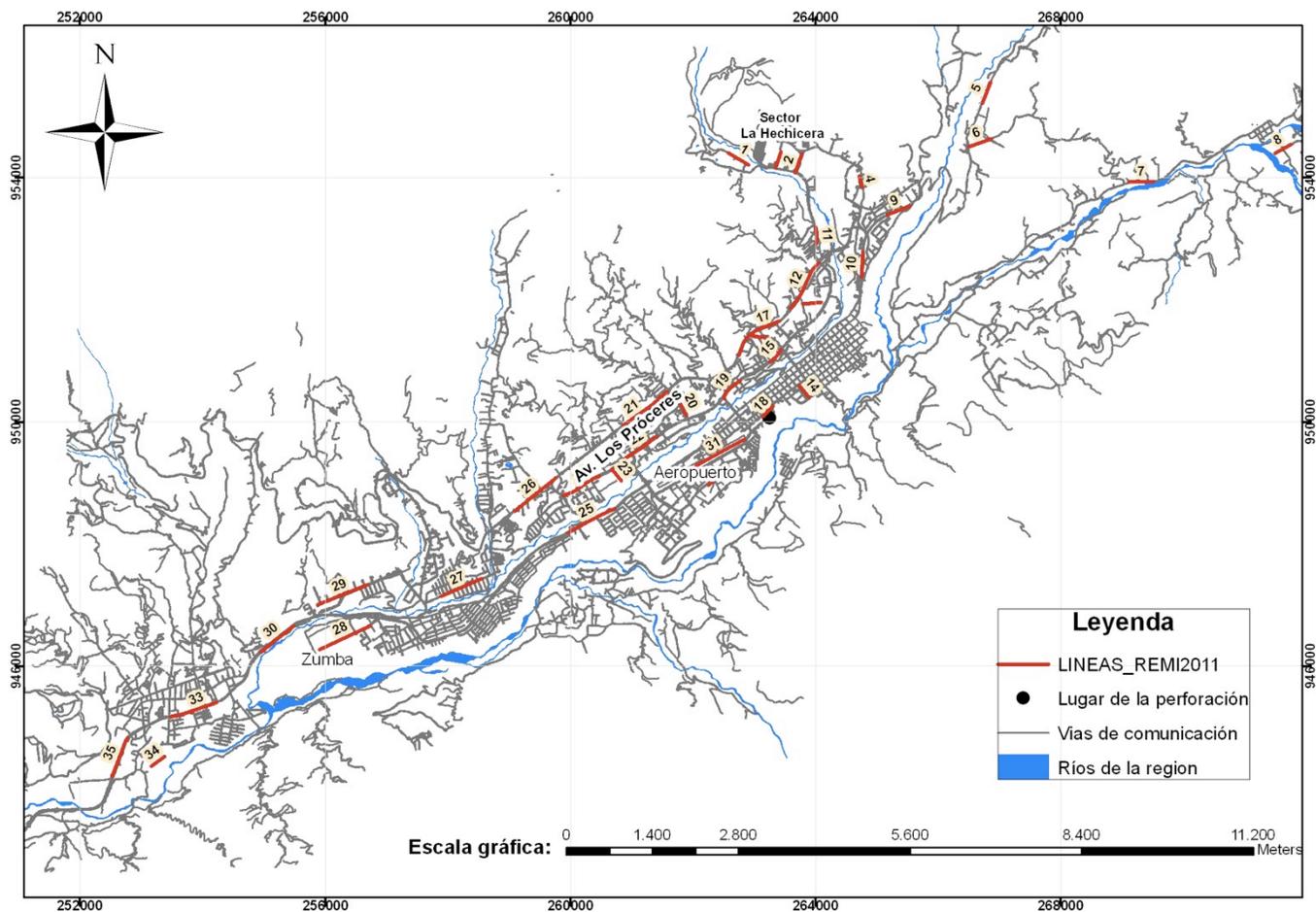


Fig. 2. Ubicación de las líneas ReMi.

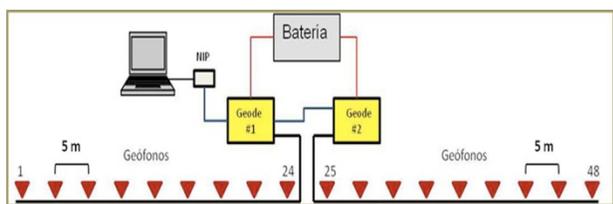


Fig. 3. Esquema general de un tendido sísmico para la adquisición de datos ReMi

Procesamiento de los datos geofísicos

Este método se basa en el análisis e inversión de la curva de dispersión de las ondas *Rayleigh* para un determinado sitio. El producto final del método es un perfil unidimensional de las velocidades de ondas de corte (V_s) en el área en estudio a través de los registros sísmicos que se obtienen en el pre procesamiento (Fig. 4) por medio del software *Reflexw 4.0*.

