Zonificación geotécnica de la ciudad de Xalapa, Veracruz. México Geotechnical characterization of Xalapa city, Veracruz, Mexico

Óscar Lenz^{1*}

Palabras clave

Resumen

zonificación geotécnica; suelos volcánicos; campo colcánico de Xalapa; sedimentos piroclásticos; fábrica de las arcillas volcánicas; módulos de reacción y compresibilidad;

Sobre la base de 144 estudios geotécnicos repartidos por todo el área metropolitana de la Ciudad de Xalapa, Veracruz, incluyendo zonas conurbadas, se propone una carta geotécnica que presenta la distribución de los suelos. Para comprender la configuración de los depósitos que componen el subsuelo de la mencionada ciudad son descritas brevemente la historia geológica que dio lugar a la actual disposición de los geomateriales y la morfología presentada por el Campo Volcánico de Xalapa.

El trabajo presenta, además, una miscelánea de valores de módulos de reacción obtenidos en ensayos con placa realizados en diversos materiales piroclásticos parcialmente saturados.

Finalmente, se muestran correlaciones entre la resistencia no drenada y el contenido de humedad, y describe las características de compresibilidad de las arcillas ubicadas en los cauces intermitentes.

Keywords

geotechnical zonning; field; pyroclastic sediments; fabric volcanic clays; reaction modules and compressibility;

Abstract

Resting on 144 geotechnical studies comprising the whole metropolitan area of Xalapa City (Veracruz), involcanic soils; Xalapa volcanic cluding conurbations zones, a geotechnical map presenting the distribution of soils in the aforementioned urban spot is proposed. In order to understand the configuration of the deposits that make up the subsoil of the alluded city, a brief description is given of both the geological history leading to the current disposition of geomaterials, and the morphology present in Xalapa Volcanic Field.

> Furthermore, this paper presents a miscellany of reaction module values obtained through plate testing carried out on different partially-saturated pyroclastic materials.

> Finally, it shows correlations between drained resistance and moisture content, and describes the compressibility characteristics of clays located in intermittent channel.

1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Xalapa se encuentra alojada en el oriente de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico Mexicano (figura 1) y ha crecido de forma anular sobre las laderas del Cerro Macuiltepetl, pequeño volcán compuesto por escorias.

Xalapa capital del Estado de Veracruz tiene más de 457,928 habitantes y en estos últimos 30 años el crecimiento del aparato administrativo del Gobierno del Estado de Veracruz ha ocasionado un crecimiento acelerado de la población, que comprende a la misma ciudad y a sus áreas conurbadas con Coatepec, Banderilla y Las Trancas. Como consecuencia de lo anterior, el desarrollo urbano acelerado ha cubierto áreas inestables compuestas por lomeríos y rellenos mal compactados, situación que impuso al sector de la construcción realizar estudios geotécnicos. Gracias a esta circunstancia, en este trabajo se ha podido acopiar casi todo este acervo de informes geotécnicos y ha permitido caracterizar los suelos que componen el subsuelo de Xalapa con el objeto de implementar una zonificación geotécnica del lugar en estudio.

Adicionalmente a lo comentado en el epígrafe precedente, los alcances de este trabajo incluyen una breve caracterización de los suelos y rocas que componen los diferentes depósitos que se alojan en la zona en estudio y toda vez localizados e identificada su extensión y distribución, proponer una carta geotécnica que permita a un futuro mediato la identificación de áreas que presentan riesgos geotécnicos. Por otro lado, las escalas usadas en este trabajo, por así imponerlo la cartografía existente y la disponibilidad de espacio, fue del tipo gráfico, tanto en el sentido horizontal (en planta) como en el vertical (perfiles longitudinales).

2. ANTECEDENTES

La primera caracterización geotécnica de los suelos que componen los depósitos volcánicos del subsuelo de la Ciudad de Xalapa fue presentada, de manera preliminar, en las memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, organizada por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos en el año 1976. El trabajo reporta un total de siete estudios dentro del área urbana que comprenden 25 sondeos profundos y 18 pozos a cielo abierto (Esquivel, 1976). A partir de 1983 hasta el presente se ha recopilado más de 144 informes geotécnicos que reportan 131 sondeos realizados con máquina rotaria (incluyendo sondeos de la Autopista Libramiento de Xalapa) y 258 sondeos someros del tipo pozos a cielo abierto y ejecutados con barrena manual, todos ellos con sus respectivos reportes de laboratorio. También se aprovechó las recientes investigaciones realizadas en estos diez últimos años, como los estudios de

^{*} Autor de contacto: oscarlenz@hotmail.com

¹ Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana, México.



