

ESTIMACIÓN DE V_p , V_s Y ESPESORES SEDIMENTARIOS EMPLEANDO REFRACCIÓN SÍSMICA EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS

Jesús GONZÁLEZ y Nuris ORIHUELA

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Laboratorio de Geofísica Aplicada, Caracas, 1041-A, Venezuela

GONZÁLEZ, J., ORIHUELA, N. (2014). Estimación de V_p , V_s y Espesores sedimentarios empleando refracción sísmica en la Ciudad Universitaria de Caracas. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1):35-43.

Manuscrito recibido: febrero 2014; corregido recibido: junio 2014; aceptado: junio 2014

RESUMEN

En este trabajo de investigación se plantea como objetivo principal la determinación de los valores de velocidades de onda P (V_p), velocidades de ondas S (V_s) y espesores del suelo, aplicando métodos de sísmica de refracción y la respectiva correlación con los datos geológicos y geotécnicos preexistentes en la zona. Para la evaluación geofísica se realizaron un total de 30 perfiles de sísmica de refracción.

Los espesores de sedimentos en la zona varían desde 0 m al norte, donde aflora la Formación Las Mercedes, hasta 65 m de espesor sedimentario al sur. Los valores V_p para la zona en estudio varían entre 400 m/s y 1500 m/s, evidenciando una alta variabilidad litológica; mientras que los valores de V_s se encuentran en el rango de 220 m/s a 720 m/s, lo que indica que la zona posee una velocidad de corte en promedio alta. De forma general, se puede interpretar que tanto la onda P como S muestran una distribución de los mayores valores de velocidades hacia la zona donde están presentes los menores espesores sedimentarios, permitiendo dividir el campo de la Universidad Central de Venezuela en 2: la zona oeste puede clasificarse en suelo denso o roca suave y la zona este que puede clasificarse en suelo suave.

Palabras clave: Sísmica de refracción, V_p , V_s , geotecnia, SPT.

ABSTRACT

In this work the values of V_p , V_s and thickness of the soil were estimated applying seismic refraction methods and correlation with existing geological and geotechnical data in the area. For the geophysical evaluation a total of 30 seismic refraction profiles were taken.

Thickness of the sediments in the zone range from 0 m to the North, where Las Mercedes Formation outcrops, up to 65 m sedimentary thickness to the South. The V_p values for the area of study range from 400 m/s to 1500 m/s, showing a high lithological variability; while values of V_s are in the range of 220 m/s to 720 m/s, indicating that the area has a high average cutting speed. In general, it can be interpreted that for both P and S waves the distribution of higher speed values occur in the areas where fewer sedimentary thickness are present, allowing to divide the campus of the Universidad Central de Venezuela in 2 zones: the West zone that can be classified as dense soil or soft rock and the East zone that can be classified as soft ground.

Key words: Seismic refraction, V_p , V_s , geotechnics, SPT.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Central de Venezuela (UCV) ubicada en la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC) fue diseñada por el arquitecto Carlos Raúl Villanueva e inaugurada en el año 1953, asimismo fue declarada Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000. En la actualidad, ciertas edificaciones de la CUC presentan problemas de tipo estructural entre los que destacan: agrietamiento de paredes, pisos y techos, provocados posiblemente por asentamiento diferencial del terreno; razón por la cual resulta de gran importancia realizar un estudio geotécnico que permita caracterizar y conocer las propiedades físicas del suelo en el *campus* universitario de la UCV. Debido a la gran importancia

histórica y cultural que constituye la UCV, resulta necesario identificar de forma detallada las posibles causas geológicas de los problemas estructurales antes mencionados, para poder orientar a los expertos en las aplicaciones de los correctivos necesarios. Es por esta razón es que en este trabajo se utilizó la geofísica como una herramienta alternativa de gran importancia (SMITH 1978) que permitió junto a la información geológica, obtener una óptima caracterización del subsuelo somero del CUC, complementando la información existente de la zona.

En este trabajo de investigación se realizó un estudio integrado de detalle empleando métodos sísmicos y correlacionando la información obtenida con la información geológica existente en la zona, de esta manera fue posible la

generación mapas y perfiles de las distintas propiedades físicas del medio, para obtener un análisis más detallado del problema y apoyar en la toma de decisiones para los correctivos.

MARCO GEOLÓGICO

El área en estudio se encuentra ubicada en el valle de Caracas en el tramo central de la cordillera de la Costa, sistema montañoso del Caribe. Esta cordillera es geomorfológicamente compleja, debido en parte a que las secuencias volcánicas y metamórficas se asocian con unidades sedimentarias, cuya combinación influye sobre la complejidad topográfica del sistema. Debido a esto, la zona cuenta con diferentes tipos litológicos, los cuales han sufrido diferentes procesos de deformación y metamorfismo (KANTAK 2001).

El valle de Caracas se extiende en dirección este-oeste con una topografía relativamente plana, al norte se encuentra la cordillera de la Costa y al sur elevaciones montañosas más bajas. La longitud del valle es de 25 km y está comprendido desde Petare al este hasta Antimano al oeste; con una elevación promedio de 900 m.s.n.m. Debido a la presencia de altas pendientes de la montaña del Avila al norte, se observa en el valle la presencia de abanicos aluviales que hacen de esta una zona geológicamente variable y compleja. A lo largo del valle de Caracas se encuentra el río Guaire que constituyó otra fuente de aporte de sedimentos importante (KANTAK 2001).

Específicamente en el área en estudio aflora la Formación Las Mercedes, aunque para la escala de la investigación la zona se ubica en una cuenca de sedimentos cuaternarios, constituida principalmente por aluviones, siendo la Formación Las Mercedes el basamento sobre el cual se encuentran depositados los sedimentos.