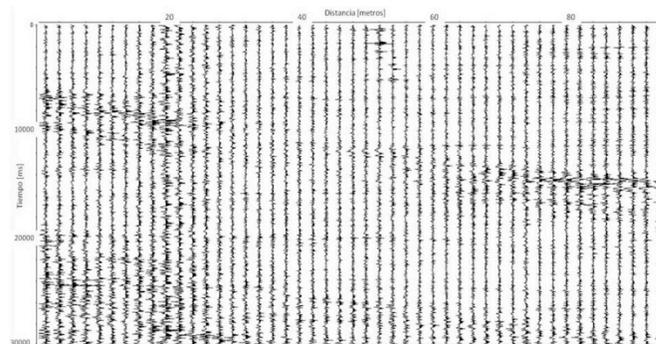


Fig. 4. Registro sísmico tipo.

El primer paso del análisis *ReMi* consiste en generar un espectro de energía de componentes del movimiento en función de frecuencia contra lentitudes (inverso de la velocidad), llamado espectro p-f (Fig. 5).

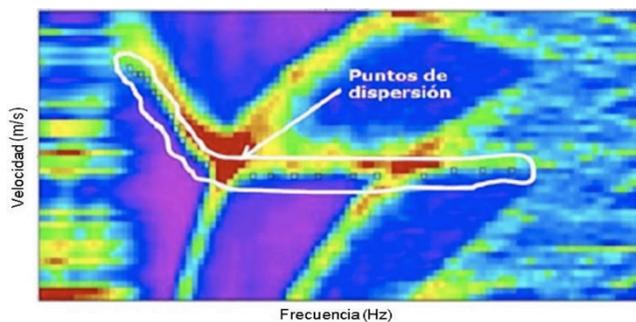


Fig. 5. Diagrama p-f.

En este espectro p-f, se pudo detectar con facilidad el primer modo de vibración de las ondas *Rayleigh*, que es un trazo que va de la esquina superior izquierda hacia la inferior derecha y se escogen manualmente los puntos de dispersión en la frontera inferior, que sirven para el posterior proceso de inversión. Por lo tanto se debe seleccionar los puntos que se encuentran en la transición entre el azul claro y el verde que representan el modo fundamental de la onda *Rayleigh*. (LOUIE 2001). Después del espectro p-f, se determina, la gráfica de períodos contra velocidad de fase de la onda *Rayleigh* (Fig. 6).

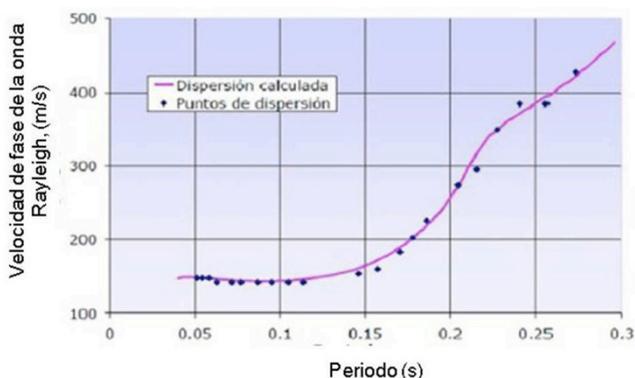


Fig. 6. Curva de dispersión de las ondas *Rayleigh*.

Por ser los períodos el inverso de las frecuencias, la curva pasa de ser descendente de izquierda a derecha a ascendente. La velocidad de fase (V_f) es la distancia que viaja una onda en un ciclo ($V_f = \lambda / T$).

Posteriormente, se calcula la curva de dispersión de un perfil de suelo, la cual se compara con la curva período - velocidad de fase de la onda *Rayleigh*; luego se realiza un procedimiento iterativo hasta que las curvas medida y calculada coinciden, para esta condición se establecen los espesores de los diferentes estratos y la velocidad de la onda de corte (V_s) para cada capa (Fig. 7). Finalmente se calcula la velocidad de onda de corte para los 30 primeros metros de subsuelo, y se clasifica el tipo de suelo según la Norma NEHRP.