Figura 1. Localización de Xalapa, Veracruz (Dubroeucq et al, 2002).

González Mercado [2005], Morales Barrera, W. V. (2009) y Lenz, O. (2004 y 2009), por citar los de mayor interés para esta investigación.

3. GEOLOGÍA

La zona en estudio se encuentra en el oriente del Eje Neovolcánico, en la porción central del Estado de Veracruz y está limitada por los paralelos 19°29' y 19°36' latitud norte y entre los meridianos 96°48' y 96°58' de longitud oeste y altitudes de 700 a 1600 msnm. El clima corresponde a semi-cálido húmedo, con lluvias abundantes en verano, con precipitaciones de 1100 a 1600 mm (INEGI, 2009).

El inicio del vulcanismo del Eje Neovolcánico o Faja Volcánica Transmexicana (FVT) ocurre en la transición de las Épocas del Mioceno y Plioceno (5.3 a 1.8 Ma) y según Padilla y Sánchez (2007) adquiere su máxima actividad en el Plioceno y el Cuaternario. Dicha actividad volcánica está asociada a la zona de subducción formada por las placas de Cocos y la Continental Mexicana (INEGI, 1984), que es la que suministra el material magmático a la FVT. En el Pleistoceno-Cuaternario se forma el Campo Volcánico de Xalapa (CVX), compuesto por 20 volcanes del tipo monogenético (sólo una fase eruptiva) y a finales del Cuaternario ocurrieron eventos laháricos que aportaron sedimentos volcanoclásticos provenientes del volcán Cofre de Perote (ver figura 1) y se depositaron en la parte norte y centro del CVX (González Mercado, 2005). Se mencionan aquí los volcanes que se encuentran dentro del área metropolitana y zonas conurbadas de Xalapa, a saber: Cerro Macuiltepetl, Cerro Colorado 1 (según asignación de González Mercado, 2005), El Estropajo, Las Margaritas y Pitaya, pues fueron los que modelaron la actual morfología del terreno y suministraron los geomateriales a la localidad. La figura 2 muestra el relieve producto de la actividad volcánica del Campo Volcánico de Xalapa y la tabla 1 incluye la localización y características de los volcanes antes aludidos.

La figura 3 muestra la geología de la región de Xalapa con la distribución de sus formaciones, como: aluviones, lahares, flujos de lava, deposición de ignimbritas y el emplazamiento del CVX, y también indica la localización de los conos monogenéticos. La litología suministrada por estos volcanes está representada por fragmentos autoclásticos, piroclásticos y epiclásticos (Fisher, 1961). Los materiales autoclásticos se encuentran dentro de la chimenea del volcán Macuiltepetl, que corresponden a basaltos y escorias de color gris y rojo, y lavas de composición basáltica y andesítica (González Mercado, 2005), éstas escurrieron hacia el oriente de la ciudad formando contacto con los escurrimientos de los flujos La Joya (figura 3). Los sedimentos piroclásticos están representados por materiales tobáceos compuestos por cenizas volcánicas de grano fino, con tamaños comprendidos entre 1/256 mm a 2.0 mm y se encuentran repartidos por toda el área urbana, formando lomeríos que corresponden a las zonas altas de Xalapa. Otros sedimentos piroclásticos que se emplazaron hacia el oriente de la ciudad en el Terciario superior y medio son las ignimbritas (Morales Barrera, 2009), que presentan compacidades de media a muy compactas y las arenas pumíticas que se depositaron entre Coatepec y el Sur de Xalapa (formación Xaltipan, ilustrada en la figura 3). Los sedimentos epiclásticos son materiales que contienen residuos producidos por la meteorización y erosión procedentes de productos volcánicos (transporte de fragmentos) y se encuentran en las zonas que aquí denominamos cauces intermitentes o lo que fueron paleocanales que corresponden a



Figura 2. Mapa Hipsométrico de la Región de Xalapa (extraído de Morales Barrera, 2009).