La Formación Las Mercedes ha sido descrita como una asociación metamórfica de edad jurásica a cretácica y de origen calcáreo, con contenido de grafito y micas observables localmente (ACERO & DOMÍNGUEZ 2005). SALCEDO & ORTAS (2004) en un estudio a detalle realizado sobre la fila de la Sierra Maestra encontraron que la zona puede ser dividida en dos secuencias: el tope se encuentra a un intervalo de suelo de origen residual de 1 a 4,5 m de espesor constituido por arena limosa y limo arenoso – arcilloso, característico por su color rojizo y hacia la base la roca *in situ* constituida por esquistos cuarzo micáceos interfoliados con esquistos cuarzo calcáreos micáceos, que presentan mayor índice de meteorización hacia las mayores elevaciones del terreno, estos esquistos conforman la litología predominante de la Ciudad Universitaria de Caracas y sirven de basamento geotécnico para toda la secuencia sedimentaria depositada por la acción del río Guaire al norte y el río valle al sur de la CUC.

La cobertura sedimentaria de la cuenca es característica de un ambiente fluvial continental (GALAVÍS 1983) que han formado secuencias constituidas por acumulaciones de arena fina con espesores de entre 1 y 10 m aproximadamente, intercaladas con estratos de arcilla o

arcilla limosa, en forma de láminas o cuñas, con espesores de varios metros. Entre los estratos se encuentran estructuras en forma de lentes constituidos por arena fina, arenas limosas y arenas con gravas que suelen ser idóneos para la acumulación de aguas subterráneas, sobre todo si el lente está rodeado por otro estrato de sedimentos más finos, como por ejemplo, una arcilla fina (GALAVÍS 1983, ACERO & DOMÍNGUEZ 2005). Las estructuras lenticulares tienen algunos metros de longitud, mientras que las láminas de arena o arcilla limosa pueden tener hasta 150 m de largo y poseen la peculiaridad que pueden mostrar variación lateral en el tamaño de grano, pasando desde arena en un extremo hasta arcilla o arcilla limosa en el otro (GALAVÍS 1983), haciendo de esta una zona litológicamente variable y compleja. Otros autores describen que la zona en estudio está constituida por depósitos lacustres caracterizados por sedimentos limo-arcillosos provenientes de la obturación de los ríos Guaire y Valle, y por una planicie aluvial de descarga y de inundación de los mismos ríos en el sector de Plaza Venezuela (SINGER *et al.* 2007).

ADQUISICIÓN

Para la caracterización geofísica de la CUC se dividió el área en estudio en 8 zonas de trabajo donde se realizaron los perfiles sísmicos (Figura 1), estas zonas de trabajo fueron seleccionadas tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Zonas donde es logísticamente factible la colocación de los equipos para realizar los perfiles sísmicos.
- Zonas en las cuales se poseía mayor cantidad de datos geológicos provenientes de las perforaciones geotécnicas para garantizar que fuera posible la correlación geofísica –geológica.
- Las zonas de trabajo empleadas se describen en la tabla 1 en función de su ubicación en el Campus de la Ciudad Universitaria de Caracas.

Tabla 1. Ubicación de las zonas de trabajo

ZONA	UBICACIÓN
1	Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica – Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales. Facultad de Farmacia
2	Facultad de Ingeniería. Alrededores del edificio de las Escuelas de Geología Minas y Geofísica, Química y Petróleo. Escuela de Ingeniería Civil
3	Facultad de Arquitectura – Estadio Olímpico Universitario
4	Facultad de Ciencias Económicas y Sociales (FACES) – Comedor - Tierra de Nadie
5	Facultad de Medicina – Biblioteca Central
6	Hospital Clínico Universitario (HCU)
7	Facultad de Ciencias – Facultad de Odontología
8	Estacionamiento y jardines posteriores de la Facultad de Medicina

