

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Portada del Proyecto de Residencias Profesionales	

Nombre del Proyecto:

Obtención del ángulo de fricción interna de los 4 tipos predominantes de las arenas de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río

Nombre del Alumno:

Riquelme Sanchez Manuel Angel

Numero de Control:

14990249

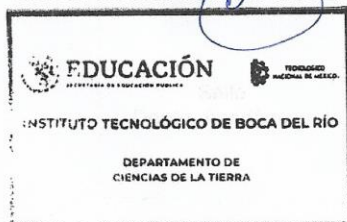
Nombre de la Carrera:

Ingeniería Civil

Especialidad:

Obras Marítimas.


ING. MAURICIO SALVADOR HERNANDEZ




ING. JOSE ANTONIO PALACIOS GUEVARA



INTRODUCCION.

La zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCVB), se ubican en la ribera marina del Golfo de México y es aledaña a la desembocadura del Río Jamapa 19°11'25"N 96°09'12"O. Según los registros históricos, la fundación del primer ayuntamiento el 22 de abril de 1519 Cortes y los soldados fundaron como Villa Rica de la Vera Cruz un asentamiento de chozas de palma que se convirtió en el primer ayuntamiento de América continental., pues ya le antecedía el de Santo Domingo; fundado por el hermano del Capitán Cristóbal Colón en el año de 1498.

Actualmente, La población total es de 8,112,505 personas, de las cuales el 51.8% son mujeres y el 48.2% hombres, según la Encuesta Intercensal 2015 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a nivel estado, en el municipio de Veracruz la población es de 552 156 habitantes según la encuesta del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizada en el 2010 y la población del municipio de Boca del Río es de 138 058 habitantes según la encuesta del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizada en el 2010. Por la presencia de su Puerto de Altura y la industria local, Veracruz y Boca del Río han crecido en estos últimos años de una manera acelerada y desordenada, sin respetar las normas de desarrollo urbano; sólo el mar ha impedido el crecimiento hacia oriente. Los humedales y las lagunas, en su mayoría han sido sepultados por la mancha urbana y los pocos arroyos que desfogan hacia el Golfo de México han sido entubados en casi su totalidad como el Río Tenoya que cruzaba en el centro de la ciudad de Veracruz que ha sido completamente entubado.

OBJETIVO GENERAL:

Conocer el comportamiento esfuerzo-deformación de las arenas típicas de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río empleando prueba de campo (SPT).

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Conocer las características de los 4 tipos de arenas que existen en la Zona conurbada Veracruz-Boca del Río.
2. Dar a conocer las tipos de pruebas a realizar en laboratorio para poder sacar el ángulo de fricción interna
3. Plantear una ubicación de los 4 tipos de arenas predominantes en la Zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

JUSTIFICACION:

Los tipos de suelo son arenas eólicas, aluviales (río) y marina. En la zona de Veracruz y Boca del Río, predominan 4 tipos de arenas que son de Marinas, Aluviales (Río), Playa y Médano, que son las más usadas en procesos constructivos por el tipo de sedimentos (partículas) que contiene, se conoce que para la obtención de esos tipos de arenas se utilizan diversos métodos pero los más comunes en la ingeniería civil son PCA (por sus siglas Pozo a Cielo Abierto) y Prueba de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en ingles). Se corroborará que en la zonificación propuesta por Lenz y Capallera se obtendrá los valores de resistencia típicas de los planteamientos de la zonificación por Lenz y Capallera.

MARCO TEORICO

GEOLOGIA, CARACTERISTICAS Y REGIONALIZACION DE LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RIO.

- **LOCALIZACION**

La Zona Conurbada Veracruz, ZCV, se localiza en la costa del Golfo de México, parte media oriental del Estado de Veracruz, ocupando la porción norte de la llanura de sotavento, Felipe Ochoa y Asoc. (1994). Está comprendida entre los paralelos 18°55'47" y 19°14'06" de latitud norte y entre los meridianos 95°56'03" y 96°14'69" de longitud oeste. Colinda al norte y al este con el Golfo de México, al oeste con los municipios de La Antigua, Paso de Ovejas y Manlio Favio Altamirano y al sur con los municipios de Medellín y Alvarado. La ZCV está integrada por los municipios de Veracruz y Boca del Río y por algunas partes de los municipios de La Antigua, Medellín y Alvarado. Su extensión es de 629.89 km², su longitud media es de 52 km, su anchura varía de 8.96 a 22.26 km y la longitud de su costa es de 70 km. En la Figura 1 se presenta su localización en el territorio nacional y en el estado de Veracruz.

[Ref 1].

- **TOPOGRAFIA**

La topografía en la Zona Conurbada de Veracruz es más o menos plana, sin elevaciones notables y con extensas porciones bajas inundables y pantanosas; la topografía es interrumpida solo por elevaciones irregulares correspondientes a médano o dunas antiguas, las cuales presentan sus ejes longitudinales aproximadamente paralelos a la línea de la costa de norte-sur, y cuyas

depresiones que quedan entre ellas frecuentemente están ocupadas por áreas inundadas permanentemente o lagunas inter dunarias principalmente. Las altitudes mayores de la ZCV se localizan en un médano que se encuentra en la intersección del libramiento portuario y la autopista Veracruz-Cardel con elevación aproximada de 100 msnm, y el Médano del Perro con altitud de 40 msnm, que se localiza atrás del Parque Viveros, cerca de la intersección de la Av. Miguel Alemán y el Paseo Simón Bolívar. En este médano existe un tanque de almacenamiento y regulación de agua potable que alimenta del recurso a la zona céntrica de la ciudad de Veracruz. Particularmente, se estima que el 60% de la ciudad de Veracruz se encuentra ubicada en un área sensiblemente plana o de pendientes suaves que abarcan una franja paralela a la línea de la playa, con un ancho variable entre 1 y 2 km, **Miranda (1979)**. El límite de la zona plana está constituido por los depósitos de médanos, con eje longitudinal en la dirección norte noroeste y, a ambos lados de los médanos, por las zonas bajas inundables que han sido gradualmente rellenadas para su utilización. Por otra parte las pendientes de los médanos no son mayores a 35°, y la superficie que ocupan no es mayor del 20% de la superficie total que ocupa la ciudad de Veracruz.

- Médano del fraccionamiento Costa de oro, Penacho del indio, Mocambo.
- Médano Donato Casas y Lomas del Mar.

La litología de Veracruz y la zona conurbada de Boca del Río está representada en superficie por arenas de origen eólico, arenas de litoral o de playa (al pie de la ribera marina) y los suelos aluviales que se encuentran a todo lo largo de la margen izquierda del Río Jamapa; con sucesión alternadas de arcillas y de arenas

limosas a arcillosas. Pasando a la margen derecha del mismo río se encuentra la misma alternancia y hacia Antón Lizardo, predominan las arenas eólicas en cordones de dunas con orientación norte-sureste, suelos de litoral y hacia mandinga afloran suelos lacustres. Todos estos suelos son del cuaternario, suelos jóvenes de reciente deposición **[INEGI, 2011]**.

La discontinuidad que destaca en la zona, corresponde a la Falla de Zacamboxo, que inicia en Teocelo, sigue por Puente nacional, Paso de Ovejas y pasa por Mocambo (área conurbada Veracruz-Boca del Río), hasta internarse en la plataforma marina del Golfo de México **[Figueroa, J. 1968]**. Cabe destacar que la mencionada discontinuidad está cubierta por suelos de origen eólico en superficie y a mayor profundidad por suelos marinos en la zona de Mocambo.

La geomorfología está representada por pequeños cordones de dunas que se encuentran paralelos al litoral y forman un bordo natural entre los terrenos bajos y el Golfo de México; también hacia el occidente y norte de la Ciudad de Veracruz se localizan grandes depósitos de dunas como el Médano del Perro y el del Coyol, que son las zonas altas de Veracruz. Para la parte conurbada, hacia Boca del Río, se encuentra paralelo al litoral, el Médano del Morro, que sirve de obturador entre los terrenos bajos de la margen izquierda del Río Jamapa y litoral; sólo existe drenaje natural por el Canal de la Zamorana, Puente Moreno y el mismo Río Jamapa. Por otro lado, la Ciudad de Veracruz cuenta con mal drenaje superficial, prueba de ello son la existencia de humedales-lagunas (Lagartos, Tarimoya, La Colorada, Las Conchas, Dos Caminos, El Encanto, El Coyol, por mencionar las más importantes) que se esparcen en todo el área metropolitana y los únicos afluentes naturales son el Río Grande, Medio, Tenoya; este último pasa frente a la

Iglesia del Cristo de manera entubada y nace al pie del Médano del Perro
[Williams, R. 1979].

Los fenómenos de erosión (geodinámica externa) que dominan en la localidad están representados por los movimientos de las dunas, ocasionado por los vientos que se presentan a finales de otoño hasta finales de invierno, que son los que modifican el paisaje en las áreas exentas de manchas urbanas. Las arenas finas acarreadas por la acción marina y que se depositan al pie de litoral, son transportadas tierra adentro por los vientos de temporada, para formar los cordones de dunas y los bordos naturales que se interponen entre los terrenos bajos y los de litoral; de tal suerte, que las grandes acumulaciones de masas arenosas que se depositan en el periodo de vientos huracanados en los terrenos existentes (suelos de litoral), migran de temporada en temporada y van dejando su huella de pre- carga (σ_c) en los depósitos existentes. El fenómeno erosivo antes descrito puede apreciarse en los terrenos que se encuentran hacia Antón Lizardo y los alrededores a la Laguna de San Julián (Carretera Veracruz- Cardel), en la que cada año se modifica la forma del relieve. Las corrientes marinas cambian el perfil de litoral y ante tal circunstancia, los gobiernos municipales de Veracruz y Boca del Río han tenido que instalar en el litoral dentellones compuestos por pedraplenes, para proteger las playas de la acción de las corrientes de litoral.

[Ref 1 y 2].

- **GEOLOGIA**

El estado de Veracruz ha sido conformado a través del tiempo por la acción de diversos factores geológicos: Orogénicos, tectónicos y volcánicos; además de procesos erosivos, que dieron origen a su fisiografía y morfología actuales, INEGI (1988). Fisiografía.

La Zona Conurbada Veracruz se localiza fisiográficamente en la Llanura Costera del Golfo de México la cual se subdivide a su vez en provincias, sub-provincias, regiones y zonas fisiográficas. La Zona Conurbada se encuentra en la Región de la Llanura Costera Aluvial, Sub-provincia de la Llanura Costera Veracruzana y Provincia de la Llanura Costera del Golfo Sur, es angosta en el norte, con una importante área alargada de dunas costeras cerca del Puerto de Veracruz; se ensancha en forma considerable a la altura de Boca del Río, donde desemboca el río Jamapa. La Zona Conurbada de Veracruz está constituida básicamente por conglomerados y suelos, ambos de origen sedimentario, los primeros cronológicamente se formaron en el Periodo Terciario (65 a 2.6 millones de años) de la era Cenozoica, y los suelos en el Periodo Cuaternario (iniciado hace 2.5 millones de años) de la misma era. Los grandes procesos formativos de la Zona Conurbada de Veracruz fueron dos:

Primero: Por la acción marina y eólica sobre el litoral y los campos de dunas, lo que propició la formación de un litoral con playas y ante playas de alta energía y una conformación semi-estable y activa de dunas, con tendencia a mantenerse de manera precaria.

Segundo: Por los cambios de la actividad fluvial de los ríos en el pasado, el Medio como el principal y en la actualidad el Jamapa. La dinámica fluvial activa del río Jamapa y los escurrimientos tributarios, así como la interface que se da entre dicho río y la penetración marina, conforman el medio fluvio marino de las lagunas litorales (Laguna Grande y Mandinga).

En la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río se localizan seis zonas morfológicas, Figura 5:

1) Arenisca-Conglomerado, T(ar-cg). Esta unidad corresponde a una secuencia continental de conglomerados polimícticos, el esqueleto lo forman clastos redondeados a sub redondeados de basalto, andesita, caliza y travertinos, en una matriz arenosa, escasamente cementada por carbonatos. Estos depósitos se localizan hacia el oeste en la porción central de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.

2) Depósitos de Coral, Q(c). Formados a partir de exoesqueletos de pólipos, animales cuyo tamaño no es mayor de 5mm. Se formaron hacia finales del terciario y principios del cuaternario (2.5 millones de años) sobre los suelos marinos de mayor antigüedad y se presentan frente a la costa de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río, principiando por la ciudad de Veracruz y terminando en Punta Antón Lizardo, quedando algunos sepultados por sedimentos de arenas aluviales, debido a la regresión de la línea de costa.

3) Depósitos Aluviales, Q(al). De origen fluvial, su textura y granulometría varía de una región a otra; hacia la porción occidental, son suelos poco

consolidados de arena gruesa a ligeramente gravosas; hacia la planicie costera, los suelos son limo arenosos compuestos principalmente por cristales de cuarzo, feldespatos, micas y limos, sin cementación y/o consolidación. Debido a su origen, estos sedimentos están constituidos por una alternancia de arenas, limos arcillosos y suelos orgánicos.

4) Depósitos Lacustres, Q(la). Están constituidos por limos, arenas y materia orgánica, que se forman en las zonas lagunares. Los afloramientos de estos materiales se localizan alrededor de la laguna de Mandinga que se sitúa al sureste de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.

5) Depósitos de Playa, Q(p). Estos depósitos se encuentran entre las dunas y el mar, presentan una ligera pendiente hacia la costa y están constituidos por arenas limosas y poco limosas con restos de conchas y fósiles, depositadas por la acción de la marea alta en la zona de la playa. Son arenas ricas en cuarzo, feldespatos, micas y fragmentos fósiles. Los afloramientos más importantes de estos materiales se localizan en el centro de la ciudad de Veracruz, y a lo largo de la costa litoral de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.

6) Depósitos Eólicos, Q(eo). Unidad formada por el acarreo y trabajo de arenas litorales por acción eólica. Estos materiales están constituidos por arenas y arenas limosas de grano medio a fino, forman una cadena de dunas que se extienden atrás y dentro de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río,

con orientación aproximada norte-sur, que indica la dirección de los vientos dominantes de la zona.

[Ref 2].

ZONIFICACION GEOTECNICA Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS

- **TIPO DE SONDEOS, MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO**

Las características geotécnicas del subsuelo de la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río fueron evaluadas en los estudios de Lenz y Capallera, distribuidos principalmente en la zona urbana y en la zona con mayor desarrollo al presente, que se localiza en la franja costera entre las ciudades de Veracruz y Boca del Río. En las Figuras 7 y 8 se presenta la localización de los sondeos de los estudios del subsuelo realizados en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río. Del total de estudios analizados, el 60 % de los sondeos fueron exploratorios de los tipos alterado- continuo y alterado selectivo (539), con recuperación de muestras alteradas mediante muestreo de tubo partido y prueba de resistencia a la penetración estándar. El 9 % de los sondeos correspondieron al tipo mixto, en estos sondeos se alternó el muestreo alterado con el muestreo inalterado mediante tubos de pared delgada tipo “Shelby”, de (3”) 7.5 cm y (4”) 10 cm de diámetro exterior y finalmente el 31 % de los estudios fueron realizados mediante sondeos superficiales del tipo alterado mediante pozos a cielo abierto, PCA, (732) donde se recuperaron muestras inalteradas y alteradas, principalmente estas últimas. Las pruebas de laboratorio realizadas a los suelos del sitio recuperados en el muestreo, para su

identificación y clasificación de acuerdo con el sistema unificado de Clasificación de Suelos, SUCS, fueron: contenido natural de agua, análisis granulométrico por mallas, límites de consistencia y densidad de sólidos. La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos se determinó mediante pruebas de resistencia a la compresión triaxial del tipo no consolidado-no drenado y compresión simple (con velocidad de deformación controlada, en algunos casos). Las características de compresibilidad se determinaron mediante pruebas de consolidación unidimensional.

Los valores de la permeabilidad de las arenas de médano y río de la Zona de Veracruz se determinaron en muestras reconstituidas utilizando un permeámetro de carga constante.

[Ref 2].

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA Y PROPIEDADES DEL SUELO.