Valata	Localiz	zación(*)	- Tino do voloán	Ubicación	
voican	Latitud	Longitud	Tipo de voican		
Macuiltépetl	19°32′54″	96°55′09′	Cono de escorias	Centro Xalapa	
Cerro Colorado 1	19°32′30″	96°56′44″	Cono de escorias	Al oeste de Xalapa	
El Estropajo	19°3340″	96°57′31″	Cono de escorias	Al oeste de Xalapa	
Las Margaritas	19°29′55″	96°54′40″	Tipo escudo	Al sur de Xalapa	
Pitaya	19°30′25″	96°57'30″	Cono de lava	Al suroeste de Xalapa	

(*) Según González Mercado (2005).



Figura 3. Geología de la Región de Xalapa (Morales Barrera, 2009).

zonas bajas. Las coladas provenientes del Cerro Macuiltepetl formaron rocas basálticas, andesitas basálticas y traquiandesitas basálticas, predominando el basalto y escorias que se emplazan por toda el área perimetral del Volcán Macuiltepetl y hacia el oriente de la ciudad. Resumiendo, todos los geomateriales situados en el área en estudio son de origen volcánico y su edad corresponde al Pleistoceno (González Mercado, 2005, Morales Barrera e INEGI, 2009).

4. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

4.1. Trabajos de campo

Según información reportada por los 144 estudios geotécnicos revisados, se llevaron a cabo sondeos profundos en los que se realizaban ensayos de penetración estándar (SPT), ejecutados bajo la metodología indicada por las Especificaciones Generales para Proyectos de Obras de PEMEX (1976), equivalente a la norma ASTM D1586-99 (1999); toda vez ejecutado el ensayo SPT se recuperaba la muestra para su clasificación, embalado, etiquetado y su respectiva remisión al laboratorio. Según lo indicado por los registros de campo, para la recuperación de corazones de roca se utilizó la Norma ASTM D2113-99. Además, los mencionados estudios reportaban sondeos con pozos a cielo abierto (PCA) que permitían observar la estratigrafía superficial y la extracción de muestras del tipo alterado e inalterado.

Los trabajos de campo complementarios consistieron en realizar sondeos tipo PCA y ensayos con placa para identificar los módulos de reacción (Ks) y compresibilidad (Ev). La normativa utilizada en el ejercicio de este tipo de ensayos fue la AENOR NLT-357/98, basada a su vez en la norma DIN18134 (september, 2001).

La figura 4 muestra la localización de los estudios aludidos en el primer párrafo de este apartado, incluyendo las zonas conurbadas con Coatepec, Las Trancas, San Andrés Tlanehuayocan y Banderilla.

4.2. Trabajos de laboratorio

La ensayos de laboratorio que reportan los mencionados estudios del párrafo precedente son de carácter rutinario, es decir, los ensayos ejecutados consistieron en determinar lo siguiente: contenido de humedad (ω), granulometría, densidad de los sólidos (G_s), límite líquido (LL), límite plástico (LP), peso volumétrico natural (γ), ensayo triaxial no consolidado-no drenado (UU) y consolidación unidimensional. Con los resultados de laboratorio se procedió a calcular el índice de plasticidad (IP), la relación de vacíos (e), el grado de saturación (Sr) y los reportes de análisis granulométrico facilitaron los porcentajes de finos (F). Los ensayos mecánicos permitieron calcular los parámetros de resistencia en condiciones no drenadas y los parámetros de compresibilidad de los suelos finos saturados. Cabe hacer mención, que para la clasificación de los suelos se ha utilizado el criterio propuesto por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Casagrande, A. 1948).

Conforme a lo reportado, los ensayos de laboratorio fueron realizados apegados a las normas ASTM. De manera resumida, la tabla 2 incluye los rangos máximos y mínimos de las propiedades mecánicas e índice de los suelos estudiados.

5. ESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS Y ROCAS

5.1. Depósito de Tobas, arcillas/limos arenosos (Qtl)

Para caracterizar y formular la estratigrafía del depósito Qtl se incluyeron los estudios indicados en los cortes longitudinales A-A' y B-B' señalados en la figura 4. Los sedimentos piroclásticos predominantes están representados por arcillas o limos de color café (cenizas volcánicas), de consistencia firme a muy firme, mezcladas con pequeñas cantidades de arenas finas y los sedimentos epiclásticos que se encuentran en las zonas bajas están compuestos por arcillas o limos de color café obscuro mezcladas con gravas y arenas, con inclusiones de bombas volcánicas; estos suelos regularmente se encuentran saturados.

Las propiedades físicas de estos suelos se incluyen en la tabla 2 y las características de plasticidad pueden apreciarse en la figura 5, en ella se hace la distinción entre los suelos



Figura 4. Localización de estudios realizados en la zona urbana y conurbada de Xalapa.

Tabla 2. Propiedades	s mecánicas e	índice de l	os suelos de	Xalapa
----------------------	---------------	-------------	--------------	--------

Tipo de suelo	Prof. m	ω%	LL %	IP %	G _s	γ ton/m³	е	Sr %	F %	m _v cm²/kg	k _v cm/seg
СН	0.15-27.00	29.48- 61.83	55.54- 90.72	26.82- 60.2	2.44-2.72	1.48-1.78	0.89-1.75	63.76- 100.00	72.10- 99.54		
OH-MH	0.20-34.80	35.29- 94.91	51.84- 99.82	20.84- 52.90	2.40-2.62	1.29-1.66	1.22-2.93	68.48- 100.00	59.79- 99.88	0.006-0.08	1.73E-6 – 1.97E-5
CL	0.20-18.00	18.69- 50.44	27.82- 46.41	8.41- 24.99	2.40-2.62	1.40-1.83	0.47-1.70	56.91- 100.00	61.89- 95.31		
OL	1.00-11.10	17.53- 53.95	31.70- 46.74	7.51- 18.26	2.42-2.71	1.43-1.76	0.73-1.22	66.65- 91.07	63.53- 98.00		
ML	0.45-30.00	30.01- 34.59	24.90- 48.00	3.20- 16.52	2.75	1.55	1.39-1.57	52.58- 68.43	52.30- 99.00	-	-
SC	2.80-39.20	18.52- 47.80	24.60- 58.70	5.80- 30.30	2.22-2.45	1.80	0.43-1.02	93.44	12.55- 42.00	-	-
SM	0.90-45.49	14.46- 60.34	27.50- 59.00	3.90- 24.40	2.22-2.62	1.03-1.65	1.23-2.10	26.39- 96.39	12.18- 48.00	-	-
SW	7.38-9.13	19.34- 20.32	-	-	2.74	1.70	0.94	56.98- 58.89	1.35- 1.47	-	0.0274-2.85 E-3
SP	1.20-4.00	8.39- 26.28	-	-	2.27-2.35	1.50-1.60	0.76-0.94	26.67- 65.70	1.26- 5.80	-	5.32 E-3-1.59 E-3
GC	6.00-26.00	12.10- 54.70	52.00- 56.90	21.00- 32.80	-	1.80	-	-	25.00- 41.00	-	-
GW	2.15-8.31	12.59- 57.03	-	-	2.61	1.65	0.80-1.49	42.08- 99.89	0.22- 5.42	-	-

 ω contenido de humedad; LL límite líquido; IP índice plástico; G_s peso específico relativo; γ peso específico; e relación de vacíos; Sr grado de saturación; F por ciento de finos; m_v coeficiente de variación volumétrica; k_v coeficiente de permeabilidad



Figura 5. Características de plasticidad de los suelos del CVX.

que están en zona alta (cara y corona de laderas) y los que se encuentran en zonas bajas (pie de laderas).

La permeabilidad de los suelos de media a alta plasticidad (CH, MH, OH, OL y CL) se determinó en ensayos edométricos y las relaciones de sobreconsolidación reportados oscilan entre 1.10 a 4.81 y por otra parte, la permeabilidad de los suelos granulares (SW y SP) fue determinada en permeámetros de carga variable (ver tabla 2).