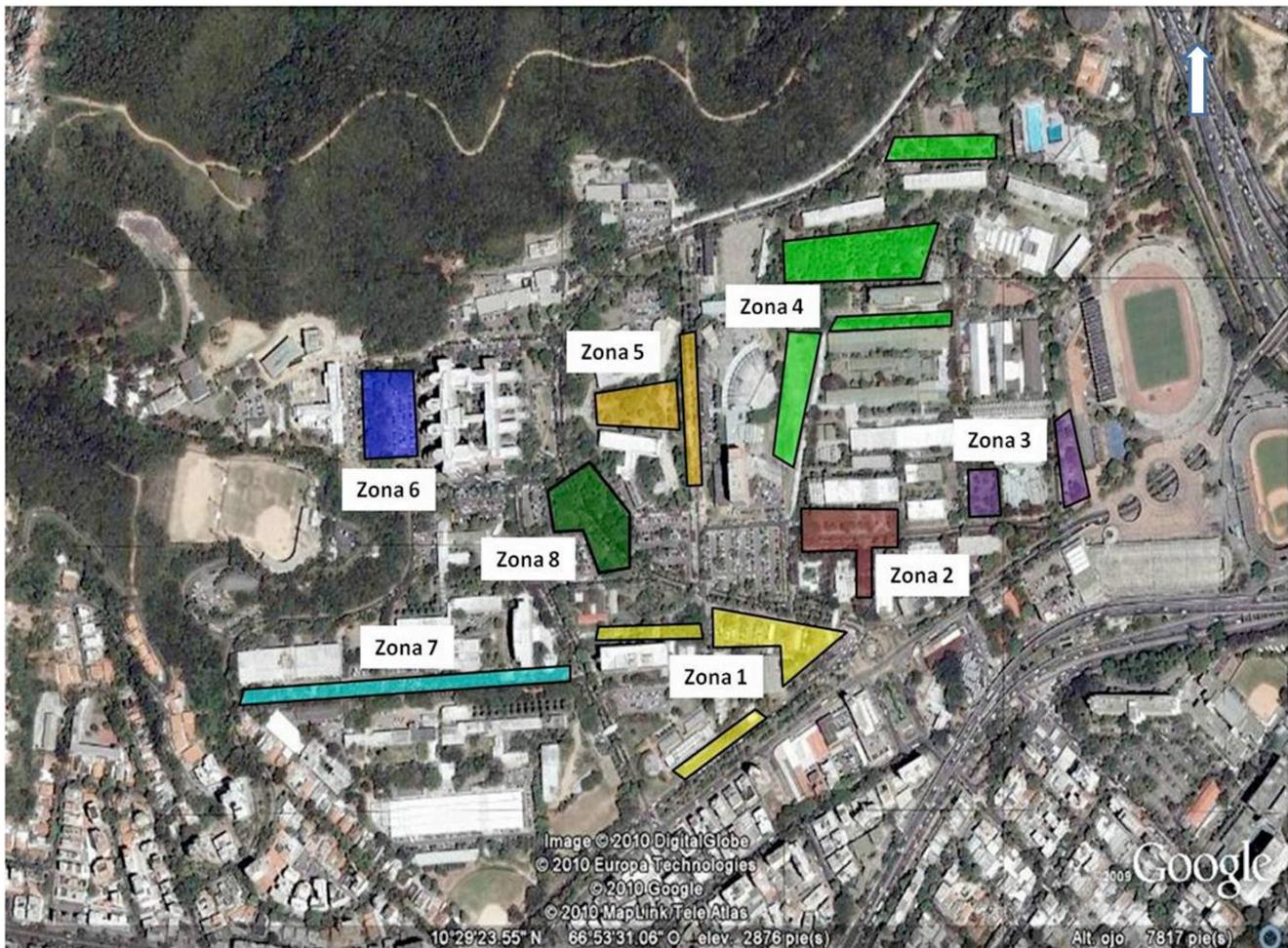


Fig. 1. Mapa de distribución de zonas de trabajo para la adquisición de datos geofísicos. Modificado de Google Maps en fecha 26 de mayo de 2010.

Sísmica de refracción

La adquisición de sísmica de refracción se realizó con un total de 30 perfiles. Los tendidos de refracción realizados fueron de longitud variable, dependía de la disponibilidad de espacio del área a prospectar, con una longitud promedio de 48 m. En la tabla 2 se resumen los equipos y parámetros empleados durante la adquisición.

Tabla 2. Equipos y parámetros empleados.

Sismógrafo	Geometrics de 12 canales
Geófonos	Geospace de componente vertical de 5 Hz
Separación entre geófonos	1 m
Fuente	mandarria
Longitud de grabación	512 ms
Intervalo de muestreo	256 μ s
Offset	0.5 m

PROCESAMIENTO

Para realizar el procesamiento de las ondas refractadas fueron utilizados los programas de procesamiento *PICKWIN* versión 3.14 y *PLOTREFA* versión 2.73 del paquete de procesamiento Seisimager, fabricado por OYO Corporation; con el objetivo de obtener diferentes parámetros físicos tales como: velocidades de las ondas P y

S en el primer y segundo estrato, y la profundidad (h) de la interface entre la primera y segunda capa. Los valores de V_p y V_s se obtuvieron directamente de los registros sísmicos.

INTERPRETACIÓN - RESULTADOS

Antes de proceder con el análisis de los resultados se realizó una correlación entre las velocidades sísmicas (V_p y V_s) y las diferentes litologías presentes en la zona, como se describe a continuación:

Correlación de datos

Para la correlación de los datos se contaba con 44 perforaciones geotécnicas, las cuales tenían información geológica detallada con la descripción de los distintos litotipos y ensayo SPT (ensayo de penetración estándar) en cada una de las perforaciones.

Inicialmente en esta etapa se procedió a graficar la ubicación de los 30 perfiles sísmicos y las 44 perforaciones geotécnicas, empleando para denotar los perfiles sísmicos de refracción las letras SR y el número del perfil y la para las perforaciones la letra P y el número de la perforación (Figura 2).

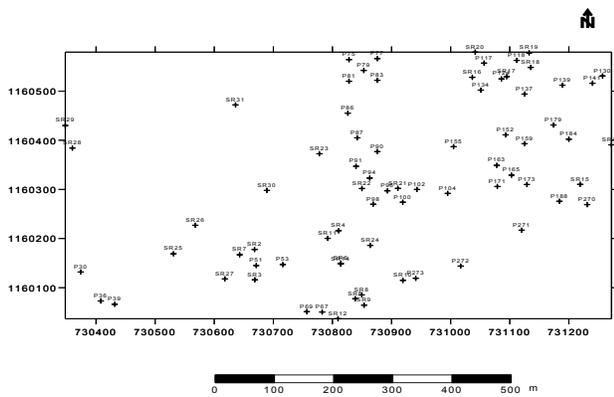


Fig. 2. Mapa de ubicación de perfiles de sísmica de refracción (SR) y perforaciones (P).

Luego del conjunto total de datos se escogieron los perfiles que se encontraban a menos de 20 m de alguna perforación para correlacionar y poder validar los datos adquiridos; obteniéndose un total de 14 pares de datos SR-P que cumplen esta condición. Estos pares fueron comparados y clasificados en función de las litologías como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Correlación de datos geofísicos y perforaciones geotécnicas.