En base a lo anterior en los estudios de Lenz y Capallera el subsuelo del sitio, y los antecedentes previos a este trabajo, Esquivel (1976), Miranda (1979) y Páez (2001), en las Figuras 7 y 8 se presenta la zonificación geotécnica actualizada de la zona de Veracruz, en las Figuras 10 a 18 los cortes estratigráficos típicos del subsuelo del área estudiada y en las Tablas 1 y 2, un resumen de sus propiedades más importantes. Su descripción es la siguiente:

- Zona M. Los suelos de esta zona están constituidos por arenas finas limosas de origen eólico y marino que se localizan en los depósitos de médanos. En esta zona generalmente el NAF se

encuentra profundo, con excepción hecha en los médanos enrasados. El contenido natural de agua, w , es de aproximadamente el 10%, el contenido de finos, F , varía entre 3% y 25% y por último, los suelos presentan una compacidad de suelta a media hasta aproximadamente una profundidad de 10 metros. A partir de los 10 m las arenas presentan una compacidad media, que aumenta a densa con la profundidad.

- Zona P. Los suelos están constituidos por arenas finas limosas de origen marino que se localizan en los depósitos de playa y en las zonas planas. El NAF se encuentra cercano a la superficie, w es de aproximadamente 25%, F varía entre el 15% y el 45%, y la compacidad es de suelta a media hasta una profundidad de 5 metros, y manifiesta una tendencia a aumentar con la profundidad. Es conveniente señalar que se identifican variaciones importantes de la compacidad longitudinalmente, indicativo de la heterogeneidad de estos depósitos.
- Zona I. En esta zona se presentan varios tipos de suelos como son la alternancia de arenas, arcillas y limos orgánicos que se localizan en los depósitos de origen aluvial y en las partes bajas e inundables de la ZCV. El NAF se encuentra cercano a la superficie; w varía entre 25% y 335%; el límite líquido, L_w varía entre 30% y 542%, y el límite plástico, P_w , varía entre 13.4% y 272%. Los suelos son normalmente consolidados y

de alta compresibilidad. La resistencia a la compresión simple que varía entre 35 y 90 kN/m². En las envolventes de resistencia de pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas los valores del ángulo de fricción interna del suelo, ϕ , se encuentran en el rango de 5.5° a 7° y los valores de cohesión, c , entre 28 y 32 kN / m². Por debajo de la formación anterior, subyace una secuencia de arenas finas a medias limosas y poco limosas de origen marino de compacidad media a densa, que aumenta con la profundidad. Es importante señalar que en esta zona, se pueden localizar dos sub zonas: la que se encuentra dentro y en las inmediaciones de la ciudad, donde los suelos son normalmente consolidados, de consistencia blanda a muy blanda y el NAF cercano a la superficie; la otra, localizada en las inmediaciones de la ciudad industrial y el aeropuerto, en las que los suelos se encuentran pre consolidados, de consistencia firme a dura, con el NAF profundo. En mediciones realizadas con penetrómetro de bolsillo los valores de resistencia pueden alcanzar valores mayores a 450kN/m².

- Zona L. De reciente estudio, esta zona presenta secuencias de arcillas y limos orgánicos estratificados que se localizan dentro y en la periferia del sistema lagunar de Mandinga con potencia de hasta 12 m. El NAF coincide prácticamente con la superficie; w varía entre 22% y 231%, L_w varía entre 35% y 221% y P_w , varía entre 19% y 141%. Los suelos son normalmente consolidados y de alta compresibilidad. En las envolventes de resistencia de pruebas triaxiales no consolidadas

no drenadas los valores del ángulo de fricción interna del suelo, ϕ , se encuentran en el rango de 11° a 15° y los valores de cohesión, c , entre 6 y 11 kN / m². Por debajo de la formación anterior, subyace una secuencia de arenas finas a medias limosas y poco limosas de origen marino de compacidad media a densa, que aumenta con la profundidad.

- Zona C. El subsuelo de esta zona está constituido por depósitos de coral y arenas coralíferas que se encuentran subyaciendo a las arenas superficiales de la playa en la línea del litoral a profundidades del orden de los 15 y 35 metros por debajo del nivel medio del mar, NMM. Estos depósitos son muy heterogéneos, de compacidad y permeabilidad variable y errática. La resistencia a la compresión simple varía entre 600 y 26,570 kN / m², aunque en algunos sitios se encuentra muy poroso y sus resistencias pueden ser menores al mínimo aquí indicado.

[Ref 2].

CARACTERISTICAS DE LOS 4 TIPOS DE ARENAS (LENZ).

En base a la información, existen las siguientes zonas.

- **ZONA DE LITORAL O DE PLAYA (Q_p)**

Para caracterizar los suelos que componen la estratigrafía de la zona de playa, se han escogido los estudios pegados a litoral (línea A-A'), indicados en la Figura 1. El subsuelo está constituido predominantemente por depósitos de arenas de color

café en superficie y a mayor profundidad son de color gris, de finas a medias, en casos aislados gruesas con gravas finas; limosas a poco limosas y se detectan arenas arcillosas aisladas, mezcladas con gravas o fragmentos de coral (área conurbada de Veracruz y Boca del Río y desarrollo portuaria). En la Figura 2 se muestran las características granulométricas y las propiedades índices se indican en la Tabla 2. El ángulo de fricción interno efectivo (ϕ_x), determinado a partir de ensayos de corte directo de muestras de arena extraídas a profundidades entre 1.60 m a 3.60 m, varía entre 28° y 32° [Esquivel, J. 2008].

Para identificar la variación de la densidad relativa (D_r) con la profundidad, se construyó la Figura 3, que asocia el valor de NSPT con los esfuerzos verticales efectivos (σ_{vu}) y en ella puede apreciarse que superficialmente, la D_r a presiones correspondientes a 0.25 kg/cm² alcanza valores por arriba del 100%, y a partir de 0.75kg/cm². La permeabilidad horizontal de las arenas (k_h) varía entre 1.1x10⁻³cm/seg a 3.9x10⁻³cm/seg y la permeabilidad vertical (k_v) promedio es de 2.5x 10⁻⁴cm/seg [Esquivel, R. 1976]. Las arcillas de litoral se encuentran aisladas y son de color gris verdoso, de consistencia firme a blanda y se encuentran a profundidades variables (ver Tabla 2). Más adelante se comentará sus características de plasticidad. Lamentablemente, la información revisada no cuenta con ensayos mecánicos y sólo reporta propiedades índices.

En este depósito el nivel de aguas freáticas (NAF) se encuentra a profundidades de 0.5 m a 3.2 m, contado a partir de nivel de terreno natural.

. [Ref 2].

- **ZONA DE MÉDANO (Qd)**

En la caracterización de los suelos eólicos se han utilizado los estudios con número de identificación unidos por la línea B-B' de la Figura 1. Este depósito está constituido, principalmente, por arenas de color café; uniformes, mal graduadas (Figura 2). Superficialmente las arenas de dunas tienen una D_r entre 30% y 50% y en casos aislados llegan al 70% (médano del Morro). Se ve claramente, que las arenas de dunas están normalmente consolidadas, pues las de litoral exhiben mayores densidades relativas que las eólicas bajo mismo nivel de presiones verticales efectivas (Figura 3). Las arenas someras de dunas presentan ángulos de fricción interna efectivos (ϕ') entre 29° a 34° [Esquivel, J. 2008]. La Figura 5 muestra las envolventes de falla de los ensayos de corte directo, aplicados a muestras de arenas (SM y SP), procedentes de los depósitos eólicos y de litoral, en la misma figura se indica el número de identificación del estudio asociado a la D_r y al ϕ' . Los espesores de las arenas de dunas oscilan entre 14.0 m y 16 m y le subyacen suelos de origen marino, pero con mayor D_r que los de litoral y a partir del esfuerzo efectivo de 1.0 kg / cm² de estos suelos, la D_r máxima (perfil derecho de la envolvente) aumenta con el incremento del σ_{vu} hasta alcanzar 1.4 kg / cm² y a partir de este valor la D_r disminuye (Figura 3).

Se muestran las curvas de compactación Proctor estándar de los suelos de dunas y también de los de litoral. En este depósito el NAF está determinado por la morfología del terreno, de tal manera que las profundidades reportadas oscilaron entre 5.5 m y 9.70 m, contado a partir de terreno natural; sólo alrededor de las

zonas lagunares se encontró el NAF a profundidades de 0.50 m o coincidía con el nivel de terreno natural.

[Ref 2].

- **ZONA ALUVIAL (Qal)**

Para la caracterización de los suelos que componen la columna estratigráfica del depósito de origen aluvial, se han utilizado los estudios cuyos números de identificación se unieron con la línea C-C', como puede apreciarse en la Figura 1; esta zona corresponde a terrenos bajos y por tanto de inundación.

Superficialmente, existe una capa de relleno compuesta por arenas, que fue depositada expresamente para elevar el nivel de terreno y evitar el agua estancada (estudios 46, 34, 51, 28, 25, 37, 93, etc.). Esta capa de relleno procede de depósitos de dunas y tiene espesores entre 0.50 m y 2.0 m. Sub- yace a la capa de arena antes mencionada el terreno natural y está compuesto por un estrato de arcilla de alta plasticidad. (CH-OH), que es la que no permite que el agua permeé hacia el subsuelo y según los sondeos revisados, esta capa tiene un espesor que varía entre 1.4 m a 7.2 m.

Este estrato tiene intrusiones de materia orgánica y bolsas de turba aisladas (puntualmente estudios 46, 41 y 34, que corresponden a los Fraccionamientos Floresta y Flores del Valle), cuyos índices de liquidez (IL) llegan alcanzar un valor de 1.30 (estudio 41 en Figura 1). Entre las profundidades de 4.0 m a 7.0 m (contado a partir de terreno existente) cambia la estratigrafía y subyace a la arcilla antes descrita una serie de estratos alternados de arenas limosas (SM) finas a medias y de arenas arcillosas finas (SC) de color gris, de compacidad baja a muy

densa ($1 < NSPT < 49$); que se extienden hasta las profundidades exploradas de 18.0 m a 21.0 m. Cabe destacar, que estas arenas tienen una tendencia a aumentar sus compacidades relativas con la profundidad. Las características granulométricas de estas arenas son similares a las de litoral. Eventualmente, estos mantos contienen intercalaciones de lentes de arcillas de mediana plasticidad (CL), de consistencia muy blanda a firme. Estas lentes se presentan en profundidades variables. De nueva cuenta, en la Tabla 2 se muestran las características geotécnicas de los suelos aluviales, agrupados de acuerdo a la clasificación SUCS y en la Figura 8, puede apreciarse la variación de la plasticidad de las arcillas aluviales y en la misma figura se incluye las características de plasticidad de las arcillas de litoral.

[Ref 2].

TIPO DE GRANO

La forma de las partículas minerales de un suelo es de importancia en el comportamiento mecánico de esta.

En los suelos gruesos la forma característica es la equidimensional, en la cual las tres dimensiones de la partícula son la magnitud comparable. Se origina por la acción de los agentes mecánicos desintegradores y solo excepcionalmente corresponde a partículas que hayan sufrido algún ataque químico. Según la intensidad y lapso con que estos agentes mecánicos hayan actuado se producen variedades en la forma equidimensional, de las cuales pueden considerarse la redondeada, la sub-redondeada, la sub-angulosa, y la angulosa, en la escala de creciente de los efectos del ataque de los agentes desintegradores. La forma

redonda es prácticamente la esférica, mientras la angulosa es la que se presenta arista y vértices aguzados (por ejemplo piedra triturada). Cuando estos vértices y arista están redondeados por el efecto del rodado y la abrasión mecánica se tiene la forma sub-angulosa la que por un proceso más intenso de la erosión puede devenir a la forma sub-redondeada final. Las formas angulosas son típicas de arenas residuales. Las formas redondas son frecuentes en las arenas de río y angulas formaciones de playa si bien en el primer caso abundan formas sub-redondeadas y sub-angulosas. Las arenas eólicas suelen ser de grano fino y redondeado. (Ver imagen 1).

[Ref 3].

COMPOSICION GRANULOMETRICA

- **LAS ARENAS Y LA INTERPRETACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.**

Erosión, transporte y sedimentación. Las arenas en las playas, en los ríos, en las dunas, en los deltas, etc., son el resultado de la acumulación de pequeñas partículas desde un área fuente que se está erosionando, su transporte mediante los ríos, el viento, el hielo, etc., hasta un lugar más o me-nos deprimido y de ambiente tranquilo donde se sedimentan.

El área fuente de una arena hace referencia al entorno original de donde proceden los granos terrígenos del depósito. Es muy frecuente encontrar granos de cuarzo en un sedimento arenoso; sin embargo, ¿de dónde procede ese cuarzo? Sin lugar a dudas, ese cuarzo procede de una roca que estaba expuesta

a la erosión, y que al disgregarse “liberó” un fragmento de cuarzo que fue modificando su forma hasta convertirse en el grano de arena que vemos actualmente. Por lo tanto, existe una relación directa entre los componentes minerales que vemos en el depósito y la naturaleza mineral del área fuente. Si un área fuente montañosa está formada por granito (roca plutónica cuyos minerales mayoritarios son cuarzo, feldespato y mica), los granos de arena acumulados en la playa resultantes de su erosión serán granos de cuarzo, de feldespato y de mica. Si un área fuente montañosa está formada por mármoles, las playas resultantes serán ricas en granos de calcita. Sin embargo, la relación mineralógica entre el área fuente y el sedimento arenoso no siempre es tan clara. Por una parte, diferentes áreas fuentes pueden alimentar un único depósito, y por lo tanto, la variedad mineralógica en el sedimento final puede ser mucho mayor que la de una única área fuente. En cambio, por otra parte, es necesario que para que se generen zonas de depósito y acumulación de arenas, las partículas viajen desde el área fuente hasta la cuenca sedimentaria mediante los diferentes agentes de transporte. Este viaje puede llegar a ser muy agresivo, y las partículas se pueden degradar y fragmentar mucho. No todos los minerales son igual de resistentes, por lo que si el viaje es intenso, los más débiles acaban erosionándose por completo y desapareciendo. Es por ello que, en ocasiones, el depósito arenoso posee una variedad mineralógica menor que el área fuente del que procede. Uno de los minerales más resistentes en condiciones ambientales es el cuarzo. Por ello, es muy habitual encontrar granos de cuarzo en el sedimento, a pesar de que haya sido transportado intensamente.

El transporte, como vemos, es otra pieza clave en la configuración del depósito final. Las partículas generadas por la erosión de la roca en el área fuente pueden ser transportadas por el viento, la lluvia, los ríos, el hielo, las coladas de barro, etc. Tal y como hemos visto anteriormente, el agente de transporte tiene un carácter selectivo, ya que deteriora y elimina los componentes más débiles, mientras que mantiene aquellos más resistentes. Sin embargo, ese carácter selectivo no sólo se manifiesta en qué minerales prevalecen y cuáles no, sino que también se realiza una selección de tamaños de partícula. Es evidente que un río de alta montaña posee mucha más energía que uno que transcurre en su tramo final por una larga llanura, por ejemplo. Igualmente, el viento puede acelerarse, aumentando su energía, o puede frenarse, disminuyéndola. Cuanto mayor es la energía de transporte de un medio, más capacidad tiene ese agente para transportar partículas más gruesas. Conforme la energía vaya disminuyendo, las partículas más gruesas se irán depositando puesto que el agente no puede desplazarlas, mientras que las más finas continuarán el viaje. Por ello, cuanto mayor sea el transporte sufrido, la energía del medio habrá disminuido lentamente (o habrá sufrido diferentes procesos de aceleración y deceleración) por lo que sedimento se habrá ido “tamizando” intensamente. El resultado final será un depósito con un tamaño de partícula homogéneo. Por el contrario, cuando el transporte es muy corto, la energía del medio disminuye súbitamente y toda la carga transportada se acumula a la vez, por lo que el “tamizado” es mucho menos intenso. El depósito, en este caso, estará formado por granos de un rango más amplio de tamaños. Este “efecto tamiz” del agente

de transporte se traduce en un sedimento mejor o peor seleccionado. Cuanto mayor es el transporte, mejor seleccionado es el depósito final.