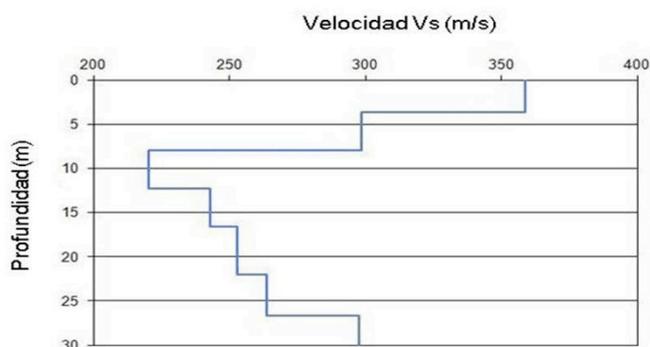


Fig. 7. Modelo unidimensional contra Profundidad.

Una vez realizado el procesamiento se hace una comparación con tres tipos de información: perforaciones geotécnicas, características de la geología de la zona y resultados presentes en trabajos anteriores (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS 1976, GUILLEN 2008, CAMACARO 2011, LINARES & VALERA 2011). Cabe destacar que las perforaciones geotécnicas no presentan grandes profundidades para correlacionar los modelos de velocidad obtenidos, por lo que, para calibrar esta información, se recurrió a una perforación de 140 m de profundidad realizada en el estacionamiento de la Facultad de Medicina de la Universidad de Los Andes (AZUAJE & BARROETA 2012) y de descripciones litológicas y sedimentológicas de taludes en el trabajo realizado por PRIETO & RODRÍGUEZ (2004). Finalmente con los datos obtenidos de V_{s30} para cada modelo se elaboró mediante un sistema de información geográfica (SIG) el mapa que permitió observar la distribución de la velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad en el área metropolitana de Mérida, y a su vez reconocer el tipo de suelo para cada sector según la clasificación IBC (*International Building Code*)

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como ejemplo del análisis de los resultados se presenta el perfil 23 (Ps23) (Fig. 8) el cual se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Mérida en la Avenida los Próceres específicamente en el Sector Santa Anita (Fig. 2).

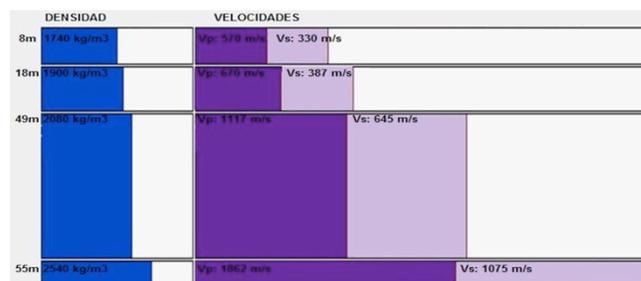


Fig. 8. Modelo 1D del Perfil PS23, ubicado al norte de la ciudad.

Se observa que el modelo de velocidad se extiende hasta una profundidad aproximada de 55 m (Fig. 8) y se encuentra dividido en cuatro estratos.

El estrato 1 con un espesor de 8 m, densidad de 1740 Kg/m³, este estrato presenta una velocidad de onda longitudinal (Vp) de 570 m/s, una velocidad de onda de corte (Vs) de 330 m/s; comparando estos valores con la perforación (Figs. 9 y 10) realizada por INGEOMIN (P-1) y (P-3) tomada de LINARES & VALERA (2011) se puede estar en presencia de un suelo orgánico en la parte superior, y a medida que se va aumentando la profundidad se encuentran arcillas arenosas de baja a media plasticidad con pequeños cantos de lutita.