Nº	Pozo	Perfil	Cota (m)	Vp1 (m/s)	Vs1 (m/s)	NG1	E1 (m)	Vp2 (m/s)	Vs2 (m/s)	NG2	EP1 (m)	EP2 (m)
1	P273	SR10	867	450	270	30	3,8	500	300	15	2	12
2	P188	SR15	866	500	290	10	3,62	600	350	10	1,5	1,75
3	P270	SR15	866	500	290	18	3,62	600	350	20	8	2
4	P51	SR3	891	400	210	11	2,82	700	380	10	5	6
5	P51	SR2	874	300	180	11	1,94	500	300	10	5	6
6	P51	SR7	874	500	330	11	2,4	700	400	10	5	6
7	P96	SR21	876	400	250	12	5,5	600	295	12	3,8	9
8	P94	SR22	864	700	320	13	5,58	900	450	12	13	
9	P118	SR19	868	500	268	15	1,37	800	328	11	4,8	4,7
10	P118	SR18	867	300	180	15	1	400	230	11	4,8	4,7
11	P117	SR20	871	400	200	12	2,13	1100	650	34	6,8	1,7
12	P134	SR16	869	400	220	6	2,2	700	400	15	6	2
13	P124	SR17	868	400	230	13	1,84	700	400	14	11	
14	P67	SR12	870	500	230	16	3,18	900	360	24	9	6

Nº	Litología1	Litología2
1	Relleno	Arcilla de baja plasticidad
2		Arcilla de baja plasticidad arenosa
3	Arcilla de baja plasticidad	Arena limosa
4	Arena limosa	Arcilla de alta plasticidad con arena
5		
6		
7		Arcilla de baja plasticidad
8	Arcilla de baja plasticidad	
9	Arcilla limosa	Arcilla de baja plasticidad
10		
11		Grava bien gradada con arena
12	Arcilla de baja plasticidad con arena	Arena arcillosa con grava
13		
14	Arena limosa	Arcilla de baja plasticidad con arena

Vp1:	Velocidad de la onda P capa 1
Vp2:	Velocidad de la onda P capa 2
Vs1:	Velocidad de la onda S capa 1
Vs2:	Velocidad de la onda S capa 2
NG1:	Número de golpes ensayo SPT capa 1
NG2:	Número de golpes ensayo SPT capa 2
E1:	Espesor de la capa 1 calculado con sísmica
EP1:	Espesor de la capa 1 medido en la perforación
EP2:	Espesor de la capa 2 medido en la perforación

De la tabla anterior se observan varios aspectos importantes entre los que destacan:

- Existencia de alta correlación entre las litologías descritas en las perforaciones y las velocidades obtenidas.
- Alta correlación entre las velocidades y el número de golpes (NG) obtenidos en el ensayo SPT.
- Alta correlación entre la Vp y la Vs, evidenciado en el agrupamiento de los datos en función de los tipos litológicos.
- Baja correlación entre los espesores calculados por sísmica de refracción y los obtenidos por las perforaciones.

Los valores obtenidos fueron clasificados en 5 grupos litológicos como se observa en la tabla 3, esta clasificación fue realizada tomando en cuenta que los métodos sísmicos no son capaces de discriminar con tanto detalle la litología. Los grupos litológicos de clasificación son: arenas, arcillas, gravas, arcillas con diferentes contenidos de arena y rellenos. Posteriormente se grafican los pares Vp-Vs y Vs-NG para la capa 1 y la capa 2, con el fin de validar la correlación entre los datos geofísicos y geológicos y observar las distribuciones de las litologías en función de las velocidades y el número de golpe de los ensayos SPT (Standard Penetration Test), obteniéndose los siguientes resultados (Figura 3).