Cabe destacar, que la plasticidad y la actividad de estas arcillas o limos están condicionadas por la composición mineralógica y los minerales presentes en estos suelos son la haloysita y alofana (Lenz, 2004). La actividad característica de estos suelos oscila entre 0.52 a 0.71 (Lenz, 2009) Zonificación geotécnica...

y según Day (2000) estas arcillas limosas (CH, MH, OH y OL) no son activas.

Para identificar la posible expansividad de los suelos finos que constituyen las zonas altas (arcillas parcialmente saturadas) se utilizó el criterio empírico de Bara, retomado de Esquivel (1976). En la relación límite líquido y peso volumétrico seco se manejaron ciento treinta y nueve datos y en la relación límite líquido contenido de humedad se utilizaron doscientos cincuenta y un datos. El criterio anterior se grafica en la figura 6, en ella puede observarse que los suelos en estudio no son expansivos y era de esperarse por el tipo de minerales de arcillas reportados por Lenz (2009).

Por otro lado, la relación entre la resistencia no drenada y la humedad de arcillas (CH, OH y CL) se ilustra en la figura 7, puede apreciarse como disminuye la resistencia no drenada con el incremento del contenido de humedad.

Según los registros de campo, las profundidades del nivel de aguas freáticas (NAF) varía en las zonas bajas entre 0.30 m a 4.5 m, contados a partir del terreno natural.



Figura 6. Método empírico de Bara para identificar suelos expansivos.

Con lo comentado en los párrafos precedentes y a los perfiles reportados en los sondeos incluidos en los cortes A-A' y B-B', pudo construirse los perfiles longitudinales que se muestran en las figuras 8 y 9, en las mismas figuras puede observarse el predominio de los materiales piroclásticos (cenizas volcánicas) representados por los limos (MH y ML) y arcillas de alta plasticidad (CH), con intercalaciones de estratos compuestos por arenas limosas (SM). Hacia el oriente, en el corte A-A' (figura 8), aflora a la profundidad de 9.30 m una toba compacta de color café y grano fino (estudio 90) y la profundidad de 10.70 m se detectó la presencia de basalto (estudio 66). El corte B-B' (figura 9)



Figura 7. Relación entre resistencia no drenada y contenido de humedad en arcillas no saturadas.



Figura 8. Perfil estratigráfico longitudinal A-A'.



Figura 9. Perfil estratigráfico longitudinal B-B'.

indica que hacia el sur se detectaron arenas limosas (estudio 81) que son procedentes de la formación ignimbritas Xaltipan (designado con Qp-Xt e indicado en la figura 3).

Es necesario apuntar, que en el depósito Qtl suele aflorar superficialmente el basalto de manera aislada y aleatoria, sin guardar un patrón de afloramiento, dicho basalto se expone a la intemperie muy fracturado.

5.2. Depósitos de basaltos (Qb)

Las áreas abarcadas por los derrames de lava del Cerro Macuiltépetl cubren hasta 4 km alrededor de él y posteriormente estos derrames fueron cubiertos por materiales piroclásticos. Los derrames, que enfriaron y dio como resultado la formación de los basaltos, tuvieron su extensión máxima hacia el sur y oriente de la ciudad, circunstancia que fue condicionada por la actividad volcánica previa del Cofre de Perote (ver figura 1), la cual dio como resultado un fuerte buzamiento del terreno ocupado por el CVX hacia el litoral del Golfo de México.

Por otra parte, los sondeos profundos realizados con equipo rotario ofrecieron la información que permitió elaborar la tabla 3, la cual indica las características mecánicas y de calidad de estos materiales pétreos. Los registros de los sondeos realizados en este depósito de basaltos no reportaron el NAF, por lo menos a la profundidad de prospección.

La figura 10 muestra el perfil longitudinal C-C' y presenta la descripción gráfica del parágrafo anterior y puede percibirse, que dada la profundidad de prospección en los sondeos no se pudo determinar los espesores que alcanzaron los flujos de lavas basálticas, pero puede apreciarse cómo la roca de basalto fue cubierta por rellenos, escorias mezclados con finos y arcillas de mediana plasticidad (estudio 73).