Otra consecuencia directa del grado de transporte que sufren las partículas es su grado de redondez y su esfericidad. Durante el transporte, las partículas se golpean entre sí y golpean el sustrato. Como consecuencia, se van re trabajando morfológicamente, perdiendo las aristas y suavizando las formas. El resultado de un transporte intenso, por lo tanto, será una arena con partículas más redondeadas (con menos ángulos y esquinas) y esféricas (geometría más próxima a la esfera). Esta afirmación se cumple siempre que comparemos dos depósitos que han sido transportados por el mismo medio de transporte. Por ejemplo, si en un río encontramos un banco de arenas redondeadas y esféricas podremos decir que ha sufrido un transporte mayor que aquellos depósitos fluviales con partículas angulosas y muy alargadas. Pero, consideremos ahora una morrena frontal, que son sedimentos glaciares que se forman en el frente de avance de los glaciares de hielo. Las partículas se transportan en el hielo a lo largo de grandes distancias, y se acumulan en barras cuando éste se derrite.

[Ref 4].

- **ANALIZANDO LOS SEDIMENTOS: GUÍA DE PROCEDIMIENTOS EN LABORATORIO**

A continuación se exponen los principales aspectos teóricos, así como los procedimientos de obtención de las características o parámetros empleados en este taller de arenas. Considérese que estas características son una muestra del

total de parámetros que pueden obtenerse en el estudio de una arena, que podría incluir también el volumen/porosidad, ángulo de reposo, etc.

[Ref 4].

- **TAMAÑO Y SELECCIÓN DE GRANO**

El término arena está dedicado para el conjunto de partículas de rocas disgregadas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros. El sorting o selección hace referencia al grado de similitud en el tamaño de grano de las partículas, de forma que se considera que el sedimento está bien seleccionado, si todas las partículas son del mismo tamaño, y mal seleccionado, si presenta grandes diferencias entre el tamaño de grano. La determinación de este parámetro (selección) puede realizarse por varias vías. La primera, se basa en obtener en laboratorio las frecuencias granulométricas de cada uno de los tamaños de grano representados en el sedimento. Para ello, se realiza un ensayo de tamizado donde las partículas pasan por una serie de mallas o tamices de distintos diámetros (a modo de coladores), de forma que finalmente es posible separar el sedimento en distintas fracciones, cada una de ellas con un tamaño de grano determinado. Otra vía de obtención de la selección es comparar visualmente el sedimento con cartas de sorting estándar, en las que se diferencian normalmente seis tipos, desde extraordinariamente seleccionado hasta muy pobremente seleccionado.

Los datos de distribución de frecuencias de tamaño de grano de un sedimento arenoso normalmente son representados mediante un histo-grama (que relaciona tamaño de partícula - % de representación en el total), o bien mediante curvas granulométricas de porcentaje acumulado (Fig. 2). Esta curva es

simplemente una representación de los resultados obtenidos de forma que utilizando un papel log-normal (que tiene en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural) se relacionan los valores acumulados y el tamaño de grano. Existe numerosa bibliografía sobre este sencillo procedimiento y la interpretación de los numerosos parámetros que se derivan del estudio de dicha curva (por ejemplo, Tucker, 1988), e incluso programas informáticos que permiten obtener de forma automatizada todos los parámetros relacionados con la distribución de tamaños de una arena (Blott y Pie, 2001).

[Ref 4].

- **COMPOSICION**

Cuando observas los granos de una muestra de arena, éstos pueden corresponder a bioclastos o a granos detríticos. Los bioclastos son restos de organismos con exoesqueletos duros (conchas, caparazones, espículas de esponja, radiolas de erizo, etc.), que al morir se descomponen y son transportados y acumulados por el mar, mezclándose con el resto de sedimentos. Unas ocasiones reconoceremos estructuras enteras. Otras, en cambio, únicamente veremos pequeños fragmentos curvos y quizá nacarados que nos recuerdan a esas estructuras. El grado de fragmentación dependerá tanto de la intensidad de la energía del medio en el que se acumularon como de la duración del transporte sufrido desde el área fuente. Los granos detríticos son aquellas partículas formadas por fragmentos de roca. En ocasiones, sobre todo cuando el tamaño de la arena es fino o muy fino, estos fragmentos son monominerales.

Sin embargo, cuando el tamaño alcanza los varios milímetros de diámetro, o incluso el orden centimétrico/decimétrico, es poco frecuente que las partículas sean monominerales, sino que suelen constituir fragmentos de roca con características texturales y minerales reconocibles. Las partículas monominerales más frecuentes en el sedimento son: cuarzo, feldespatos y calcita. Evidentemente, en arenas de composición compleja podemos encontrar muchísimos otros minerales. Por ejemplo, cuando el área fuente es ígnea, es habitual encontrar diversos minerales silicatados en el sedimento, tales como olivinos, piroxenos, micas, etc. Si por el contrario, en el área fuente predominan las rocas metamórficas, en el depósito resultante podremos encontrar abundantes micas o granates. El cuarzo se reconoce fácilmente en una muestra de arena por su gran transparencia. El color suele ser blanco o grisáceo, pero no es difícil encontrar granos de cuarzo con tonalidades rosadas, rojizas o más oscuras. Otra característica identificativa es la ausencia de maclas o planos de exfoliación, de forma que aparecen como masas más o menos homogéneas y masivas. Los feldespatos son también bastante frecuentes, sobre todo cuando las litologías predominantes en el área fuente son ígneas o metamórficas. Se reconocen por su aspecto opaco y porque frecuentemente presentan planos de exfoliación. Los colores son similares a los del cuarzo, virando del blanco al rosado. La calcita es otro de los componentes frecuentes en las arenas. Un grano monomineral de calcita caracteriza por ser opaco, tiende a adquirir coloraciones ocreas, amarillentas o marrones (aunque pueden existir cristales de calcita de muchos otros tonos), y presenta frecuentemente planos de exfoliación lo cual hace que su superficie pueda estar marcada por sutiles escalones. **[Ref 4].**

- **ORIGEN DE LA ROCA MADRE.**

En edafología se denomina roca madre, base rocosa, sustrato rocoso u horizonte D, a la roca consolidada bajo las zonas recubiertas por materiales alterados o disgregados, suelos o regolitos, de la superficie de un planeta terrestre, por lo general de la Tierra. Es el horizonte basal de la estructura de un suelo. Cuando la roca madre experimenta la meteorización del subsuelo, se forma un saprolito en su límite superior: una zona entre la roca inalterada y el suelo de rocas fragmentadas y meteorizadas no consolidadas. La base rocosa de un suelo se conoce también como roca matriz y la identificación de esta, a través de excavaciones, perforaciones o por métodos geofísicos, es una tarea importante en la mayoría de los proyectos de ingeniería civil. Los depósitos superficiales pueden ser extremadamente gruesos, de tal manera que la roca madre se encuentra a cientos de metros bajo la superficie. Los mapas geológicos, por lo general, presentan la distribución de los diferentes tipos de roca de un área sin los recubrimientos superficiales de poco espesor, es decir, las rocas que se verían expuestas si los suelos y otros depósitos de escasa entidad fueran eliminados. Para cartografiar los suelos se realizan mapas específicos, los mapas edafológicos o de suelos.

[Ref 5].

CARTA GEOLOGICA DE VERACRUZ

- **ARENAS ALUVIALES**

El pico de Orizaba constituido de Qptho Da-A (dacita-andesita) perteneciente al periodo cuaternario, rodeado de una zona de TplA-Da (andesita-dacita) del

periodo terciario neógeno. La afluencia del río Jamapa se da desde zonas comprendidas por QptLh-ar (Lahar-arena) y Qhoal (aluvión) del periodo cuaternario.

El campo volcánico Citlaltépetl-Cofre de Perote se edifica sobre andesitas y dacitas pliocénicas (TplA-Da) y basaltos de Pleistoceno (QptB), sobre los cuales se depositan dacitas y andesitas (QpthoDa-A), lahares y arenas (QptLh-ar) y depósitos piroclásticos (QptTR). Por último se presenta material tobáceo de composición andesítica (QhoTA). Cubriendo parcialmente a todas estas unidades se presentan depósitos cuaternarios consistentes de limos y arenas (Qholm-ar), depósitos aluviales (Qhoal) y sedimentos eólicos (Qhoeo).

- **ARENAS MARINAS**

La cuenca Tampico-Misantla del terciario está representada por sedimentos marinos elásticos, los más antiguos correspondientes a una secuencia flysch conformada por lutitas y areniscas calcáreas con margas pertenecientes a la formación Chicontepec del paleoceno superior-Eoceno inferior (Tpae-Ar-Lu), cubierta transicionalmente por lutitas arenisca e la formación Guayabal del Eoceno medio (TeLu-Ar), sobreyacida por arenisca conglomérica y lutita de la formación Chapopote del Eoceno Superior (TeAr-Cgp). Por último lutita y arenisca conglomeráticas de la de la formación Horcones del Oligoceno inferior (ToLu-Cgo). Que es cubierta concordantemente por lutitas y areniscas de la formación Palma Real del oligoceno inferior-medio (RoLu-Ar). Toda esta secuencia se encuentra afectada por un intrusivo que varía a de diorita a tonalita (TmD-Tn) con edad de 9 ± 0.7 Ma. De la cuenca de Veracruz solo afloran la formación concepción

(TmAr-Cgo) formada principalmente por areniscas mal cementada y conglomerados constituidos por fragmentos calcáreas.

[Ref 10].

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

En 1902 Charles R. Gow marcó el inicio del muestreo dinámico de los suelos, al implementar la práctica de hincar en el suelo un tubo de 1 pulgada de diámetro exterior con el fin de obtener muestras. En 1922, la empresa de Gow se convirtió en una subsidiaria de Raymond Concrete Pile, la cual se encargó de difundir la nueva metodología para estimación de la resistencia del material basada en la mencionada practica de hinca de tubo **(López Menardi, 2003, pág. 6).**

En 1927, con base al trabajo de campo realizado por G. A Fletcher y el desarrollo de investigaciones realizadas por H. A. Mohr (gerente regional de Gow Company en Nueva Inglaterra, U.S.A.), se diseñó la cuchara partida de dos pulgadas de diámetro exterior. **(López Menardi, 2003, pág. 6).** Para 1930, se da inicio a la reglamentación del método de ensayo con la realización de mediciones de la resistencia a la penetración de una cuchara partida (de 2 pulgadas) bajo una carrera de 12 pulgadas, empleando una maza de 63,5 kg. Que caía desde 76,2 cm. de altura. H.A Mohr, en su trabajo denominado “Exploration of soil conditions and sampling operations” publicado por la Universidad de Harvard– afirma que el método de exploración del suelo y su muestreo se estableció en 1929, momento para el cual Gow realiza el primer ensayo formal del ensayo de Penetración. De otro lado, es hasta 1948, en el libro “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica”

de Terzaghi y Peck, donde se realiza una referencia directa al método como el ensayo de penetración estándar. **(López Menardi, 2003, pág. 6).**

[Ref 12].

PROCEDIMIENTO

Con base a lo prescrito por la Norma ASTM D1586-84. A continuación se transcribe dicha síntesis por su importancia práctica y calidad conceptual, así:

1. Se realiza una penetración hasta cierta profundidad y en el fondo del mismo (una vez limpiado cuidadosamente) se introduce un penetrometro de dimensiones estándar que consta de tres elementos: zapata, tubo partido y cabeza de acoplamiento con barras de perforación.
2. Se hincan y se toman muestras en el terreno 60 cm, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 centímetros. La hincada se realiza mediante una maza de 63.5 kg (140 libras) que cae desde una altura de 76 cm (30 pulgadas) en una cabeza de golpeo o yunque. La lectura del golpeo del primer y último tramo no se tiene en cuenta, por posible alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso y por posible sobre compactación en el segundo. Los valores de golpeo de los tramos centrales de 15 cm sumados conducen al parámetro N30 SPT o NSPT, denominado también resistencia a la penetración estándar. Cuando el terreno es muy resistente se detiene la prueba para un determinado número de golpes (rechazo, R), anotando la penetración realizada.

3. Él toma muestras permite además recoger una muestra alterada del suelo que posibilita su identificación. Normalmente esta muestra se introduce en un recipiente o bolsa en los que se indican en una etiqueta, además de los datos de la obra, sondeo, profundidad, fecha, etc., los valores de golpeo obtenidos.

[Ref 12].

NORMATIVA

En 1958, la ASTM (American Society for Testing Materials) introdujo la primera descripción del ensayo de Penetración Estándar, la cual fue denominada “Método tentativo de Ensayo de Penetración y Toma de Muestras del Suelo con Tubo Testigo Hendido Longitudinalmente”. Para 1967, la ASTM convirtió el método tentativo es un método normalizado.

La ASTM D 1586-84 (ASTM, reprobado en 1992) es la normalización actual impartida por la Sociedad Americana de Normalización (ASTM, por su sigla en inglés).

López Menardi, realiza un análisis del método propuesto por la ASTM para la realización del Ensayo In Situ de Penetración Estándar (SPT), a partir del cual propone como fundamentales los elementos y propiedades que se enuncian a continuación:

1. Maza con peso de 63,5 kg.
2. Se determina una altura para la caída: 76 cm (equivalente a 30 pulgadas).
3. El diámetro externo establecido para el sacamuestras es de 50mm=2 pulgadas.

4. El diámetro interno del sacamuestras corresponde a 35 mm ó 1 3/8 pulgadas.
5. Variante con diámetro interno 38mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35mm)
6. El mecanismo de liberación del martinete funciona por medio de cable de ixtle y malacate.
7. Las barras de sondeo.
8. La cabeza de golpeo. (López Menardi, 2003)

De acuerdo con la citada norma ASTM, en el ensayo SPT se concibe como rechazo y debe darse por terminado el procedimiento, en los casos a continuación:

1. Cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm.
2. Cuando en total durante el procedimiento se aplican 100 golpes.

[Ref 11].

- **METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DEL ANGULO DE FRICCION INTERNA (ϕ).**

El sondeo de penetración estándar (SPT) es el método de exploración geotécnica más usado hoy en día, nació en los Estados Unidos de Norteamérica en la década de 1920, con la finalidad de estimar el grado de densificación de los suelos. En 1925, un perforista de la firma Societé Raymond - Pile, propuso a K. Terzaghi, contar el número de golpes necesarios para hincar en un tubo toma- muestras que tenía por costumbre utilizar, asumiéndolo como un ensayo después de haber acumulado gran número de resultados. Asimismo se reportó los trabajos de Mohr

H.A. (1927), quien utilizó el toma-muestras como un Penetrometro. Es por eso que este método toma una gran importancia en el uso ingeniero geológico, en muchos campos de trabajo como son, las obras civiles, estudios de riesgo por deslizamiento, construcción de presas, canales etc.

[Ref 6].

DETERMINACION DE C (COHESION) Y COMPACIDAD RELATIVA APARTIR DEL SPT.

La determinación de la cohesión y compacidad se ha tomado de las investigaciones de Terzaghi y Peck relacionándolas con el número de golpes del SPT, interpolando los valores intermedios de las siguientes tablas.

Las diferentes investigaciones preliminares y datos sobre suelos cohesivos proporcionan relaciones empíricas en donde se puede estimar la misma a partir del número de golpes (fig.3) **(George B. Sowers, F. Sowers, 1980).**

Determinación de ϕ (ángulo de fricción interna) para suelos no cohesivos a partir del SPT. Los resultados del SPT pueden correlacionarse con algunas propiedades mecánicas de los suelos, y en especial en lo referente a las arenas. Las primeras referencias sobre el uso del SPT en arenas están citadas en (Terzaghi y Peck) y representadas en una tabla que correlaciona el valor de N con la densidad relativa en arenas. La densidad relativa (D_r) de una arena tiene una influencia importante en el ángulo de fricción interna (Φ), en su capacidad de carga y en el asentamiento de fundaciones que se apoyan sobre este material.

APORTE DE PECK y BAZARAA

Relacionan la densidad relativa de la arena con el índice de penetración estándar "N" y la presión de sobrecarga en el nivel donde se efectúa el ensayo, por medio de las siguientes relaciones:

Para $\sigma < 1,5 \text{ kpsi/pie}^2$ ($0,73 \text{ kg/cm}^2$)

Para $\sigma > 1,5 \text{ kpsi/pie}^2$ ($0,73 \text{ kg/cm}^2$)

En la que "N" es el valor del S.P.T. para una arena con una densidad relativa DR y bajo una Presión de sobrecarga (σ).