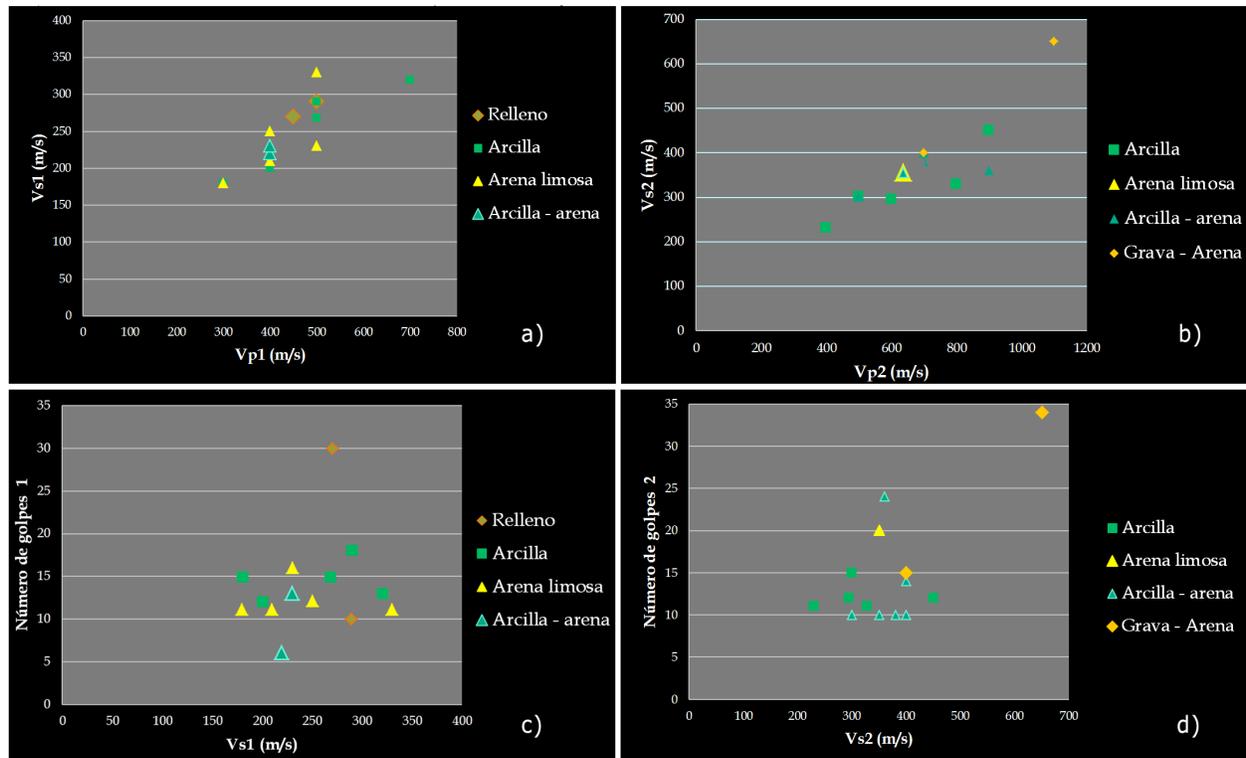
De los gráficos de Vp-Vs para ambas capas se observa una alineación de los diferentes grupos litológicos y un no tan evidente agrupamiento de los mismos en rangos de velocidades que se correlacionan con los rangos de valores teórico (Sheriff, 1991) y valores obtenidos en otras investigaciones para suelos de estas litologías cercanas al área de esta investigación (Kantak, 2001; Galavís, 1983).

Para los gráficos Vs – NG se observa un agrupamiento de las litologías en función del número de golpes tanto para la capa 1 como para la 2, con excepción de litologías tipo grava y rellenos donde si se observa una mayor dispersión de los datos, posiblemente asociada a los diferentes niveles de compactación y al número bajo de pares de estas litologías con el que se cuenta para la correlación.

Sísmica de refracción

De los datos sísmicos de refracción obtenidos se generaron un total de 5 mapas que muestran la distribución en la CUC para las 2 primeras capas de los siguientes parámetros:

- Velocidad de onda P de la capa 1.
- Velocidad de onda S de la capa 1.
- Velocidad de onda P de la capa 2.
- Velocidad de onda S de la capa 2.
- Espesor de la capa 1.



Mapas de velocidad de onda P.

En el mapa de velocidades de onda P para la capa 1 (Figura 4) se observa que las velocidades sísmicas para estas ondas están entre 280 m/s y 880 m/s, ubicándose los mayores valores de V_p en la zona suroeste y central del área en estudio; dividiendo esta zona se encuentra una región de bajas velocidades en el orden de 330 m/s con una orientación aproximada norte-sur. Adicionalmente las otras zonas que presentan bajas velocidades de onda P se pueden observar al norte y al noreste del mapa, destacándose los gradientes de velocidades más altos en el área central.

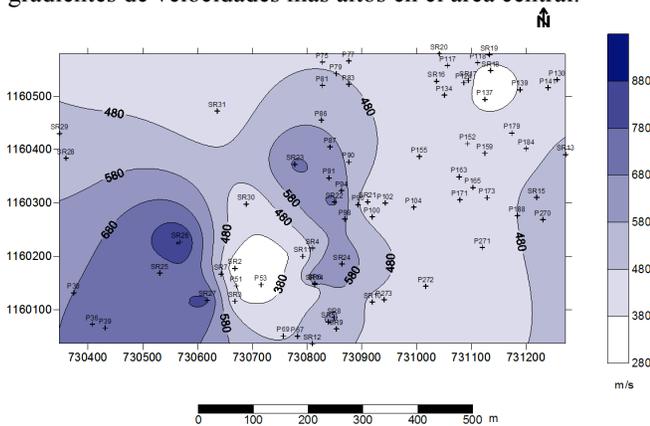


Fig. 4. Mapa de velocidad de onda P para la capa 1.

En este mapa, por tratarse de la capa más superficial, puede decirse que la principal variable que controla la velocidad no es la litología sino el grado de compactación del suelo, por lo que se puede indicar que las zonas de mayores velocidades constituyen las zonas de mayor

compactación y las zonas de menores velocidades las de menor compactación, información que se corrobora con los ensayos SPT debido a los bajos valores de números de golpes obtenidos para las capas someras en toda la zona en estudio (ACERO & DOMÍNGUEZ 2005).

En la Figura 5 se muestra un mapa de espesores de la capa 1 calculado a partir de los datos sísmicos, con un rango de profundidades que va desde 0.8 m a 5.3 m, observándose los máximos espesores promedios en el orden de 3.8 m en las zonas noroeste, sureste y central del mapa, mientras que los espesores mínimos en el orden de 1.2 m se encuentran en la zona noreste y suroeste. En el noroeste de la zona en estudio aflora la Formación Las Mercedes que constituye el basamento rocoso del área; y en dicha zona se obtuvieron elevados espesores sedimentarios para la capa 1.