5.3. Depósito de escorias volcánicas (Qe)

Está representado por el cono de escorias del Cerro Macuiltépetl y en su pináculo cuenta con un cráter central, otro ubicado al noreste y un tercero hacia la parte suroeste del mismo volcán. Estos materiales se encuentran escasamente erosionados. El cráter que se localiza en la parte suroeste presenta en sus paredes escorias de color rojo y negro y en su fondo se aprecian lavas basálticas fracturadas (González Mercado, 2005). Los basaltos son de color gris obscuro y tienen textura afanítica.

Cabe destacar, que no existe información geotécnica en esta zona, dado que está designada como Área Ecológica.

Tabla 3. Calidad y características mecánicas de las rocas del CVX

Tipo roca	Prof. de afloramiento m	γ ton/m³	RQD %	q _u kg/cm ²	<i>E_t</i> kg/cm ²	Observaciones
Basalto	3.20-12.65 12.00-50.0	1.72-2.88	10.0-90.0	29.90-915.30	23,246- 167,465	Calidad de la roca de muy mala a buena
Toba	1.20 - 10.20	1.48 - 2.00	7.33-55.00	3.97- 40.20	160-5,518	Calidad de la roca de muy mala a mala

 γ peso específico; *RQD* índice de calidad de la roca; q_{μ} compresión simple; *E*, módulo tangente.



Figura 10. Perfil estratigráfico longitudinal C-C'.

Tipo suelo	$E_v \text{kg/cm}^2$	K _s kg/cm ³
Toba dura	448.10-2056.00	15.24- 91.40
Tobas de media a poco compactas (CH, MH)	267.78-418.82	11.71- 18.32
Sedimentos epiclásticos sueltos (gravas y escorias mezcladas con finos)	79.92- 351.63	3.52- 7.62
Sedimentos piroclásticos muy compactos (mezcla de bombas, gravas, arenas y finos)	1023.22- 1747.84	22.44- 38.23

 E_{v} módulo de compresibilidad; K_{c} módulo de reacción.

A falta de información, se llevaron a cabo trabajos de campo complementarios que consistieron en ensayos de carga con placa aplicados a escorias volcánicas y tobas de grano fino, con la finalidad de conocer sus características de deformabilidad. La tabla 4 presenta los valores máximos y mínimos de los módulos de compresibilidad y los de reacción en el primer ciclo de carga.

5.4. Depósitos de ignimbritas (Ti)

Según Morales Barrera (2009), las Ignimbritas del Castillo no proceden del Campo Volcánico de Xalapa (CVX) como podría creerse. La probable fuente de emisión, comenta esta autora, procede de la Fisuras Lineales que se encuentran al Noroeste del CVX, que arrancan desde las inmediaciones del Volcán Cofre de Perote y tienen direcciones NE-SW, con emisiones de piroclastos normales a la orientación de las mencionadas fisuras. Bajo las condiciones antes descritas, la extensión de los depósitos de ignimbritas estarían orientados NW-SE. De acuerdo con la evidencia geotécnica recabada se encontró que el depósito de ignimbritas El Castillo (designada con Tpl-Ca. en la figura 3), tiene la misma orientación NW-SE. Lo anterior confirma que la aseveración de Morales Barrera (2009) es correcta.

El depósito de ignimbritas Ti está representado por arenas limosas o arcillosas, de color café claro, de medias a gruesas y presentan densidades relativas de compactas a muy densas. Estas arenas empacan materiales líticos de forma angular a subangular y fragmentos de pómez subredondeados. La presencia de líticos hace imposible el realizar ensayos confiables de penetración estándar (SPT) y por tanto no es posible identificar la densidad relativa mediante estos ensayos.

Para formular la figura 11 se ha considerado el emplazamiento del depósito Ti y seleccionado los estudios que se incluyen en el corte D-D' (ver figura 4), la misma figura muestra los suelos que predominan en este depósito: arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), arcillas de mediana plasticidad (CL) y limos arenosos de alta plasticidad (MH); de manera aislada aparecen lentes de grava mal graduadas (GP), gravas bien graduadas (GW) y gravas arcillosas-limosas (GC, GM). La tabla 2 exhibe las propiedades de estos suelos.