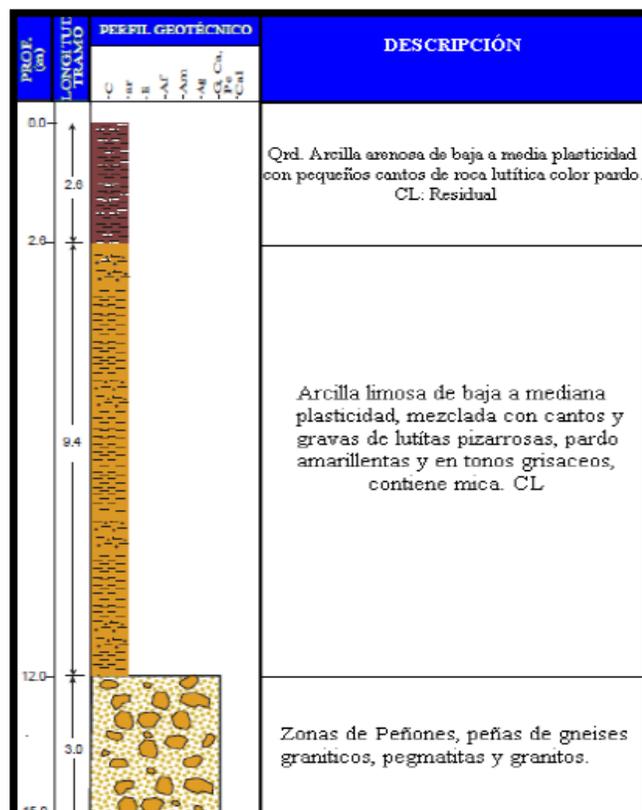


Fig. 9. Perforación P1 ubicada en la avenida los Proceres, frente al muro de la Facultad de Ciencias Políticas y Jurídicas (Tomado de Linares & Valera 2011).

El estrato 2 presenta un espesor de 9 m, densidad de 1900Kg/m³, velocidad de onda longitudinal (Vp) de 670 m/s y la velocidad de onda de corte (Vs) de 387 m/s, asociamos estos valores con una unidad geológica de arcillas limosas, mezcladas con cantos y gravas de lutitas pizarrosas, posiblemente de la formación Palmarito, se infiere esto debido a que es la formación que aflora cerca del lugar de realización el perfil. Estrato 3 con un espesor de 31 m, densidad de 2080 kg/m³, velocidad de onda

longitudinal (Vp) de 1117 m/s y la velocidad de onda de corte (Vs) de 645 m/s las relacionamos con un estrato constituido de peñones de gneis y granito, que suponemos proviene de la Asociación Sierra Nevada (Fig. 11) debido a que la terraza está constituida por materiales erosionados de esta Asociación.

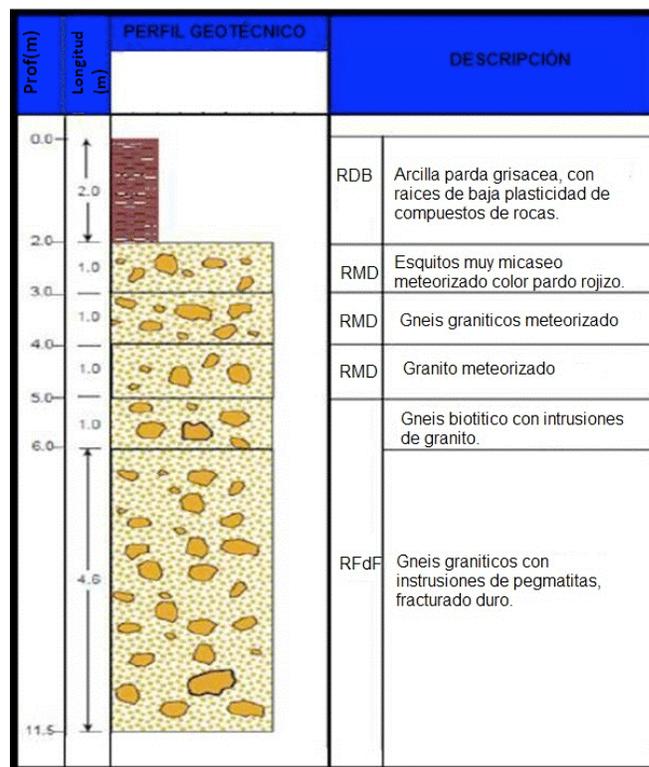
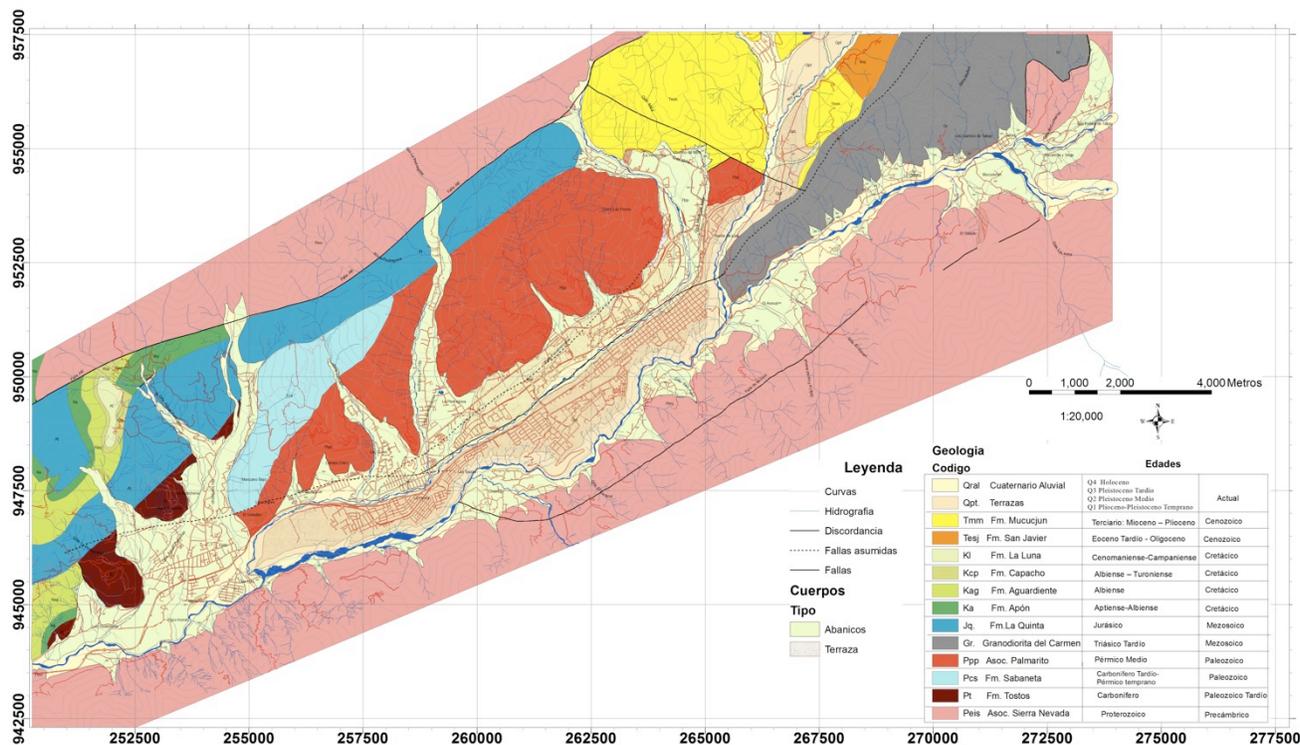