APORTE DE MEYERHOF

En investigaciones realizadas entre 1953, 1954 y 1955 Meyerhof estableció una correlación entre N, DR, y ϕ , la cual es independiente de la presión de sobrecarga efectiva. Según el autor los valores de los ángulos son seguros para arenas limpias y uniformes, deben reducirse por lo menos 5 grados para el caso de arenas arcillosas en ausencia de ensayos de corte; para el caso de una mezcla de arenas con gravas pueden aumentarse hasta 5 grados. Posteriormente en 1975 estableció una correlación en la cual se incluye el efecto de la presión de sobrecarga (σ en el nivel donde se efectúa el ensayo, por medio de la siguiente relación). Existen muchas teorías sobre el cálculo de ϕ y N, propuesto por muchos autores aquí se mencionan los valores corregido de N, todas son relaciones empíricas. **[Ref 9].**

PRUEBA TRIAXIAL

La prueba de ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al cortante.

En un ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En estas pruebas se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre el espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Los especímenes usualmente están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua.

El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor comunicado con ella. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara. La presión que se ejerce con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce por lo tanto, esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las direcciones, tanto lateral como axialmente. En las bases del espécimen actuará además de la presión del agua, el efecto transmitido por el vástago de la cámara desde el exterior. Es usual llamar σ_1 , σ_2 y σ_3 a los esfuerzos principales mayor, intermedio y mínimo, respectivamente. En una prueba de compresión, la presión axial siempre es el esfuerzo principal mayor, σ_1 ; los esfuerzos intermedios y menor son iguales ($\sigma_2 = \sigma_3$) y son iguales a la presión lateral. **[Ref 7].**

TIPOS DE PRUEBAS TRIAXIALES

Prueba lenta - Prueba con consolidación y con drenaje (CD)

La característica fundamental de la prueba es que los esfuerzos aplicados al espécimen son efectivos. Primeramente se aplica al suelo una presión hidrostática, manteniendo abierta la válvula de comunicación con la bureta y dejando transcurrir el tiempo necesario para que haya consolidación completa bajo la presión actuante. Cuando el equilibrio estático interno se haya restablecido, todas las fuerzas exteriores estarán actuando sobre la fase sólida del suelo, es decir, producen esfuerzos efectivos, en tanto que los esfuerzos neutrales en el agua corresponden a la condición hidrostática. La muestra se lleva a la falla a continuación aplicando la carga axial en pequeños incrementos, cada uno de los cuales se mantiene el tiempo necesario para que la presión en el agua, en exceso de la hidrostática, se reduzca a cero.

Los ensayos consolidados drenados se utilizan esencialmente en suelos granulares (arenas), sin embargo, se puede aplicar en suelos finos, pero los ensayos requieren tiempos prolongados del orden de semanas.

PRUEBA RAPIDA – PRUEBA CON CONSOLIDACION Y SIN DRENAJE (CU)

En este tipo de prueba, el espécimen se consolida primeramente bajo la presión hidrostática; así el esfuerzo llega a ser efectivo, actuando sobre la fase sólida del suelo. En seguida, la muestra se lleva a la falla por un rápido incremento de la carga axial, de manera que no se permita cambio de volumen. El hecho esencial de este tipo de prueba es el no permitir ninguna consolidación adicional durante el

periodo de falla, de aplicación de la carga axial. Esto se logra fácilmente en una cámara de compresión triaxial cerrando la válvula de salida de las piedras porosas a la bureta. En la segunda etapa de una prueba rápida consolidada podría pensarse que todo el esfuerzo desviador fuera tomado por el agua de los vacíos del suelo en forma de presión neutral, ello no ocurre así y se sabe que parte de esa presión axial es tomada por la fase sólida del suelo, sin que hasta la fecha, se hayan dilucidado por completo ni la distribución de esfuerzos, ni las razones que lo gobiernan. De hecho no hay ninguna razón en principio para que el esfuerzo desviador sea íntegramente tomado por el agua en forma de presión neutral, si la muestra estuviese lateralmente confinada, como el caso de una prueba de consolidación. El ensayo CU (consolidado-no drenado) se realiza generalmente con medición de la presión de poros o neutra con el fin de determinar los parámetros de “C” y “ ϕ ” en términos de esfuerzos totales y esfuerzos efectivos.

PRUEBA RAPIDA – PRUEBA SIN CONSOLIDACION Y SIN DRENAJE (UU)

En este tipo de prueba no se permite en ninguna etapa la consolidación de la muestra. La válvula de comunicación entre el espécimen y la bureta permanece siempre cerrada impidiendo el drenaje. En primer lugar, se aplica al espécimen una presión hidrostática y de inmediato, se falla el suelo con la aplicación rápida de la carga axial. Los esfuerzos efectivos en esta prueba no se conocen bien.

El ensayo UU es usualmente llevado a cabo sobre especímenes de arcilla, enmarcando la realización del ensayo dentro del concepto de resistencia para

suelos cohesivos saturados, en donde se expresan los resultados en términos de esfuerzos totales. La envolvente de falla para los criterios de Mohr del esfuerzo total se convierte en una línea horizontal, con una condición de $\phi = 0^\circ$ (ángulo de fricción) y $\tau_f = C_u$, siendo C_u la resistencia al cortante no drenada, la cual es igual al radio de los círculos de Mohr.

[Ref 8].

RECONSTRUCCIÓN DE PROBETAS.

MAQUINA TRIAXIAL – LABORATORIO DE GEOTECNIA – LANAMMEUC

Con el fin de realizar los diversos ensayos triaxiales, un equipo triaxial completo requiere diferentes elementos que lleven a cabo la adquisición de datos, aplicación de carga, medición de cambios de volumen, saturación de especímenes, entre otras funciones. A continuación se caracterizan de forma breve cada uno de ellos y la función que cumplen.

PANEL TRIAXIAL

Es el sistema conformado por válvulas y reguladores mediante los cuales se administra el flujo de aire y agua desaireada entre los equipos para la realización del ensayo triaxial. Cada panel posee 3 válvulas de distribución, reguladores de aire y salidas de medición de presión para 3 presiones Equipo automático de cambio de volumen.

EQUIPO AUTOMATICO DE CAMBIO DE VOLUMEN.

El equipo de cambio de volumen (aparato) realiza su función comprimiendo un pistón sellado contra un dispositivo de precisión en la cámara de calibración, de tal forma que un movimiento lineal del pistón es exactamente proporcional al cambio de volumen de agua que se da en la cámara de calibración (ver Figura 3). El pistón está conectado a un medio de medición externo, un transductor de desplazamiento lineal, adecuado para el sistema de adquisición de datos permitiendo que los cambios de volumen de la muestra sean desplegados y registrados directamente en centímetros cúbicos.

La unidad está conectada a un panel de control con cambio de volumen y regulador de flujo (by pass valves) usados para medir la saturación y cambios de volumen mayores a 100 cc

. Las especificaciones técnicas de este dispositivo son:

- Pistón 40.15 cm²
- Distancia de recorrido 25 mm
- Capacidad de operación 100 cm³
- Precisión ± 0.05 cm³
- Dimensiones generales 225 x 230 x 390 mm (LxDxH)
- Entrada de transductor mayor a 12 Vdc
- Carrera del transductor 27 mm.

PRENSA TRIAXIAL.

La prensa triaxial consiste en un marco de dos columnas con una viga transversal móvil (marco de carga) y una base que contiene la unidad de empuje mecánico, el motor eléctrico, los componentes electrónicos y los controles. La acción de carga es realizada por un motor (stepper motor) de alta resolución. La unidad de sincronización que maneja el motor es controlada por un microprocesador. Mediante este microprocesador es posible obtener un desplazamiento predeterminado de la unidad de carga (empuje), constante durante el ensayo, cualquiera que sea la fuerza de resistencia.

Mínima velocidad de desplazamiento (ensayo)	1×10^{-5} mm/min
Máxima velocidad de desplazamiento (ensayo)	10 mm/min
Velocidad de aproximación rápida	25 mm/min
Capacidad máxima de ensayo (Carga)	50 kN
Sistema de limitación de movimiento	2 micro interruptores más dos micro interruptores digitales
Motor	De 5 fases y 1000 impulsos (round stepper motor)
Espacio horizontal máximo	380 mm
Espacio vertical máximo	850 mm
Dimensiones generales	500 x 273 x 1266 mm (LxDxH)

Calibración lineal

Usada generalmente, esta asume una relación lineal entre la señal de salida eléctrica (o digital) del transductor y la fuerza aplicada (presión, desplazamiento, temperatura, etc.). En este caso se establece un factor de calibración para mostrar el registro o los datos directamente en la unidad física seleccionada.

- Calibración polinomial

En esta la relación, carga aplicada no es directamente proporcional a la salida eléctrica (o digital) pero puede ser expresada mediante una ecuación polinomial de segundo o tercer grado.

La unidad está construida de un contenedor plástico con una cubierta metálica interior, a prueba de perturbación electromagnética de alta frecuencia. Está equipado con un teclado de policarbonato anti-ralladuras con

16 teclas y una pantalla gráfica monocromática. En la parte posterior del panel se localizan:

- 8 conectores hembra para conectar los transductores.
- Puerto serie RS232.
- Puerto serie RS485/CAN.
- Fuente de alimentación.
- Interruptor principal y conectores auxiliares.
- Equipo Secundario

- Bomba de vacío: se emplea para llenar el tanque de almacenamiento de agua
- Compresor: este suministra aire a presión al sistema.
- Depósito auxiliar de aire: como su nombre lo indica, almacena aire a presión. Su capacidad es de 50 L y soporta una presión máxima de 14.5 bar.
- Tanque de almacenamiento de agua destilada.
- Manómetro digital de presión.
- Buretas de cambio de volumen.
- Ejecución de ensayos

Se ha experimentado con el equipo en la realización de ensayos. A continuación se presenta una serie de resultados, de un ensayo UU (no consolidado - no drenado) ejecutado a un suelo MH (limo de alta plasticidad), color café claro con pequeñas vetas de roca color blancuzco, extraído de la zona de San Ramón de Alajuela.

[Ref 9].

CORRELACIONES APARTIR DEL ENSAYO SPT

Desde comienzos del siglo 20 cuando se originó el uso del SPT, se identificó que era un ensayo extremadamente útil y versátil para determinar la resistencia de un suelo. En gran medida, gracias a los trabajos de H. Mohr y G. Fletcher en 1927, cuando intentaron normalizar el ensayo al hincar un muestreador de 50 mm de

diámetro, usando un martillo de 62,5 kg, transfiriendo una energía potencial alcanzada desde una altura de impacto de 760 mm. El ensayo originalmente fue diseñado para evaluar la capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos arenosos, justamente a la fecha, la correlación más aceptada es la correspondiente al ángulo de fricción efectivo y densidad relativa del suelo, aunque existen diferentes ecuaciones para el cálculo de diversos parámetros geotécnicos, las cuales se consideran poco confiables. Terzaghi & Peck, acuñaron el término “ensayo de penetración estándar”, y presentaron la primera correlación entre el número de golpes (NSPT) y la densidad relativa, finalmente en 1967 fue estandarizado por la ASTM. Sin embargo, en la actualidad ha experimentado diferentes reformas de acuerdo con el procedimiento de ejecución, particularmente la debida a la transferencia de energía generada por el impacto del martillo al muestreador a través de las barras, entre otras:

1. Diferente fabricación de los equipos.
2. Diversas configuraciones del martillo de golpes, de las cuales tres son las más comunes: antiguo de pesa con varilla de guía interna, martillo anular - donut, y de seguridad.
3. Control de la altura de golpeo: si es manual, la manera como se controla la altura; y si es con la cuerda en la polea del equipo, depende de: el diámetro y condición de la cuerda y la polea, del número de vueltas de la cuerda en la polea y de la altura real de caída del martillo.
4. Uso de revestimiento interno en el muestreador (normalmente no es usado).

5. Longitud de la barra desde el sitio de golpeo y el muestreador.
6. Diámetro de la perforación.
7. La presión de confinamiento efectiva al muestreador, la cual depende del esfuerzo vertical en el sitio del ensayo.

Desde la invención del ensayo hasta hoy día, la prueba de campo ha sido foco de estudio para grandes investigadores de estudios geotécnicos como **Terzaghi & Peck [1]**, **Seed & Idris [4]**, **Meyerhof [5]**, **Skempton [6]**, entre otros, quienes se basaron en métodos diseñados desde el año 1927, dando como resultado correlaciones provienen del parámetro SPT obtenido (NSPT o NF).

ANGULO DE ROZAMIENTO

Los datos que se obtienen del SPT permiten estimar el ángulo de rozamiento interno de los suelos granulares, bien indirectamente, deducido de los valores estimados de la densidad relativa, o bien directamente a partir de N (siendo esta la tendencia actual).

En la siguiente figura se presentan conjuntamente los ábacos propuestos por Meyerhof (1957) y Peck et al. (1973). Las expresiones propuestas por Meyerhof (1957) son las siguientes (expresada la DR en %):

- Para un porcentaje en arena fina y limo >5%: $\phi = 25 + (0.15 \text{ DR})$
- Para un porcentaje en arena fina y limo <5%: $\phi = 30 + (0.15 \text{ DR})$

Las curvas de Peck pueden expresarse en forma de función tal como se indica a continuación:

$$\phi = 27.1 + 0.30 N - 0.00054 N^2$$

(Peck 1974, Das 1995, Woff 1989). Probablemente esta sea una de las correlaciones con mayor aval. Existen otras numerosísimas propuestas para estimar f a partir de N , de entre las cuales pueden indicarse la de Muromachi (1974):

$$\phi = 20 + (3.5 N^{1/2})$$

Y la propuesta por Giuliani y Nicoll (1982) mediante métodos estadísticos; esta relación no es válida para arenas finas limosas saturadas con bajos valores de N :

$$\tan \phi = 0.575 + (0.361 DR^{0.866})$$

Como última estimación se presenta la correlación de De Mello (1971). Para valores bajos de σ'_{vo} (<10 kPa), f resulta sobrevalorado; también para valores de $f > 38^\circ$ (Cestari, 1990). Estimación de ϕ en función de N y la tensión vertical efectiva. Tomado de De Mello (1971). En depósitos arenosos finos con limo se ha demostrado que los valores de DR y ϕ estimados a partir del valor de N , resultan claramente subestimados.

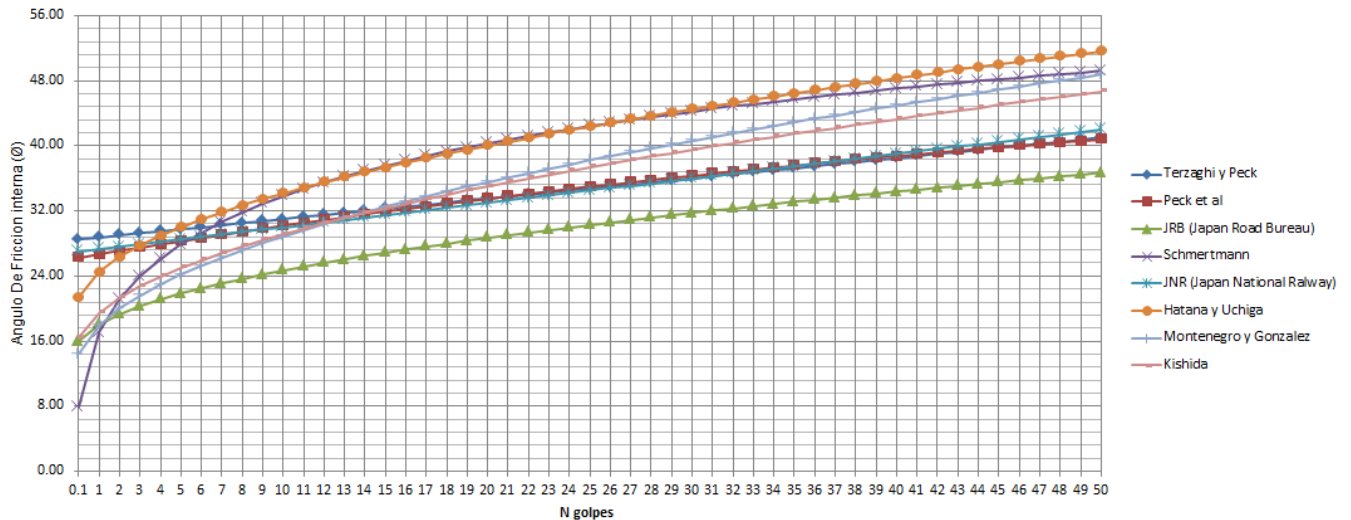
[Ref 8].