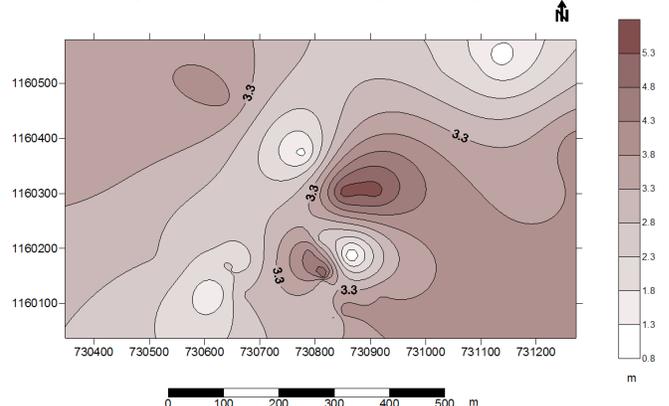


Fig. 5. Mapa de espesores para la capa 1.

Las velocidades de onda P para la capa 2 (Figura 6) están en el rango de 400 m/s a 1400 m/s, donde los mayores

valores de Vp se encuentran hacia la zona oeste del mapa y los menores valores hacia el este, observándose de forma clara una disminución general de las velocidades en dirección oeste-este, lo que evidencia variabilidad litológica lateral, como los muestran los cortes geológicos de ACERO & DOMINGUEZ (2005). Al igual que para el mapa de velocidades de onda P para la capa 1 se muestra de forma no tan destacada una región de baja velocidad en la zona central e igualmente asociada a ésta se encuentran localizados los mayores gradientes de velocidades. Interpretando en el mapa de Vp2 podemos distinguir 3 zonas: una de altas velocidades en la zona oeste, una de velocidades intermedias en la zona central y una de bajas velocidades en la zona este.

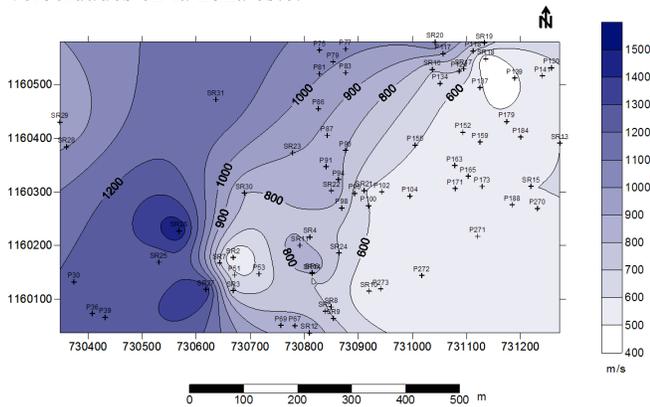


Fig. 6. Mapa de velocidad de onda P para la capa 2.

Mapas de velocidad de onda S.

En el mapa de velocidades de onda S para la capa 1 (Figura 7) se observa que las velocidades sísmicas para estas ondas están entre 170 m/s y 390 m/s, y al igual que en el mapa de velocidades de onda P para capa 1 se ubican los mayores valores de velocidad en la zona suroeste y central del área en estudio, destacándose nuevamente una disminución importante en el rango de los 200 m/s que divide a la región, esto se evidencia claramente en el mapa Vs1; esta zona divisoria de baja velocidad tiene una orientación aproximada norte-sur. Adicionalmente las otras zonas que presentan bajas velocidades de onda S se pueden observar al norte y al noreste del mapa. El comportamiento de los gradientes mantiene la misma tendencia que en el mapa de onda P.

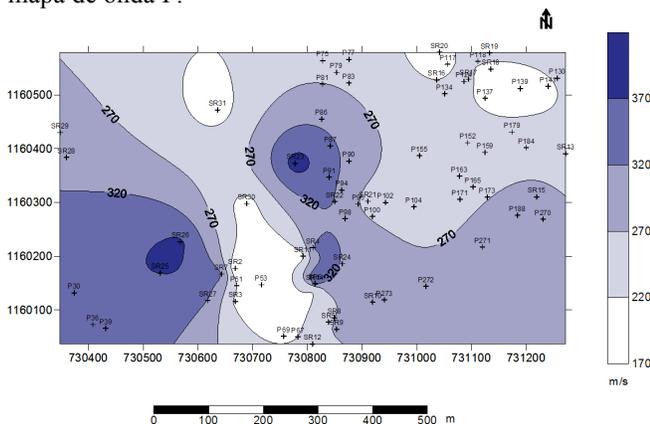
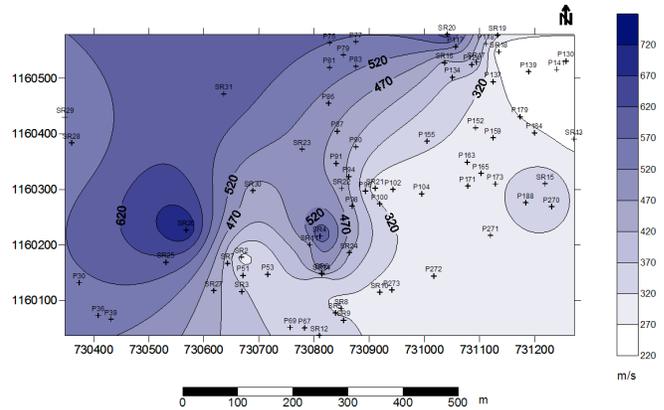


Fig. 7. Mapa de velocidad de onda S para la capa 1.

Para el mapa de las velocidades de onda S para la capa 2 (Figura 8) los valores de velocidades se encuentran entre 220 m/s y 720 m/s, observándose los valores más altos en la zona noroeste y los valores más bajos en la zona sureste. La tendencia decreciente de los valores de velocidades de onda S se mantiene de forma regular en dirección noroeste-sureste.