La revisión de los registros de sondeos realizados en este depósito de ignimbritas no reportan el NAF y cabe destacar, que en el estudio 128 incluido en la figura 11 se



Figura 11. Perfil estratigráfico longitudinal D-D'.

registra la presencia de basalto, que confirman los escurrimientos hacia el oriente de la ciudad comentados en el apartado precedente 5.2.

6. CONCLUSIONES

Sobre la base de lo discutido en los apartados precedentes, a los antecedentes geológicos y a las observaciones de campo, puede formularse las siguientes conclusiones:

- La superficie urbana y zonas conurbadas de Xalapa están desplantadas sobre un Campo Volcánico, denominado de Xalapa (CVX), por tanto la Ciudad de Xalapa está cimentada sobre materiales volcánicos. Los pequeños volcanes que forman el CVX tienen la misma antigüedad geológica, es decir, pertenecen al Pleistoceno-Cuaternario.
- El depósito Qtl es el más extenso en el CVX y como puede apreciarse en la figura 5, las arcillas (cenizas de grano fino) de alta plasticidad son las que predominan en este depósito. Los suelos granulares con mayor presencia en este depósito son las arenas limosas (SM) y las arenas arcillosas (SC); y en menor medida las arenas mal graduadas (SP). Las figuras 8 y 9 ilustran lo anteriormente comentado.

Por otro lado, las arcillas saturadas procedentes de las zonas bajas del depósito Qtl son de baja compresibilidad y se encuentran preconsolidadas (ver tabla 2).

Según el criterio de Bara (figura 6) las arcillas de alta y mediana plasticidad que se alojan en el depósito Qtl no son expansivas; lo anterior concuerda con la composición mineralógica de estos suelos (Lenz, 2009). Adicionalmente a lo anterior, la resistencia no drenada de las arcillas está condicionada por el contenido de humedad (figura 7).

- La zona Qb está constituida básicamente por basaltos con índice de calidad (RQD) que denotan que la roca es de muy mala a buena calidad (ver tabla 3), además, estos materiales pétreo están cubiertos por sedimentos piroclásticos (figura 10).
- El depósito de escorias Qe se encuentra representado por el cono de escorias Cerro Macuiltepetl y está rodeado por las formaciones Qtl y Qb.
- La formación de Ti procede de las Fisuras Lineales que se encuentran al Noroeste del CVX y está constituido por suelos granulares compactos y los suelos finos presentan plasticidades medias a bajas (figura 11).
- De acuerdo a lo descrito en este trabajo se propone la zonificación geotécnica de la Ciudad de Xalapa presentada en la figura 12, en la que se muestra la distribución de los depósitos Qtl, Qb, Qe y Ti, que conforman y describe la complejidad geológica y geotécnica del Campo Volcánico de Xalapa.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Mtra. Friné Rivera Lima el tiempo dedicado a la revisión del texto y por el ordenamiento de la base de datos a los Ingenieros Patricia Chávez Vidaña, Rocío Ramírez Ramírez, Diana Polito y Paul Espejo Zapotl, Aram Santiago Ruíz y Erick García Martínez. A José Álvarez Garduza y a Paola Hoyos Morales que me asistieron en la ejecución de los ensayos con placa. Finalmente, deseo agradecer a los Ingenieros Luis Enrique Atzin Ragazzo y Octavio Castro de Geotecnia y Supervisión Técnica, S.A.



Figura 12. Zonificación geotécnica de la Ciudad de Xalapa.

por facilitar información geotécnica del subsuelo de la Ciudad de Xalapa.

8. REFERENCIAS

ASTM D1586-99. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. West Conshohocken, PA, (EE UU): ASTM.

ASTM D2113-99. Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation. West Conshohocken, PA, (EE UU): ASTM.

Casagrande, A. (1948). Classification and Identification of Soils. Transaction, ASCE, 113, 901-930.

CEDEX. (1998). NLT-357/98. Ensayo de carga con placa. Madrid: CEDEX/Centro de Publicaciones (Ministerio de Fomento).

Day, R. W. (2000). Geotecnnical Engineer's Portable Handbook. USA: McGraw-Hill Education.

Dubroeucq et al. (2002). Biological and Mineralogical features of Andisols in the Mexican Volcanic Highlands. Catena, 49 (3), 183-202.