RESULTADOS:

Tabla de comportamiento del ángulo de fricción interna con las fórmulas más conocidas

N	Terzaghi & Peck	Peck et al	JRB (JAPAN ROAD BUREAU)	Schmertmann	JNR (Japan National Railway)	Hatanaka y Uchiga	Montenegro y Gonzalez	kishida
0.1	Ø= 28.53	Ø= 26.29	Ø= 15.97	Ø= 7.97	Ø= 27.03	Ø= 21.41	Ø= 14.40	Ø= 16.41
1	Ø= 28.75	Ø= 26.67	Ø= 18.06	Ø= 17.02	Ø= 27.30	Ø= 24.47	Ø= 17.88	Ø= 19.47
2	Ø= 29.00	Ø= 27.08	Ø= 19.33	Ø= 21.18	Ø= 27.60	Ø= 26.32	Ø= 19.98	Ø= 21.32
3	Ø= 29.25	Ø= 27.49	Ø= 20.30	Ø= 23.98	Ø= 27.90	Ø= 27.75	Ø= 21.60	Ø= 22.75
4	Ø= 29.50	Ø= 27.89	Ø= 21.12	Ø= 26.13	Ø= 28.20	Ø= 28.94	Ø= 22.96	Ø= 23.94
5	Ø= 29.75	Ø= 28.28	Ø= 21.85	Ø= 27.89	Ø= 28.50	Ø= 30.00	Ø= 24.16	Ø= 25.00
6	Ø= 30.00	Ø= 28.67	Ø= 22.50	Ø= 29.38	Ø= 28.80	Ø= 30.95	Ø= 25.25	Ø= 25.95
7	Ø= 30.25	Ø= 29.05	Ø= 23.10	Ø= 30.68	Ø= 29.10	Ø= 31.83	Ø= 26.24	Ø= 26.83
8	Ø= 30.50	Ø= 29.43	Ø= 23.66	Ø= 31.84	Ø= 29.40	Ø= 32.65	Ø= 27.17	Ø= 27.65
9	Ø= 30.75	Ø= 29.80	Ø= 24.19	Ø= 32.87	Ø= 29.70	Ø= 33.42	Ø= 28.05	Ø= 28.42
10	Ø= 31.00	Ø= 30.16	Ø= 24.68	Ø= 33.82	Ø= 30.00	Ø= 34.14	Ø= 28.87	Ø= 29.14
11	Ø= 31.25	Ø= 30.52	Ø= 25.16	Ø= 34.68	Ø= 30.30	Ø= 34.83	Ø= 29.66	Ø= 29.83
12	Ø= 31.50	Ø= 30.87	Ø= 25.61	Ø= 35.48	Ø= 30.60	Ø= 35.49	Ø= 30.41	Ø= 30.49
13	Ø= 31.75	Ø= 31.22	Ø= 26.04	Ø= 36.22	Ø= 30.90	Ø= 36.12	Ø= 31.13	Ø= 31.12
14	Ø= 32.00	Ø= 31.56	Ø= 26.46	Ø= 36.91	Ø= 31.20	Ø= 36.73	Ø= 31.82	Ø= 31.73
15	Ø= 32.25	Ø= 31.89	Ø= 26.86	Ø= 37.55	Ø= 31.50	Ø= 37.32	Ø= 32.49	Ø= 32.32
16	Ø= 32.50	Ø= 32.22	Ø= 27.25	Ø= 38.16	Ø= 31.80	Ø= 37.89	Ø= 33.13	Ø= 32.89
17	Ø= 32.75	Ø= 32.55	Ø= 27.62	Ø= 38.74	Ø= 32.10	Ø= 38.44	Ø= 33.76	Ø= 33.44
18	Ø= 33.00	Ø= 32.86	Ø= 27.99	Ø= 39.28	Ø= 32.40	Ø= 38.97	Ø= 34.36	Ø= 33.97
19	Ø= 33.25	Ø= 33.18	Ø= 28.35	Ø= 39.80	Ø= 32.70	Ø= 39.49	Ø= 34.96	Ø= 34.49
20	Ø= 33.50	Ø= 33.49	Ø= 28.69	Ø= 40.29	Ø= 33.00	Ø= 40.00	Ø= 35.53	Ø= 35.00
21	Ø= 33.75	Ø= 33.79	Ø= 29.03	Ø= 40.76	Ø= 33.30	Ø= 40.49	Ø= 36.09	Ø= 35.49
22	Ø= 34.00	Ø= 34.09	Ø= 29.36	Ø= 41.21	Ø= 33.60	Ø= 40.98	Ø= 36.64	Ø= 35.98
23	Ø= 34.25	Ø= 34.39	Ø= 29.68	Ø= 41.64	Ø= 33.90	Ø= 41.45	Ø= 37.18	Ø= 36.45
24	Ø= 34.50	Ø= 34.68	Ø= 30.00	Ø= 42.05	Ø= 34.20	Ø= 41.91	Ø= 37.70	Ø= 36.91
25	Ø= 34.75	Ø= 34.96	Ø= 30.31	Ø= 42.45	Ø= 34.50	Ø= 42.36	Ø= 38.22	Ø= 37.36
26	Ø= 35.00	Ø= 35.24	Ø= 30.61	Ø= 42.83	Ø= 34.80	Ø= 42.80	Ø= 38.72	Ø= 37.80
27	Ø= 35.25	Ø= 35.52	Ø= 30.91	Ø= 43.20	Ø= 35.10	Ø= 43.24	Ø= 39.21	Ø= 38.24
28	Ø= 35.50	Ø= 35.79	Ø= 31.20	Ø= 43.55	Ø= 35.40	Ø= 43.66	Ø= 39.70	Ø= 38.66
29	Ø= 35.75	Ø= 36.06	Ø= 31.49	Ø= 43.89	Ø= 35.70	Ø= 44.08	Ø= 40.18	Ø= 39.08
30	Ø= 36.00	Ø= 36.32	Ø= 31.77	Ø= 44.22	Ø= 36.00	Ø= 44.49	Ø= 40.64	Ø= 39.49
31	Ø= 36.25	Ø= 36.58	Ø= 32.05	Ø= 44.54	Ø= 36.30	Ø= 44.90	Ø= 41.10	Ø= 39.90
32	Ø= 36.50	Ø= 36.83	Ø= 32.32	Ø= 44.85	Ø= 36.60	Ø= 45.30	Ø= 41.56	Ø= 40.30
33	Ø= 36.75	Ø= 37.08	Ø= 32.59	Ø= 45.15	Ø= 36.90	Ø= 45.69	Ø= 42.00	Ø= 40.69
34	Ø= 37.00	Ø= 37.33	Ø= 32.85	Ø= 45.44	Ø= 37.20	Ø= 46.08	Ø= 42.44	Ø= 41.08
35	Ø= 37.25	Ø= 37.57	Ø= 33.11	Ø= 45.72	Ø= 37.50	Ø= 46.46	Ø= 42.87	Ø= 41.46
36	Ø= 37.50	Ø= 37.81	Ø= 33.37	Ø= 46.00	Ø= 37.80	Ø= 46.83	Ø= 43.30	Ø= 41.83
37	Ø= 37.75	Ø= 38.05	Ø= 33.62	Ø= 46.26	Ø= 38.10	Ø= 47.20	Ø= 43.72	Ø= 42.20
38	Ø= 38.00	Ø= 38.28	Ø= 33.87	Ø= 46.52	Ø= 38.40	Ø= 47.57	Ø= 44.14	Ø= 42.57
39	Ø= 38.25	Ø= 38.51	Ø= 34.12	Ø= 46.77	Ø= 38.70	Ø= 47.93	Ø= 44.55	Ø= 42.93
40	Ø= 38.50	Ø= 38.73	Ø= 34.36	Ø= 47.02	Ø= 39.00	Ø= 48.28	Ø= 44.95	Ø= 43.28
41	Ø= 38.75	Ø= 38.95	Ø= 34.61	Ø= 47.26	Ø= 39.30	Ø= 48.64	Ø= 45.35	Ø= 43.64
42	Ø= 39.00	Ø= 39.17	Ø= 34.84	Ø= 47.49	Ø= 39.60	Ø= 48.98	Ø= 45.75	Ø= 43.98
43	Ø= 39.25	Ø= 39.38	Ø= 35.08	Ø= 47.72	Ø= 39.90	Ø= 49.33	Ø= 46.14	Ø= 44.33
44	Ø= 39.50	Ø= 39.59	Ø= 35.31	Ø= 47.95	Ø= 40.20	Ø= 49.66	Ø= 46.52	Ø= 44.66
45	Ø= 39.75	Ø= 39.80	Ø= 35.54	Ø= 48.16	Ø= 40.50	Ø= 50.00	Ø= 46.90	Ø= 45.00
46	Ø= 40.00	Ø= 40.00	Ø= 35.77	Ø= 48.38	Ø= 40.80	Ø= 50.33	Ø= 47.28	Ø= 45.33
47	Ø= 40.25	Ø= 40.20	Ø= 35.99	Ø= 48.58	Ø= 41.10	Ø= 50.66	Ø= 47.65	Ø= 45.66
48	Ø= 40.50	Ø= 40.40	Ø= 36.21	Ø= 48.79	Ø= 41.40	Ø= 50.98	Ø= 48.02	Ø= 45.98
49	Ø= 40.75	Ø= 40.59	Ø= 36.43	Ø= 48.99	Ø= 41.70	Ø= 51.30	Ø= 48.39	Ø= 46.30
50	Ø= 41.00	Ø= 40.78	Ø= 36.65	Ø= 49.18	Ø= 42.00	Ø= 51.62	Ø= 48.75	Ø= 46.62

Grafica de comportamiento del ángulo de fricción interna de las formulas ya mencionadas



Tablas de resumen de pruebas realizadas

Ubicación: Km 6+200 Carretera Playa de vacas Boca del rio-Veracruz										
Tipo de arena: Arena Aluvial (rio)										
Sondeo	Muestra #	Profundidad (M)		N (# de golpes) SPT					S.U.C.S	Ym t/m2
		Inicial	Final	15	30	45	60	N		
SAS-02	MA - 01	0.00	0.60	1	1	1	1	2	CL	1.17
SAS-02	MA - 02	0.60	1.20	1	1	2	2	3	OH	1.41
SAS-02	MA - 03	1.20	1.80	1	2	3	3	5	OH	1.57
SAS-02	MA - 04	1.80	2.40	0	1	0	1	1	OH	1.51
SAS-02	MA - 05	2.40	3.00	0	0	0	0	0	OH	1.51
SAS-02	MA - 06A	3.00	3.30	0	4	4	4	8	SP	1.45
SAS-02	MA - 06B	3.30	3.60	0	4	4	4	8	SP	1.69
SAS-02	MA - 07	3.60	4.20	6	3	5	5	8	SP	1.72
SAS-02	MA - 08	4.20	4.80	4	4	6	6	10	SP	1.68
SAS-02	MA - 09	4.80	5.40	3	3	4	5	7	SP	1.61
SAS-02	MA - 10	5.40	6.00	3	5	4	5	9	SP	1.60
SAS-02	MA - 11	6.60	7.20	1	1	1	1	2	OH	1.13
SAS-02	MA - 12	7.80	8.40	0	0	0	1	0	OH	1.26
SAS-02	MA - 13	10.20	10.80	0	0	0	1	0	OH	1.44
SAS-02	MA - 14	11.40	12.00	0	0	0	1	0	OH	1.47
SAS-02	MA - 15	12.60	13.20	1	1	3	3	4	OH	1.61
SAS-02	MA - 16	13.80	14.40	1	2	3	4	5	OH	1.48
SAS-02	MA - 17	15.00	15.60	0	0	0	1	0	OH	1.44
SAS-02	MA - 18	16.20	16.80	0	0	0	2	0	OH	1.39
SAS-02	MA - 19	18.00	18.60	0	0	0	0	0	OH	1.36

BLVD M. Avila Camacho Esq. Calle tortuga										
Tipo de arena: Arena Marina y playa										
Sondeo	Muestra #	Profundidad (M)		N (# de golpes) SPT					S.U.C.S	Ym t/m2
		Inicial	Final	15	30	45	60	N		
SAS-01	MA - 01	0.00	0.60	0	1	3	4	4	SP	1.40
SAS-01	MA - 02	0.60	1.20	5	9	11	12	20	SP	1.45
SAS-01	MA - 03	1.20	1.80	7	6	6	5	12	SM	1.69
SAS-01	MA - 04	1.80	2.40	9	5	8	10	13	SM	1.58
SAS-01	MA - 05	2.40	3.00	12	14	16	15	30	SM	1.66
SAS-01	MA - 06	3.00	3.60	7	12	17	22	29	SM	1.67
SAS-01	MA - 07	3.60	4.20	10	13	11	10	24	SM	1.71
SAS-01	MA - 08	4.20	4.80	2	3	3	4	6	SM	1.79
SAS-01	MA - 09	4.80	5.40	6	10	14	16	24	SM	1.86
SAS-01	MA - 10	5.40	6.00	7	11	14	15	25	SM	1.90
SAS-01	MA - 11	9.00	9.60	9	15	20	22	35	Qc-SM	1.92

BLVD Adolfo Ruiz Cortinez										
Tipo de arena: Arena de Medano										
Sondeo	Muestra #	Profundidad (M)		N (# de golpes) SPT					S.U.C.S	Ym t/m2
		Inicial	Final	15	30	45	60	N		
SAS-01	MA - 01	0.00	0.60	3	7	7	6	14	SM	1.49
SAS-01	MA - 02	0.60	1.20	3	3	3	4	6	SM	1.48
SAS-01	MA - 03	1.20	1.80	3	3	3	5	6	SM	1.49
SAS-01	MA - 04	1.80	2.40	4	4	4	4	8	SM	1.47
SAS-01	MA - 05	2.40	3.00	4	5	4	5	9	SM	1.63
SAS-01	MA - 06	3.00	3.60	3	4	6	6	10	SM	1.6
SAS-01	MA - 07	3.60	4.20	5	7	8	6	15	SM	1.68
SAS-01	MA - 08	4.20	4.80	5	5	8	12	13	SM	1.73
SAS-01	MA - 09	4.80	5.40	9	12	13	15	25	SP	1.89
SAS-01	MA - 10	5.40	6.00	16	17	15	14	32	SM	1.98
SAS-01	MA - 11	7.20	7.80	12	14	11	9	25	SM	1.92
SAS-01	MA - 12	9.00	9.60	14	16	14	16	30	SM	1.88

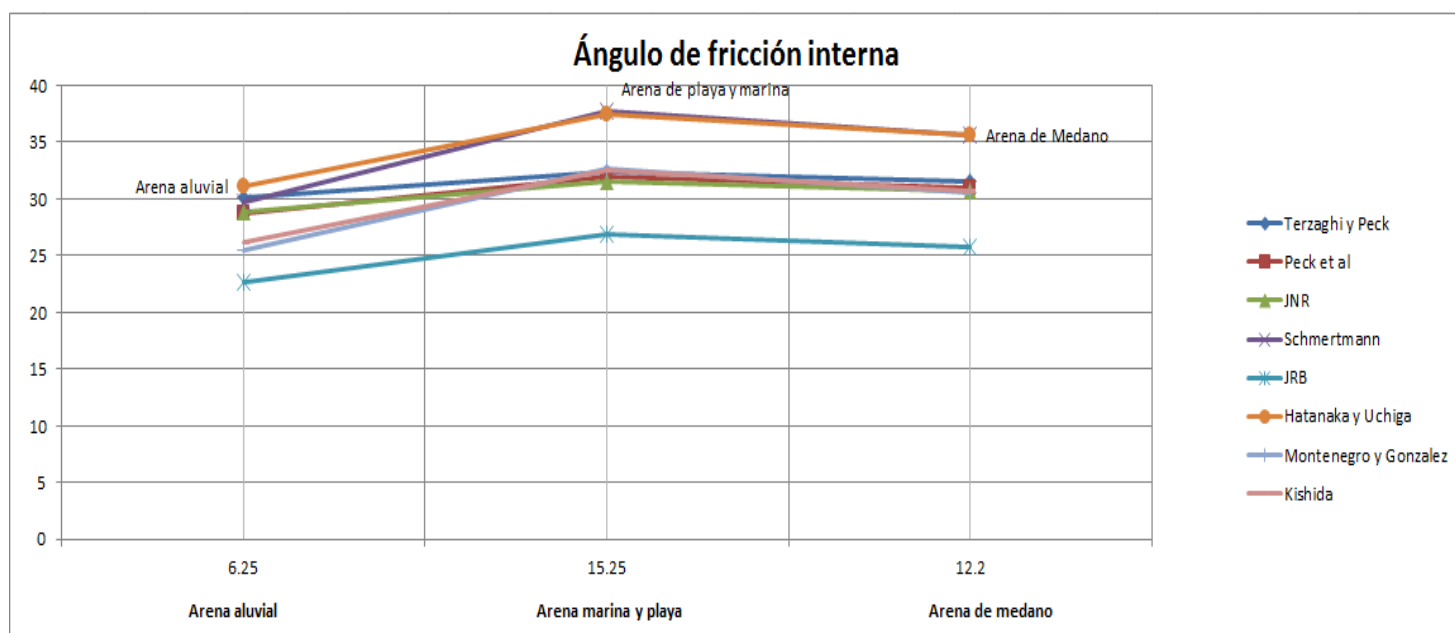
Tabla de corrección de golpes

Arenas	# Golpes corregidos	N60
Arena Aluvial	8.3	6.25
Arena Marina y Playa	20.3	15.25
Arena de medano	16.3	12.2