En la siguiente fotografía aérea se muestran las 3 regiones a partir de las cuales se hace la interpretación integrada (Figura 9).



Fig. 9. Mapa de ubicación de las regiones de interpretación por zonas de trabajo.

Región oeste

Zona sur

Al sur de la región oeste se encuentran valores altos de velocidad de onda P y S para las capas 1 y 2, con espesor promedio para la capa 1 de 2.5 m; estos valores están asociados de acuerdo a las perforaciones geotécnicas de la zona a una capa de arena limosa de un espesor promedio de 5 m, y por debajo de esta capa se encuentra una arcilla de alta plasticidad con arena de espesor promedio de 3 m.

El parámetro geotécnico n (número de golpes) obtenido del SPT muestra que para la zona se presentan valores en el orden de entre 20 y 30 golpes que según la tabla de correlación las normas geotécnicas (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001), indica que se trata de **suelos duros o densos (medianamente rígidos)**, evidenciando una alta correlación entre los valores calculados de V_p y V_s .

Zona norte

Al norte de la región oeste se encuentran valores de velocidad de onda P para la capa 1 en el rango de 450 m/s a 600 m/s, correspondiente a una arcilla limosa rígida y los valores más bajos a una zona de relleno sedimentario. Para la capa 2 las V_p se encuentran en un rango de valores que están entre 900 m/s y 1200 m/s asociado a la presencia de la roca (esquistos de la Formación Las Mercedes) que constituye el basamento rocoso de la zona. La capa 1 presenta un espesor promedio de 3 m para esta zona.

Los valores obtenidos a partir del ensayo SPT para la zona se encuentran en el orden de 50 golpes, lo que indica que estamos en presencia de **suelos duros o densos (medianamente rígidos)** (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001), corroborando una vez más los valores obtenidos mediante los métodos sísmicos.

Región central

Zona sur

Al sur de la región central del área en estudio se presentan valores de velocidad de onda P para la primera capa en el rango de 350 m/s a 600 m/s y un espesor promedio de 2.5 m; los valores de velocidad de onda de corte se encuentran entre 170 m/s y 280 m/s, estos valores corresponden, según las perforaciones geotécnicas, a una zona de relleno con presencia de lentes de arcilla de baja plasticidad.

Para la capa 2 el rango de V_p se encuentra entre 500 m/s y 900 m/s, los valores de onda de corte se encuentran en el rango de 320 m/s a 420 m/s, por lo que se puede decir que los valores más bajo V_p y V_s de este rango de velocidades, basados en las perforaciones geotécnicas, corresponden a la zona donde existe la presencia de arcilla de baja plasticidad, y los valores más altos a la zona donde se encuentra localizada arcilla de baja plasticidad arenosa.

Los valores de n del ensayo SPT están en el orden de 25 golpes lo que indica que esta zona está constituida por suelos duros o densos (medianamente rígidos) (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001).

Otro aspecto importante que destacar de la región central es la presencia de una franja donde se encuentran los mayores espesores sedimentarios calculados con los datos sísmicos para la capa 1 y valores bajos de velocidades; basado en las perforaciones de la zona, las fotografías aéreas, los antecedentes históricos (CASTILLOS & RAMOS 2011) y la geomorfología (SINGER *et al.* 2007), puede deberse a la presencia de un posible paleocanal principal donde vertían sus agua los pequeños afluentes provenientes del sector de Sierra Maestra; este canal principal y sus afluentes contribuyeron a la variada y compleja depositación sedimentaria del *Campus* de la Ciudad Universitaria de Caracas.

Zona norte

Al norte de la región central se presentan valores de velocidad de onda P para la capa 1 en el rango de 400 m/s a 550 m/s correspondiente, las zonas de menores velocidades a una arcilla de baja plasticidad arenosa y las zonas de mayores velocidades a una arcilla de baja plasticidad arenosa con grava, el espesor de esta capa varía entre 2 m y 4 m del centro al norte de esta región, con un elevado gradiente en la parte norte debido al alto buzamiento de la Formación Las Mercedes.

Esta zona en la capa 2 presenta velocidades de onda P más elevadas en el rango 900 m/s y 1100 m/s y velocidades de onda S entre 470 m/s y 620 m/s; basado en las perforaciones podemos asociar los valores más bajos a la presencia de arcilla de baja plasticidad arenosa más compacta y los valores más altos de V_p y V_s a la presencia arena arcillosa limosa y del basamento rocoso (Formación Las Mercedes) que en esta zona se encuentra a una profundidad promedio de 6 m.

El número de golpes n para la zona que está en un rango promedio de 25 golpes que según la tabla de clasificación corresponde a suelos duros o densos

(medianamente rígidos) (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001).

Región este

Zona sur

Al sur de la región este de nuestra área en estudio se presentan valores de Vp para la capa 1 en el rango de 480 m/s a 580 m/s y un espesor promedio de 4 m; los valores de Vs se encuentran entre 270 m/s y 320 m/s; esta zona para la primera capa presenta una litología bastante variada y compleja según lo evidencian las perforaciones de la zona, indicando que algunos puntos de la zona corresponden a relleno sedimentario y otros puntos a arcilla de baja plasticidad con contenidos de arena variable, por lo que podemos asociar las mayores velocidades de ondas P y S a las zonas donde se está en presencia de mayor contenido de arena y las velocidades más bajas a las zonas de rellenos y a las arcilla de baja plasticidad con poco contenido de arena.

La clasificación basada en el ensayo SPT que para la zona tiene un valor promedio 15 golpes que corresponde a suelos duros o densos (medianamente rígidos) (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001).