Esquivel, R. (1976). Información General acerca del subsuelo de 17 Ciudades de México. Jalapa, Ver., Memorias de la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Tomo II. México: SMMS, 95-101.

González Mercado, G. E. (2005). El vulcanismo monogenético de la región de Xalapa, Veracruz. Geomorfología, petrología y génesis. Tesis de maestría. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). INEGI. (1984). Geología de la República Mexicana. México, DF: INEGI/Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

INEGI. (2009). Prontuario de Información geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Xalapa, Veracruz. México, DF: INEGI.

Lenz, O. (2009). Fábrica y comportamiento geotécnico de las arcillas volcánicas de Xalapa, México. Ingeniería Civil, 153, 111-123.

Lenz, O. (2004). Influencia de la fábrica de las arcillas volcánicas de la Ciudad de Xalapa en su comportamiento geotécnico. Tesis doctoral. ESCCP. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Morales Barrera, W. V. (2009). Estudio geológico de un depósito ignimbrítico en la región de Xalapa, Veracruz: distribución, estratigrafía, petrografía y geoquímica. Tesis de maestría. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Padilla y Sánchez, R. J. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LIX (1), 19-42.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1970). Manual de Mecánica de Suelos. México, DF: SRH.

Sistema de Información Municipal. (2013). Cuadernillos Municipales. Ayuntamiento Xalapa, Ver.: Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz.

EDICIONES DEL CEDEX



Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos. Estudio Bibliográfico. M-125

Autores: Marta Sánchez de Juan, Víctor Luis Geraldes, María del Pilar Alaejos Gutiérrez Serie Monografías: M-125 ISBN: 978-84-7790-550-9 Año: 2014 P.V.P.: 20€

Actualmente la normativa española (Anejo nº18 "Hormigones de uso no estructural" de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08) permite el empleo de hasta un 100% de árido grueso reciclado procedente de residuos de hormigón para la fabricación hormigones de uso no estructural, excluyendo sin embargo el empleo del árido reciclado mixto (ARM). Este tipo de árido se obtiene por procesamiento de los residuos procedentes de una mezcla de residuos de hormigón y cerámicos, materiales que suponen aproximadamente el 80% del total de residuos de construcción y demolición producidos.

En este documento se recogen las posibilidades de utilización del árido reciclado mixto para la fabricación de hormigón reciclado en aplicaciones no estructurales. Para llevar a cabo esta tarea, se ha realizado un extenso estudio bibliográfico para conocer normativa internacional existente, así como el estado actual del conocimiento sobre las propiedades del árido reciclado mixto y del hormigón reciclado fabricado con este tipo de árido.



Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos. Estudio experimental. M- 126

Autores: Marta Sánchez de Juan, Víctor Luis Geraldes, María del Pilar Alaejos Gutiérrez Serie Monografías: M-126

Serie Monografias: M-120 ISBN: 978-84-7790-553-0 Año: 2014 P.V.P.: 20€

En este documento se recogen las posibilidades de utilización del árido reciclado mixto para la fabricación de hormigón reciclado en aplicaciones no estructurales y complementa a un estudio bibliográfico previo, incluido en la publicación *"Estudio de hormigones reciclados no estructurales fabricados con árido reciclado mixto: propiedades mecánicas y expansión debida al contenido de sulfatos. Estudio bibliográfico".*

En este estudio se ha realizado la caracterización completa de áridos reciclados mixtos gruesos de distinta calidad, comparándose con las tendencias obtenidas en el estudio bibliográfico.

Se ha realizado, además, un completo estudio de dosificaciones, que ha permitido fijar unos contenidos mínimos de cemento y una relación agua/cemento máxima para hormigones de distinta categoría resistente.

Finalmente, se ha realizado un estudio para analizar la influencia en las propiedades del hormigón fabricado con estos materiales en distintos porcentajes (50% y 100%), con el objetivo de fijar unos requisitos y límites orientativos que debería cumplir el árido reciclado en cada caso.

El documento concluye con una guía sobre la utilización del árido reciclado mixto para hormigones no estructurales, recogiendo las recomendaciones y buenas reglas de uso de los mismos.