Resultados del Angulo de fricción interna en los 4 tipos de arenas

	Terzaghi y Peck	Peck et al	JNR (Japan National Ralway)	Schmertmann	JRB (JAPAN ROAD BUREAU)	Hatanaka y Uchiga	Montenegro y Gonzalez	kishida
Arena Aluvial	30	29	29	30	23	31	26	26
Arena Marina y Playa	32	32	32	38	27	37	33	32
Arena de médano	32	31	31	36	26	36	31	31

Tabla de comportamiento del ángulo de fricción interna en los 4 tipos de arenas predominantes



FUENTES DE INFORMACION:

1. XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica Zonificación Geotécnica de la Zona Conurbada Veracruz (2012) Juan F. CAPALLERA CABADA, Jorge A. MIRANDA e Isidro M. PÁEZ
2. Zonificación y Caracterización Geotécnica de los Suelos del Puerto de Veracruz. (ÓSCAR LENZ y OCTAVIO A*. OCHOA SÁNCHEZ**).
Zonificación Geotécnica, Geología Regional y Local, Sismicidad, Suelos de Litoral, de Dunas, Aluviales y del Terciario, Densidad Relativa y Pre-consolidación de Suelos.
(*) Doctor Ingeniero en Caminos, Canales y Puertos por la U. P. M; catedrático de la Facultad de Ingeniería Civil de Xalapa, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
E-mail: oscarlenz@hotmail.com
(**) Becario de la Facultad de Ingeniería Civil de Xalapa, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. E-mail: falta email.
3. **Mecánica de suelos Tomo 1.** Fundamentos de la mecánica de suelos. Juárez Badillo, Rico Rodríguez
4. Hugo Corbí y Javier Martínez-Martínez Departamento Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99, San Vicente del Raspeig, 03080 Alicante, España. E-mail: hugo.corbi@ua.es; Javier.martinez@ua.es.
URL: ([https://www.researchgate.net/publication/307878193 Interpretando ambientes sedimentarios taller de sedimentologia con arenas como actividad didactica de Ciencias de la Tierra#pf6](https://www.researchgate.net/publication/307878193_Interpretando_ambientes_sedimentarios_taller_de_sedimentologia_con_arenas_como_actividad_didactica_de_Ciencias_de_la_Tierra#pf6))
5. Swinford, E. Mac What the glaciers left behind - drift thickness map of Ohio, Ohio Department of Natural Resources, Division of Geological Survey, newsletter 2004, No.1. BGS. «Digital Geology - Bedrock geology theme». Consultado el 12 de noviembre de 2019.
6. J. E. Carmona-Álvarez y J. C. Ruge-Cárdenas, “Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ”, Tecno Lógicas, **vol. 18, no. 35, pp. 93-104**, 2015.
7. Camacho-Tauta, J. F., Molina Gómez, F. A., Reyes Ortiz, O. J. (2014). Preparación de especímenes de arena para ensayos triaxiales mediante un método controlado de compactación. Rev. Cient. Gen. José María Córdova, **12(14). 185-196**.

8. Seminario taller de mecánica de suelos y exploración geotécnica, centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y Mitigación de desastres, **1era edición digital 2002**, Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones B. Sowers F. Sowers, editorial limusa 1980
9. Suelos, máquina triaxial, resistencia al corte, cohesión, ángulo de fricción. Ing. Oscar Valerio Salas, LanammeUCR (Fecha de recepción: 29 de agosto del 2011 Fecha de aceptación: 29 de setiembre del 2011)
10. **Carta geológica de Veracruz** (114 Veracruz E14-3 Tlaxcala, Veracruz de Ignacio de la Llave, Puebla Au, Ba, Be, Bi, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Sc, W, Zn. Año 2002)
URL: http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed.jsp
11. ASTM. (reaprobado en 1992). ASTM, Designation D 1586-84. **Standard Test Method for Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils.** EEUU.
12. Tesis MAYRA ALEJANDRA OLIVOS VELÁSQUEZ. Ensayos In Situ, Ensayo de Penetración Estándar (SPT), Ensayo de Veleta (VST), Parámetros de resistencia al corte, ángulo de fricción interna, Cohesión no drenada, Correcciones, Correlaciones.
(Ruta de enlace: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002524.pdf>).
13. Tecno Lógicas ISSN 0123-7799 Vol. 18, No. 35, pp. 93-104 Julio-diciembre de 2015 (J. E. Carmona-Álvarez y J. C. Ruge-Cárdenas, "Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ", Tecno Lógicas, vol. 18, no. 35, pp. 93-104, 2015.).
14. Geotecnia iii parametrización de suelos mediante ensayos in situ facultad de ingeniería U.N.L.P
15. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 1586 -08a, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, EEUU.
16. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 2166 -06, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils, EEUU.
17. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 2850 -03a(2007), Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, EEUU.

18. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 3080- 04, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, EEUU.
19. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 4648/ D4648M-10, Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil, EEUU.
20. American Society for Testing and Materials, ASTM D 4767- 11, Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils, EEUU.
21. American Society for Testing and Materials, ASTM D – 6528- 07, Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils, EEUU.

Anexos

Tabla 1 Propiedades índice del subsuelo de la Zona Conurbada Veracruz, ZCV.

ZONA	SUCS	H (m)	N	γ_m (kN/m ³)	w (%)	F (%)	Cu	Cc	Tam. (mm)	LI (%)	Lp (%)	Gs	e
M / P	SP	5	2	15	3	2	0.20	0.90	0.1	-	-	2.53	0.5
	SP-SM	a	a	a	a	a	a	a	a	-	-	a	a
	SM	30	> 50	20	25	45	2.80	0.70	0.6	-	-	2.73	1.2
I / L	SC, CL	1.5	0	11.2	20	12	-	-	N/D	30	13.4	1.57	0.94
	CH, OH	a	a	a	a	a	-	-	-	a	a	a	a
	OL, Pt	12	10	17.5	350	95	-	-	-	542	2.72	2.72	7.9
C	Coral	1	10	20	8	-	-	-	-	-	-	-	-
		a	a	a	a	-	-	-	-	-	-	-	-
		20	> 50	22	37	-	-	-	-	-	-	-	-
F	SP	N/D	> 50	20	N/D	2	N/D	N/D	0.1	-	-	2.7	-
	SP-SM			a		a			a	-	-		
	GP Boleos			23		5			2000	-	-		

H=espesor de estrato, N=número de golpes, SPT, γ_m =peso volumétrico del suelo, w=humedad natural del suelo
F=contenido de finos, Cu=coeficiente de uniformidad, Cc=coeficiente de curvatura, LI=límite líquido, Lp=límite plástico, Gs= densidad de sólidos, e=relación de vacíos

Tabla 2 Propiedades mecánicas de los suelos de la Zona Conurbada Veracruz, ZCV.

ZONA	SUCS	H (m)	c, q_u (kN / m ²)	ϕ	k (cm / s)	a_v (cm ² / N)
M / P	SP	5		26°	0.6×10^{-2}	
	SP-SM	a	-	a	a	-
	SM	30		40°	2.18×10^{-2}	
I / L	SC, CL	1.5	c = 6 a 32	6	N/D	3.36×10^{-2}
	CH, OH	a		a		a
	OL, Pt	12	$q_u = 35$ a 90	19		8.13×10^{-2}
C	Coral	1	$q_u = 600$ a 26,570	-	N/D	-
		a				
		20				
F	SP	N/D	-	> 50	-	-
	SP-SM					
	GP Boleos					

H=espesor de estrato, c=cohesión, q_u = resistencia a la compresión simple, ϕ = ángulo de fricción interna del suelo, k=coeficiente de permeabilidad, a_v =coeficiente de compresibilidad.

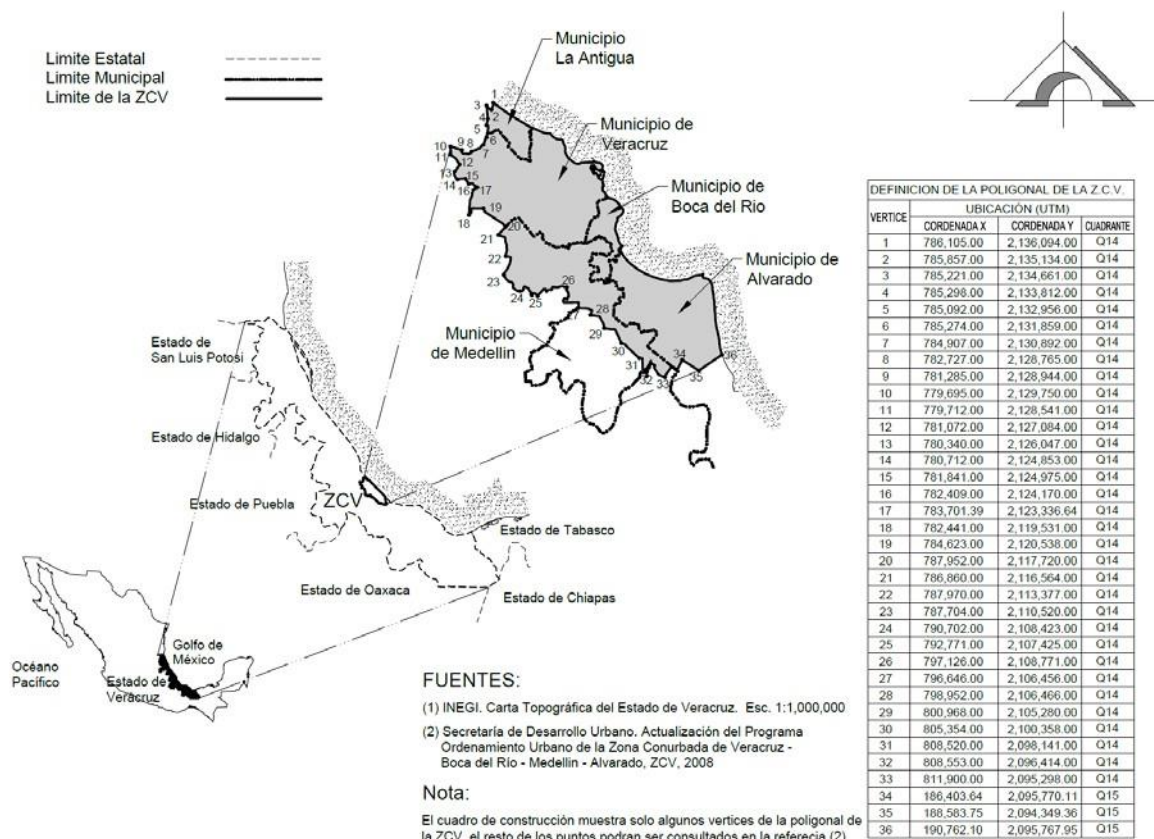


Figura 1. Localización de la zona conurbada Veracruz, ZCV, en el territorio nacional y en el estado



Figura 3. Tendencias y opciones de crecimiento de la mancha urbana de la ZCV

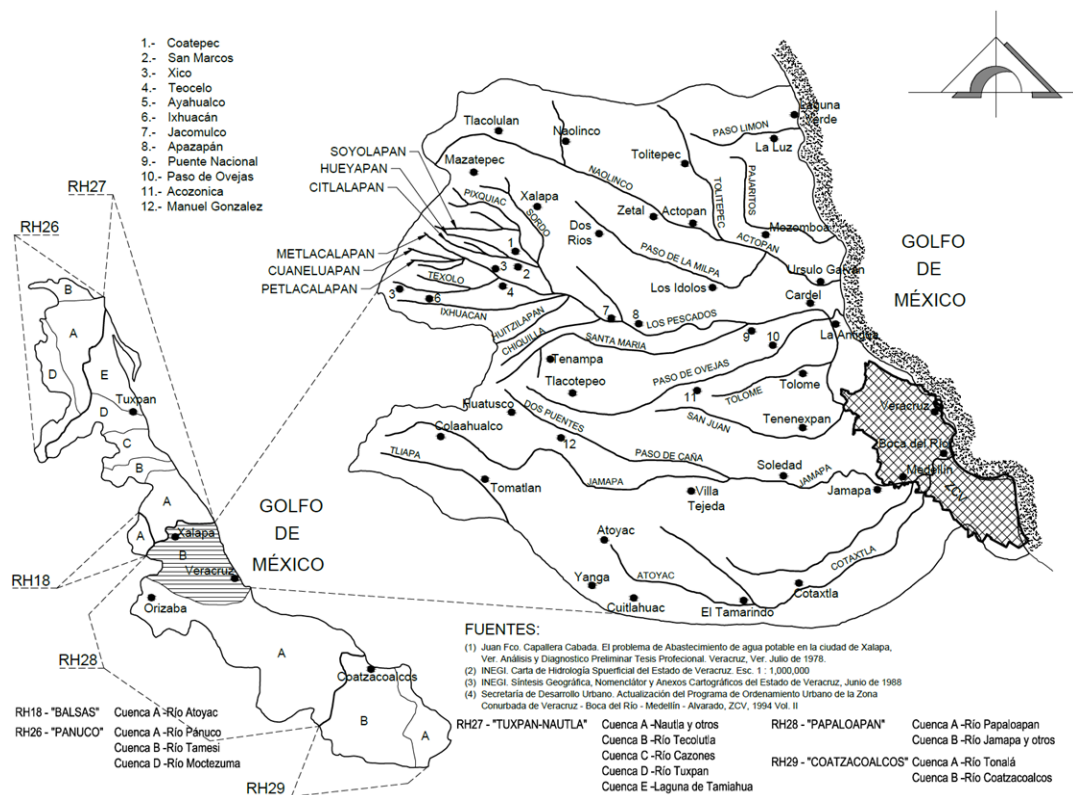


Figura 4. Regiones hidrológicas del estado de Veracruz y localización de la ZCV.