Fig. 10. Perforación P3 ubicada en la avenida los Proceres, cerca al sector Santa Anita. (Tomado de LINARES & VALERA 2011).

El estrato 4 se encuentra aproximadamente a los 49 m de profundidad, densidad de 2540 kg/m³ con velocidad de onda longitudinal (Vp) de 1862 m/s y velocidad de onda de corte (Vs) de 1075 m/s estos valores de velocidad se comparan con la descripción litológica realizada por (LINARES & VARELA 2011) (Fig. 12), por lo que se pudo inferir que se está en presencia de un material más compacto conformado por peñones, cantos de gneises y granitos meteorizados de la Asociación Sierra Nevada. Cabe destacar que los valores de densidad que se reportan en este artículo fueron utilizados del trabajo realizado por NAVA (2009).



Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geológica.
Geología del Área Metropolitana de Mérida

Autor: Prof. Pinto F.

Fig. 11. Geología del área metropolitana de Mérida.

	Velocidad de la onda S (m/s)	Espesor (m)	Descripción litológica
	170 - 425	3 - 11	Relleno vegetal, arcillas, limos y arenas muy finas
	425 - 880		Mezcla de arenas medias, gravas, con arcillas, limos y peñones en menor proporción.
			Peñones, cantos y gravas de gneis y granitos meteorizados duros a casi descompuestos de la Asoc. Sierra Nevada; fragmentos de areniscas de la Fm. Palmarito con matriz arena-limosa

Fig. 12. Descripción litológica y velocidad de las ondas de corte de las capas presentes en la terraza de Mérida (Tomado de LINARES & VARELA 2011).

La velocidad de onda de corte promedio hasta los 30 m de profundidad (V_{s30}) es de 438 m/s. Según la clasificación de tipo de suelo por el IBC, éste corresponde a un suelo muy denso, clase C. Según las normas COVENIN corresponde a un suelo muy duro o muy denso, asociado con la forma espectral S2.

Al analizar los 33 perfiles sísmicos, se deduce que de norte a sur existe una variación del espesor de sedimento y en el número de capas del sub suelo, todo ello en función de la irregularidad que presenta el basamento rocoso y de las formas particulares de deposición según la dinámica geológica que pudo influenciar en el área metropolitana de Mérida. De acuerdo al análisis por capas, estas se distinguieron por su densidad, velocidad de onda de corte característica y tipo de material que las conforma. Otro aspecto importante es la identificación de la variación de la composición litológica de los estratos del suelo superficial, al norte del río Albarregas, con respecto al suelo superficial que compone a la Terraza de Mérida, siendo el suelo cercano al Río Albarregas del tipo arcilloso, lo cual es lógico desde el punto de vista de la interpretación geológica, debido a que la principal fuente de aporte de sedimentos para esta zona es la formación Palmarito con presencia de lutitas grises a oscuras, limos, arenas, margas, calizas negras muy fosilíferas. Es importante resaltar que la composición litológica de la Terraza, en sus diferentes niveles es muy heterogénea debido al tamaño de clastos y sedimentos, dominando la Asociación Sierra Nevada y la Granodiorita del Carmen depositadas principalmente por el Río Chama, además destacan sedimentos de las formaciones Palmarito, Capacho, Sabaneta, Colon, La Luna, La Quinta, San Javier y Mucujún, que son depositados tanto lateralmente como