Zona norte

Las de velocidades de onda P para la capa 1 en la zona norte de la región este se encuentran en el rango de 380 m/s a 530 m/s y valores de velocidad de onda de corte desde 210 m/s a 270 m/s; basado en las perforaciones de la zona se puede asociar los valores bajos a las zonas donde existe la presencia de arcilla limosa y de relleno, y los valores más altos corresponden a los estratos someros de arena limosa. El mapa de espesores de la capa 1 muestra valores que van desde 1.5 m a 3.8 m.

Para la capa 2 el rango de Vp se encuentra entre 550 m/s y 950 m/s, los valores de Vs para esta capa se encuentran en el rango de 220 m/s a 460 m/s, se puede decir que los valores más bajos de velocidades de ondas P y S, corresponden a la zona donde existe la presencia de arcilla de baja plasticidad con arena y los valores más altos a la zona donde se encuentra localizada la arena limosa y grava bien gradada con arena.

Los valores obtenidos del ensayo SPT para la zona están en un rango promedio de 15 golpes que según la tabla de clasificación corresponden a suelos firmes o medianamente densos (baja rigidez) (BSSC 2003, COVENIN 1756-98, 2001); estos valores promedios de números de golpes obtenidos para la zona constituyen los más bajos de todas las regiones estudiadas.

CONCLUSIONES

Con base en a los resultados obtenidos después de emplear sismica de refracción para caracterizar el área en estudio y realizar la correlación con los datos geológicos, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Existe una alta correlación entre las litologías descritas en las perforaciones y las velocidades obtenidas (Vp y Vs), también entre las velocidades y el número de golpes obtenidos en el ensayo SPT.

- A partir de los gráficos comparativos de Vp-Vs, se obtuvo una clara alineación de los diferentes grupos litológicos, mientras que para los gráficos Vs – NG se observó un agrupamiento de las litologías en función del número de golpes, validando estos resultados la aplicación del método de sismica de refracción para este tipo de estudios.
- El rango de velocidades de la onda P para la zona en estudio se encuentra entre 400 m/s y 1500 m/s, rango que evidencia una alta variabilidad litológica asociada a litologías constituidas por roca a sedimentos pocos consolidados (GALAVÍS 1983, KANTAK 2001, SALCEDO & ORTAS 2004), mientras que los valores obtenidos para la onda S mediante los perfiles sísmicos se encuentran en el rango 220 m/s y 720 m/s, lo que indica que la zona en estudio posee una velocidad de corte en promedio alta. De forma general se puede interpretar que para las ondas P y S se presenta una distribución de los mayores valores de velocidades hacia la zona noroeste donde están presentes los menores espesores sedimentarios y que dichas velocidades disminuyen en dirección sureste hacia la zona donde se encuentran las mayores acumulaciones de sedimentos.
- Otro aspecto importante de resaltar es la presencia de una zona de bajas velocidades que se destaca en la zona central del área en estudio asociada a la presencia de un posible paleocanal principal donde vertían sus aguas los pequeños afluentes provenientes del sector de Sierra Maestra; este canal principal contribuyó a la variada y compleja depositación sedimentaria del *Campus* de la Ciudad Universitaria de Caracas.
- La aplicación combinada de los métodos geofísicos y las perforaciones geotécnicas constituye una metodología óptima que permite disminuir los costos y los tiempos de estudio de una zona, permitiendo adicionalmente obtener resultados espaciales de parámetros importantes como: las velocidades de las ondas y espesores sedimentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, M., DOMÍNGUEZ, J. 2005. *Estudio geológico – geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC)*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 98 pp
- AGUERREVERE, S., ZULOAGA, G. 1938. *Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa*. Congreso Geológico Venezolano. 22 p.
- BSSC 2003. *NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures, Part I (Provisions) and Part II (Commentary)*. FEMA, Edition. Building Seismic Society Council 2003. Washington D. C., Estados Unidos de América.
- CASTILLO, E., RAMOS, T. 2011. *Estudios geológicos de las microzonas sísmicas del campus universitario de la UCV y el Rincón de El Valle, El cementerio, en la ciudad de Caracas*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 246 pp.

- COVENIN 1756-98. 2001. *Edificaciones sismorresistentes*. Fondonorma, Caracas, 113 pp.
- GALAVÍS, L. 1983. *Estudio de suelo, Tramo Plaza Venezuela – Los Símbolos, Línea III del Metro de Caracas. Informe técnico de Oficina de Suelos C.A.*, Caracas, 111 pp.
- KANTAK, P. 2001. *Sediment thickness, an east – west cross section, shallow seismic velocities, and microtremor measurements in the Caracas Valley*. Tesis Doctoral. Caracas, Venezuela. 268 pp.
- PARASNIS, D. 1970. *Principios de geofísica aplicada*. Paraninfo. Madrid, España. 208 pp.
- SALCEDO, D., ORTAS, J. 2004. *Estudio de factibilidad geológico – geotécnico y potencial de uso de los terrenos ubicados en la zona del Jardín Botánico, y estudio geotécnico para los tanques A y C, Universidad Central de Venezuela*. Informe técnico de Ingeotec C.A., Caracas. 35 pp.
- SINGER, A., ZAMBRANO, A., OROPEZA, J., TAGLIAFERRO, M. 2007. *Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25000*. Memorias IX Congreso Geológico Venezolano, Geos 39.
- SHERIFF, R. 1991. *Encyclopedic dictionary of exploration geophysics*. Tulsa Society of Exploration Geophysicists, USA.
- SMITH, P. 1978. *Temas de Geofísica*. Reverté, S.A. Barcelona, España. 286 pp.