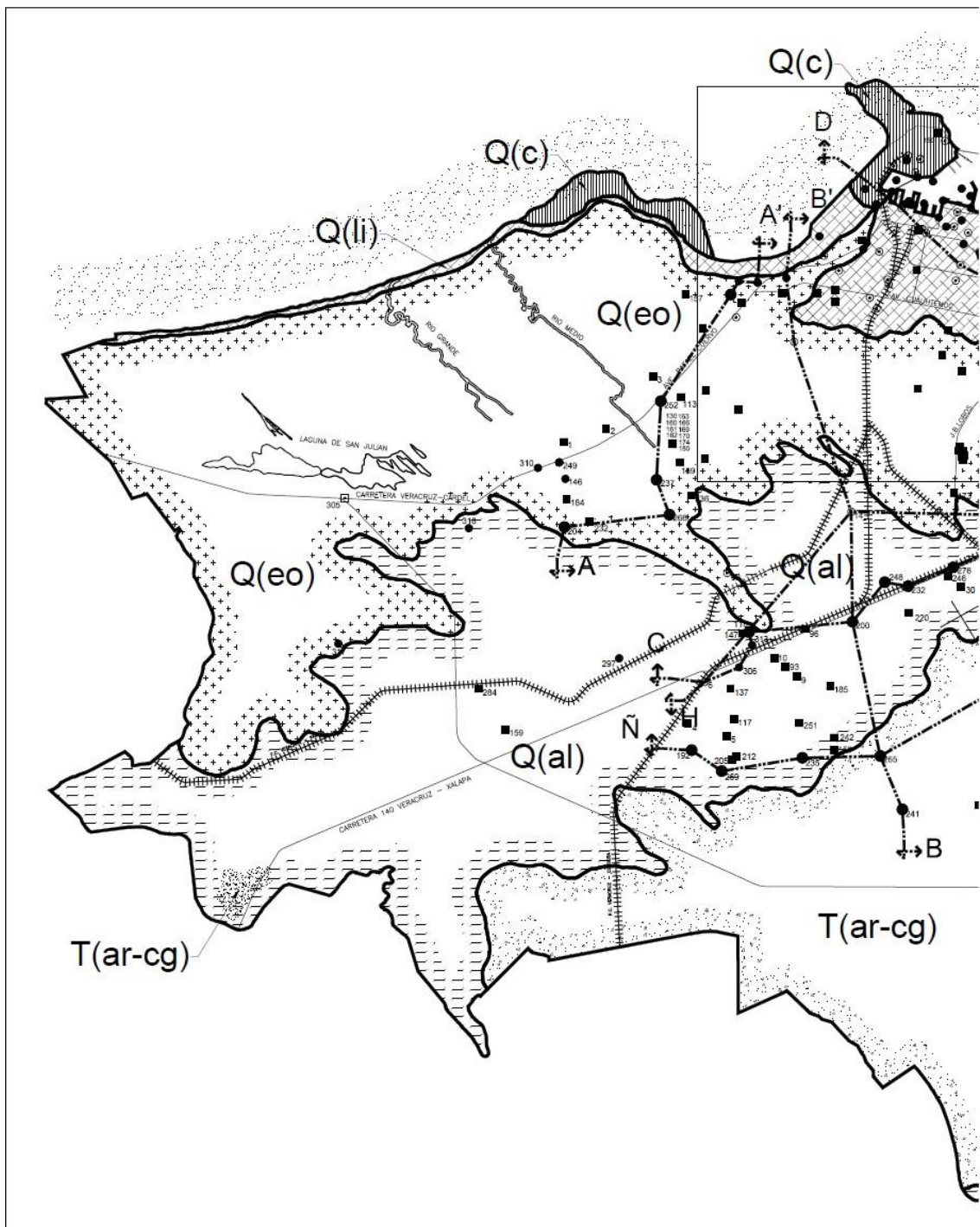
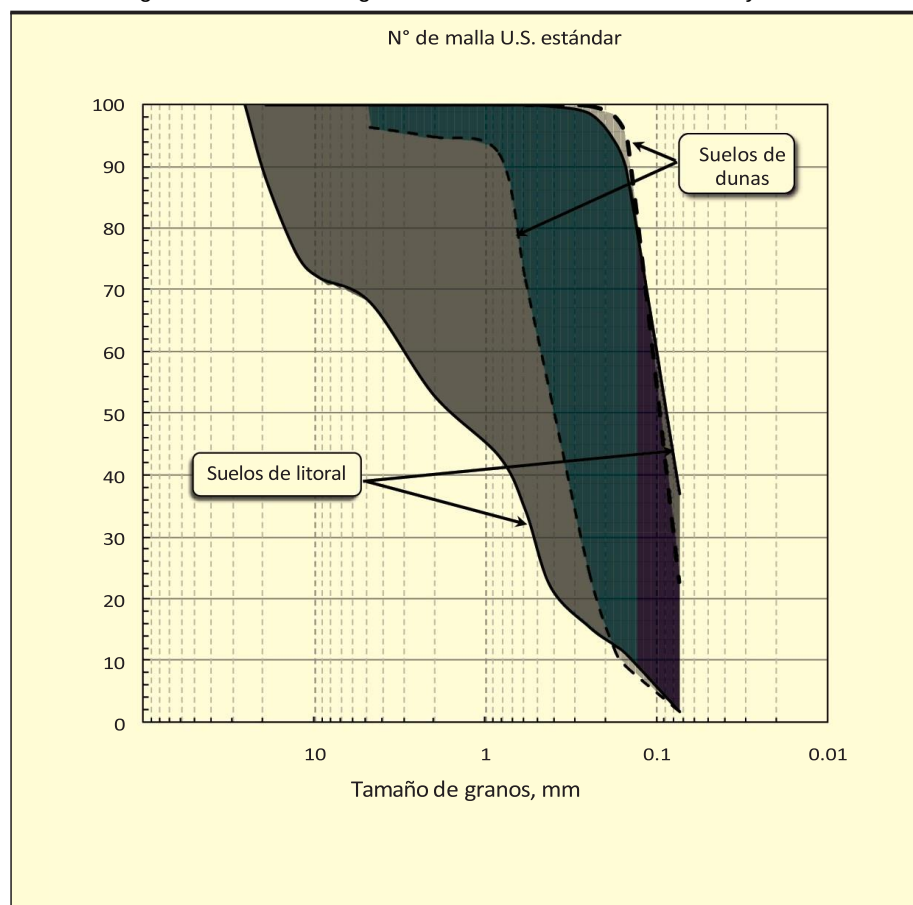


Figura 8. Zonificación Geotécnica de la ZCV.

Figura 2. Envoltentes granulométricas de arenas de litoral y de dunas



Depósito	Grupo*	Prof. m	w %	LL %	IP %	F %	C _u -	C _l -	G _u -	e _s -	γ _s ton/m ³	k _v cm/seg	φ' °
Litoral (Q _u)	SM	0.0 – 33.0	7.8 – 45.0	–	–	12.0–36.0	–	–	2.49 – 2.70	0.49 – 1.19	1.61 – 2.0	–	29 – 40****
	SP – SM	0.0 – 33.0	12 – 36.4	–	–	5.75 – 11.68	1.27 – 4.42	0.71 – 1.68	2.58 – 2.68	0.50 – 1.11	1.59 – 2.06	0.014**	29 – 38****
	SC	4.2 – 8.20 1.8 – 18.0	16.3 – 163.4	30 – 120	7.63 – 68.0	20.8 – 44.90	–	–	2.55 – 2.73	0.49 – 1.51	1.31 – 2.13	–	–
	SP	Variable	5.0 – 39.2	–	–	1.6 – 52.0	1.6 – 5.8	0.77 – 1.8	2.6 – 2.76	0.50 – 1.10	1.4 – 2.06	0.038**	28 – 32****
	CL	6.30 a 17.32	17.8 – 64.74	28.7 – 48.8	16.1 – 36.96	52.0 – 82.8	–	–	2.43 – 2.71	0.53 – 1.75	1.62 – 2.0	–	–
	OH	Variable	58.1 – 73.74	84.0 – 114.0	29.1 – 116.0	67.0 – 97.1	–	–	2.63 – 2.69	1.58 – 3.38	1.38 – 1.67	–	–
	CH	Variable	32.2 – 98.41	50.0 – 91.0	28.7 – 58.0	53.4 – 74.0	–	–	2.54 – 2.70	0.82 – 2.67	1.47 – 1.85	–	–
Dunas (Q _u)	SM	0.0 – 18.0	4.66 – 31.64	–	–	12.0 – 25.0	–	–	2.54 – 2.76	0.46 – 1.20	1.45 – 2.16	–	31 – 34****
	SP–SM	0.45 – 15.0	5.0 – 36.5	–	–	5.4 – 11.9	0.7 – 2.0	1.3 – 4.2	2.54 – 2.74	0.50 – 1.10	1.45 – 2.10	0.011**	33****
Aluvial (Q _u)	CH	Variable	35 – 123.3	50.0 – 134.4	28.1 – 105.0	57.5 – 99.2	–	–	2.51 – 2.80	0.80 – 3.00	1.40 – 1.90	10 ⁻⁵ –	–
	OH	Variable	36 – 156.0	54 – 212.5	20.9 – 130.7	76.0 – 99.0	–	–	2.30 – 2.70	1.0 – 3.74	1.30 – 1.75	10 ⁻⁴ –	–
	CL	Variable	24.0 – 98.2	33.2 – 48.8	14.7 – 36.3	53.0 – 77.0	–	–	2.60 – 2.75	0.6 – 2.26	1.50 – 1.9	–	–
	OH (Pt)	Variable	2.30 – 7.5	135.0 – 378.0	85.0 – 279.0	60.0 – 97.6	–	–	2.40 – 2.50	1.71 – 7.5.0	1.20 – 1.40	10 ⁻³	–
	SM	Variable	16.0 – 42.0	–	–	12.3 – 30.0	–	–	2.50 – 2.70	0.50 – 1.10	1.60 – 2.10	–	29 – 41****
	SP	Variable	14.6 – 34.5	–	–	3.0 – 5.0	1.67 – 4.0	0.73 – 1.59	2.66 – 2.67	0.50 – 0.86	1.76 – 2.1	0.016**	–
	SC	Variable	17.2 – 45.40	27.5 – 47.0	11.3 – 36.20	25.0 – 48.80	–	–	2.55 – 2.75	0.50 – 1.13	1.68 – 2.10	–	–
Terciario (T _u)	SP–SM	Variable	19.0 – 36.70	–	–	5.6 – 11.0	1.88 – 4.0	0.68 – 1.98	2.50 – 2.68	0.60 – 1.0	1.40 – 2.10	0.041**	29 – 39****
	CH	0.30 – 1.50	15.30 – 31.80	58.0 – 75.0	36.0 – 63.0	53.0 – 84.40	–	–	2.50 – 2.60	0.50 – 0.80	1.87 – 2.04	10 ⁻⁶	–
	CL	Variable	14.60 – 23.90	38.0 – 45.0	15.0 – 31.0	57.0 – 79.0	–	–	2.50	0.50 – 0.70	1.87 – 1.98	≈10 ⁻⁶	–
	SC	0.0 – 4.0	4.80 – 25.1	27.0 – 50.0	7.20 – 51.0	23.9 – 49.0	–	–	2.40	0.40 – 0.80	1.84 – 2.0	10 ⁻⁶	–
	SM	4.0 – 18.0	8.10 – 21.0	–	–	12.0 – 27.0	–	–	2.50 – 2.60	0.50	1.75 – 1.96	–	47****

TABLA 2. Propiedades ingenieriles de los suelos de litoral, de dunas, aluviales y del Terciario.