longitudinalmente según el sistema fluvial que lo transporte (PRIETO & RODRÍGUEZ 2004).

Todas estas variaciones del subsuelo, se adjudican a los distintos eventos geológicos que han actuado sobre el área metropolitana de Mérida, en donde los principales regímenes de sedimentación que influye en las características estratigráficas y sedimentológicas son la depositación fluvial y aluvial. Estos tipos de sedimentación, concatenada con otras variables como el proceso de litificación natural del suelo, intervienen directamente en el comportamiento mecánico - dinámico en los depósitos de sedimentos, lo cual se puede ver reflejado en el material dispuesto, se dan depositaciones en diferentes capas, con diferentes contenido de material, disposición geométrica de los granos y de las capas; todo ello en función de las características de los materiales de la roca madre o aportante y de los niveles de energía que presentan cada régimen de sedimentación lo que se traduce en variaciones en las características dinámicas del subsuelo, en función de los episodios y de sus características propias.

Respecto al subsuelo del área metropolitana de Mérida y a fin de tener una concepción geológica mas profunda de los distintos parámetros que intervienen en su conformación se pueden consultar los trabajos de PRIETO & RODRÍGUEZ 2004 y CORREDOR & DUGARTE 2010.

Distribución de las velocidades de onda corte de los primeros 30 m

Uno de los principales resultados en el presente estudio fue la obtención de las velocidades de las ondas de corte hasta los 30 m de profundidad (V_{s30}) y su clasificación según las normas IBC2000. En la tabla 1 se resumen los resultados y la clasificación según las norma, ya que a partir de la misma se puede reconocer la condición del suelo desde el punto de vista de compactación. El valor de V_{s30} generalmente se usa como un parámetro directamente relacionado con la consistencia del terreno, es por ello que es mundialmente aplicado en los diferentes códigos de clasificación de suelo. Estas recomendaciones se refieren a la respuesta del terreno frente a movimientos sísmicos y específicamente a los efectos de amplificación de las ondas de corte a nivel superficial (PUMAR 2010).

A continuación se muestra el mapa de distribución de las velocidades de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}), para el área de estudio (Fig. 13). De acuerdo a la clasificación adoptada se puede observar que predominan los suelos tipo C, que corresponden a suelos muy densos o roca meteorizada, con una resistencia a la penetración $N > 50$, lo que corresponde con estudios geotécnicos realizados en el área de estudios (CAMACARO 2011), en los cuales se puede observar que este valor se alcanza a pocos metros de profundidad. Esta clasificación indicó que el área metropolitana de Mérida se asienta sobre un suelo firme con posible buen comportamiento ante eventos sísmicos.

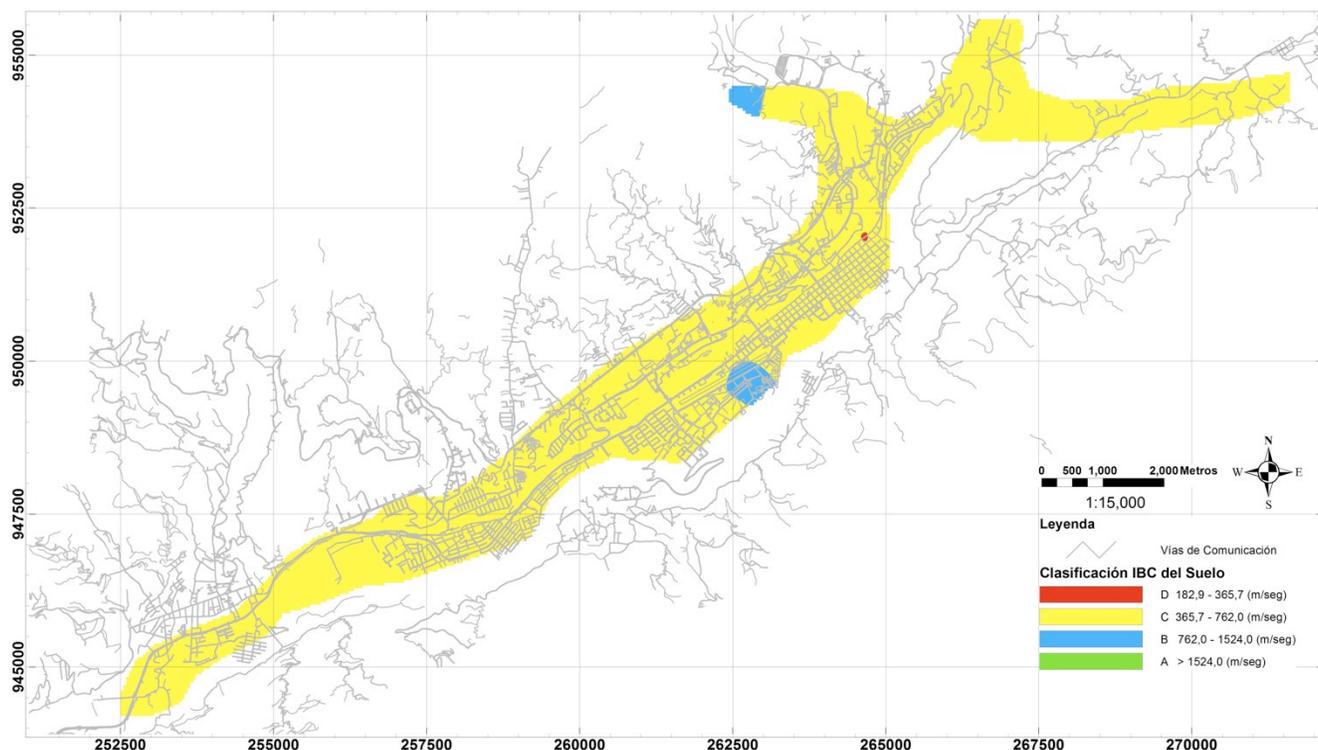


Fig. 13. Distribución de las velocidades de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}).

Colina et al. 2014. Determinación de las velocidades de corte a 30 m a partir de refracción por microtemores ReMi en el Área Metropolitana de Mérida.

Tabla 1. Resumen de velocidades de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30})

Perfil Sísmico	Coordenadas UTM Este	Coordenadas UTM Norte	Vs30 (m/s)	IBC Clase de suelo	Lugar de referencia
PS1	263425	954242	527	C	Edf. Matemáticas, Facultad de Ciencias, ULA
PS2	263668	954081	540	C	Frente a la pista del C.U. Pedro Rincón Gutiérrez
PS3	263995	953200	563	C	Residencias estudiantiles Domingo Salazar
PS4	263803	951932	534	C	Conjunto Universitario "La Lira"
PS5	264709	952032	267	D	Facultad de Ciencias Forestales, ULA
PS6	264748	952032	526	C	Avenida Universidad, frente al Hotel Tibisay
PS7	265526	953536	478	C	Avenida Universidad, Vuelta de Lola
PS8	262536	949205	726	C	Campo de Oro Puente de Ingeniería y Mantenimiento
PS9	263157	950097	435	C	Antigua Facultad de Ingeniería, ULA
PS10	263737	950593	746	C	Estadio Lourdes
PS11	262962	950593	461	C	Centro Comercial El Viaducto
PS12	263426	951175	483	C	Centro Comercial Plaza Mayor
PS13	261887	950111	410	C	Paralelo a las Residencias El Rodeo
PS14	252526	944222	548	C	Ejido, diagonal al aviso de la Coca-Cola
PS15	253378	944523	660	C	Cementerio de Ejido
PS16	254205	945404	537	C	Ejido, frente al Centro Comercial Centenario
PS17	254964	946247	758	C	Debajo del enlace de Zumba (Pan de Azúcar)
PS18	262814	949703	1182	B	Aeropuerto Alberto Carnevalli
PS19	262513	950391	527	C	Mercado Principal
PS20	269123	953931	588	C	Tabay
PS21	271496	954405	561	C	Vía La Mucuy
PS22	266839	954634	366	C	El Vallecito, vía El Alto
PS23	266851	955564	732	C	Pista de aeromodelismo
PS24	264044	952606	438	C	Sector Santa Anita
PS25	263400	951641	525	C	Frente al Conjunto Residencial Rosa "E"
PS26	261556	950492	440	C	Av. Los Próceres Sector Pie del Tiro
PS27	259093	948542	444	C	Frente al Cementerio La Inmaculada
PS28	256694	946650	728	C	Zumba
PS29	255893	947011	653	C	Campo Claro
PS30	260195	948308	482	C	Avenida Andrés Bello
PS32	259898	948798	459	C	Av. Las Américas, frente a los bomberos
PS35	262570	954412	1138	B	Santa Rosa

CONCLUSIONES

En el área de estudio se obtuvieron velocidades de la onda de corte para los primeros 30 m entre 270 a 1180 m/s, comparando estos valores de velocidad con las normas IBC indica que el área metropolitana de Mérida se asienta sobre un suelo firme con posible buen comportamiento ante eventos sísmicos.

Según las normas IBC la clasificación de los suelos del área Metropolitana de la ciudad de Mérida se encuentran en dos rangos el primero entre $365 \leq V_s \leq 762$ el cual pertenece a un suelo clase C (suelo muy denso y roca blanda) y el segundo entre un rango de $182 \leq V_s \leq 365$ un suelo tipo D (suelo firme).

Según las normas COVENIN 1756-1:2001 el área de estudio corresponde a la zona sísmica 5 y aplican las formas espectrales S1 y S2.

Entre los perfiles sísmicos que se estudiaron se destacan tres casos de especial interés que corresponde a los que se ubicaron cerca a La residencia Domingo Salazar (PS3), avenida las Américas frente al C.C Plaza Mayor (PS12), avenida los Próceres frente a las residencias Rosa E (PS25), en los cuales los modelos de velocidad mostraron una inversión, a estos casos se debe prestar mayor atención, debido a que durante un evento sísmico pueden provocar amplificaciones de las ondas sísmicas generando efectos de sitio.

Este método es una alternativa rápida, confiable y económica para determinar las velocidades de ondas de corte debido a que utiliza fuentes pasivas representa una ventaja a nivel ambiental con respecto a la sísmica de refracción tradicional, esto es debido a que esta técnica (sísmica de refracción tradicional) puede resultar costosa, problemática y muy difícil de ejecutar en medios urbanos, es decir, se requieren de fuentes importantes de energía para superar el gran nivel de ruido ambiental presente en las señales útiles de las mediciones de sísmica de refracción o reflexión.

Los resultados mostrados complementan los estudios geofísicos realizados (gravimetría, ruido sísmico ambiental y sísmica de refracción tradicional realizado por (NAVA 2009) y los trabajos realizados por (LINARES & VALERA 2011), entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece el apoyo económico del FONACIT proyecto PEI 2011001375.

Para la exitosa culminación de este proyecto se conto con la colaboración de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) a través del proyecto 2007333939 (MISIÓN CIENCIAS).

BIBLIOGRAFÍA

AZUAJE I. & F. BARROETA. 2012. *Caracterización geoquímica y sedimentológica a partir de una perforación de 140 m en la terraza de Mérida, Edo Mérida*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de

Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 200 p.

CAMACARO F. 2011. *Estimación de las Velocidades promedio de las ondas de corte en los primeros 30 m de profundidad (V_s30) inferidos a partir del Relieve en el Área Metropolitana de Mérida*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 270 p.

COMISIÓN AD-HOC. 2001. *Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2001*. FUNVISIS.
http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/covenin1756_2001.pdf. Consulta 14 noviembre 2013.

CORREDOR Z. & L. DUGARTE. 2010. *El Cuaternario en el Área Metropolitana de Mérida: Una Visión General*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 200 p.

GUILLEN R. 2008. *Comparación de Perfiles de Velocidad de Onda P y S obtenidas por el Método Sísmico de*

LINARES I. & N. VALERA. 2011. *Análisis de la dispersión de ondas superficiales en el subsuelo del Área Metropolitana de Mérida*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 370 p.

LOUIE J. 2001. *Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays*. Bssa, Vol.91, No.2, p. 347-364. Reno, Nevada, U.S.A.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1976. *Microzonificación sísmica de la Meseta de Mérida*. Tomos I y II. Caracas, Venezuela.

PUMAR J. 2010. *Estudio de parámetros elásticos y geotécnicos en la transecta Guarenas-Guatire mediante métodos sísmicos*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Escuela de Física. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciado en Física, inédito, 140 p.

PRIETO D. & R. RODRÍGUEZ. 2004. *Caracterización sedimentológica de la terraza de Mérida*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 200 p.

VÁSQUEZ T. 2008. *Aplicación de técnicas de vibraciones ambientales: análisis de microtremores y vibraciones naturales, para la caracterización de sitio, en estudio de ingeniería civil*. Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geofísico, inédito, 116 p.