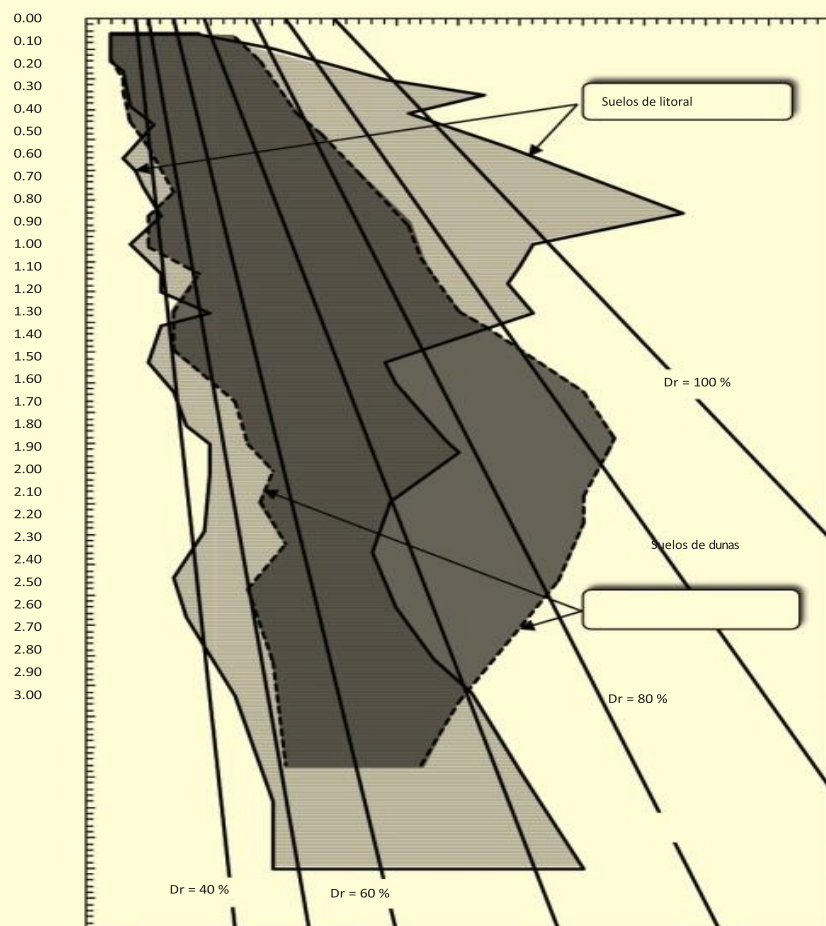


FIGURA 3. Envolventes de la densidad relativa de depósitos de litoral y de dunas

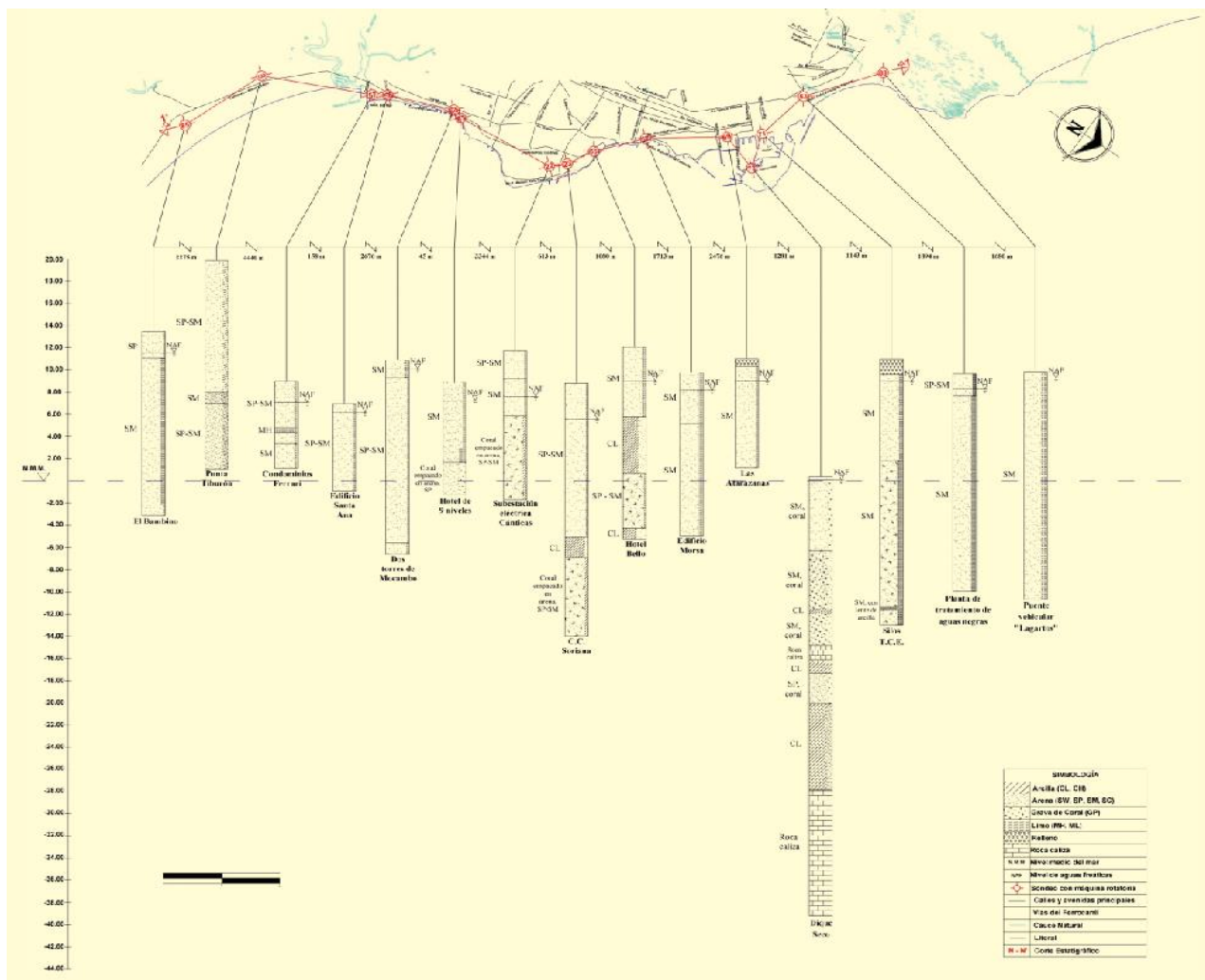


FIGURA 4. Perfil longitudinal en zona de litoral

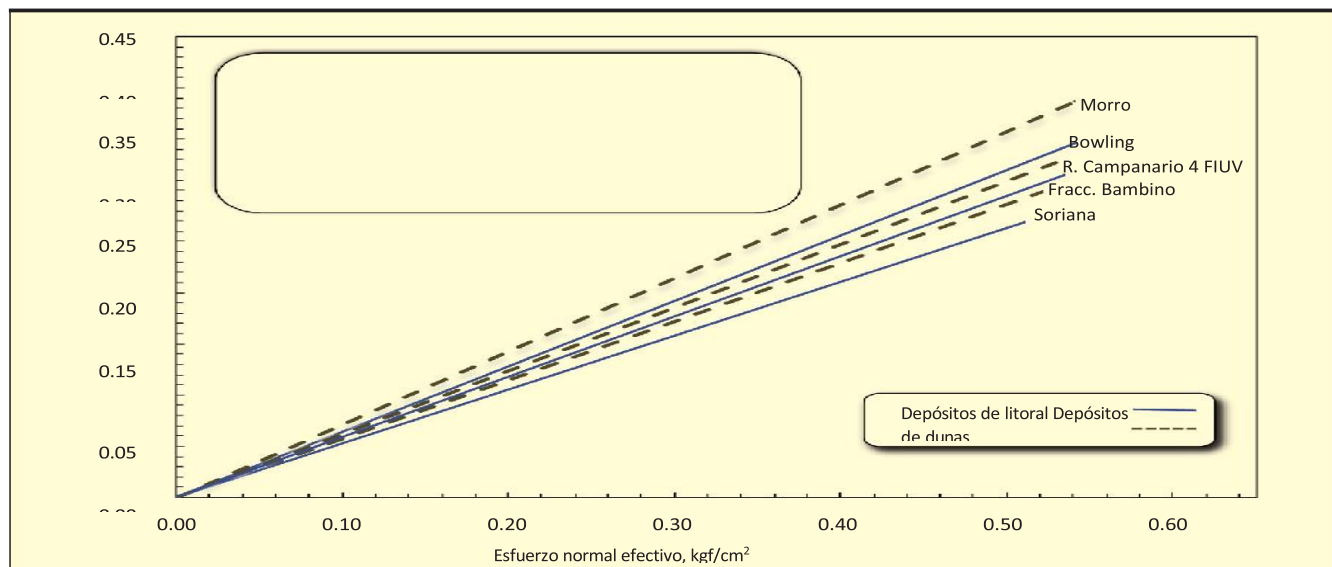


FIGURA 5. Envolventes de falla en ensayos de corte directo de suelos de litoral y de dunas

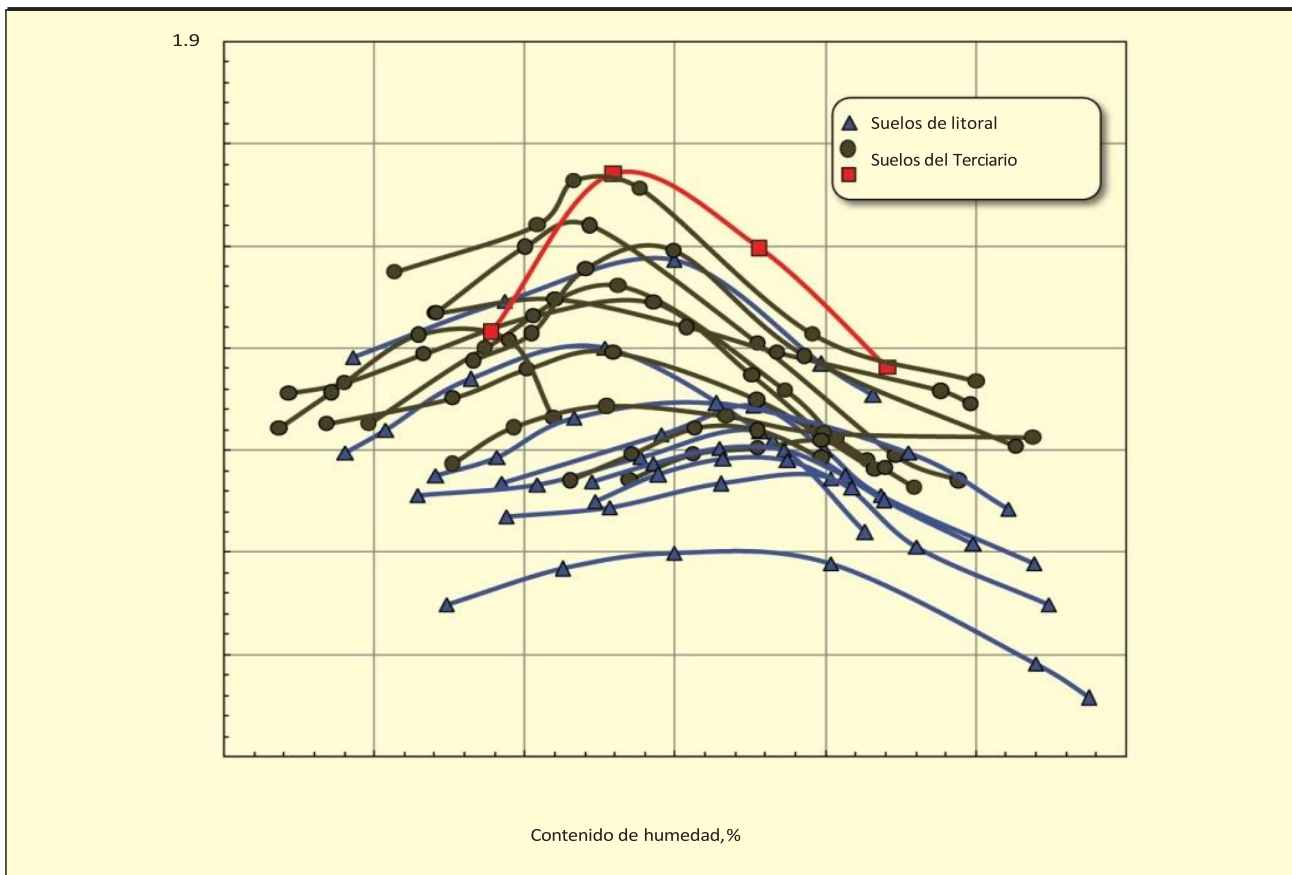


FIGURA 6. Curvas de compactación de suelos de litoral, dunas y del terciario.

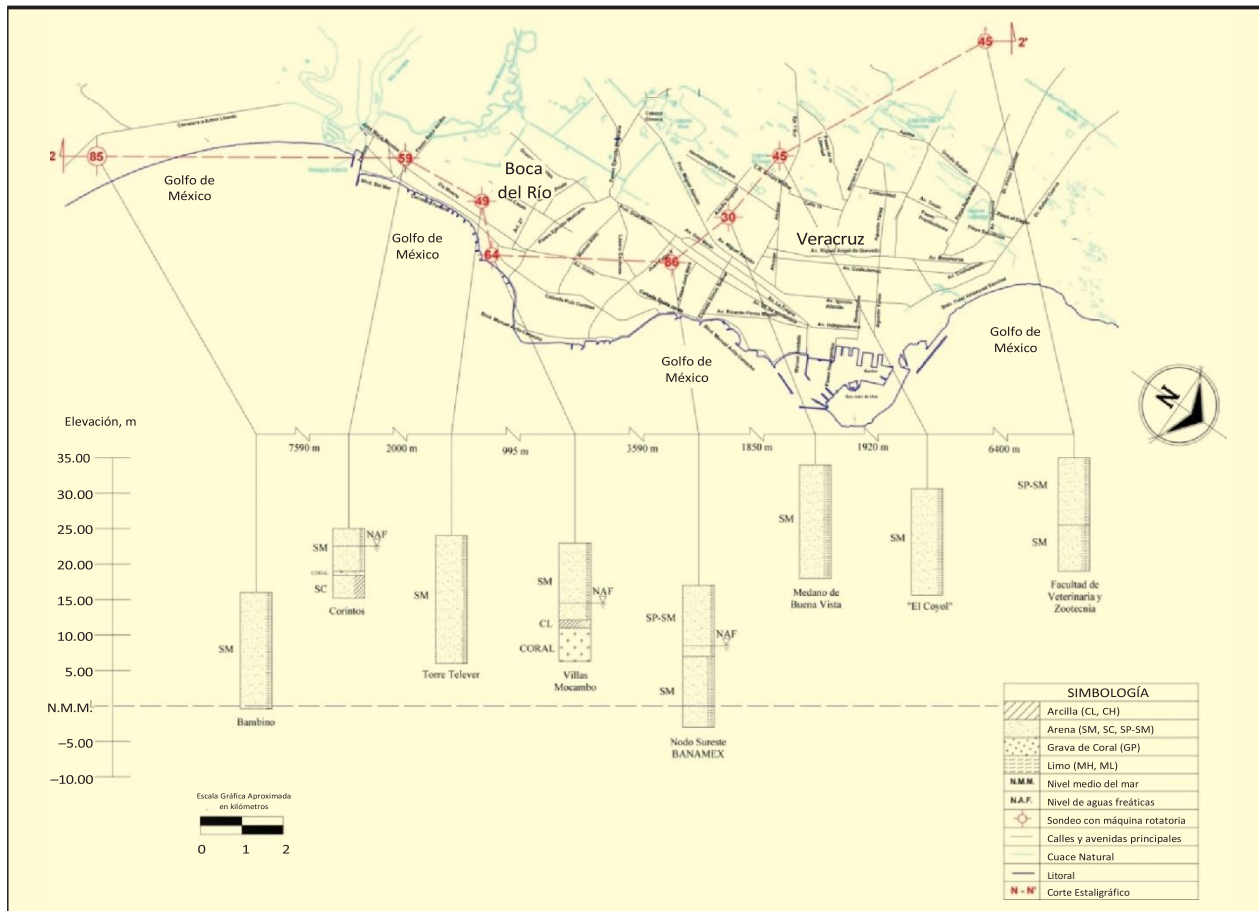


FIGURA 7. Perfil longitudinal en zona de médano.

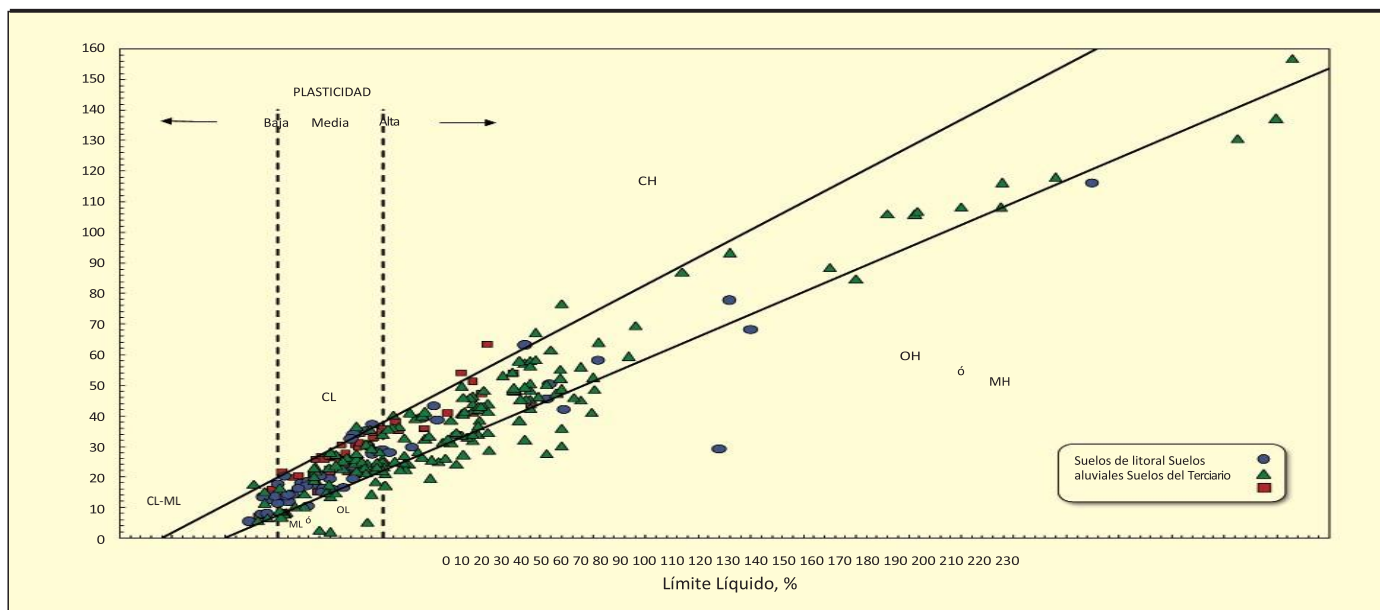


FIGURA 8. Características de plasticidad de los depósitos de suelos de litoral, aluviales y del Terciario.

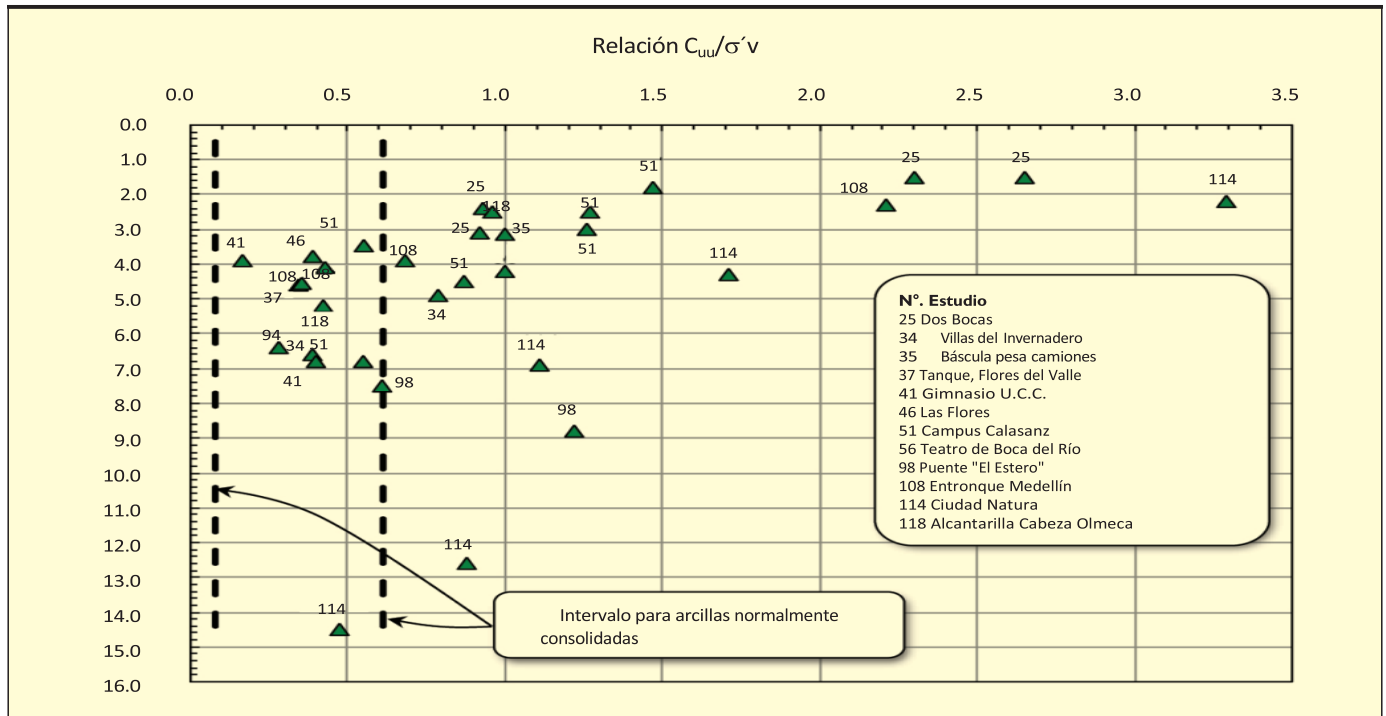


FIGURA 9. Identificación de arcillas aluviales normalmente consolidadas y pre-consolidadas.

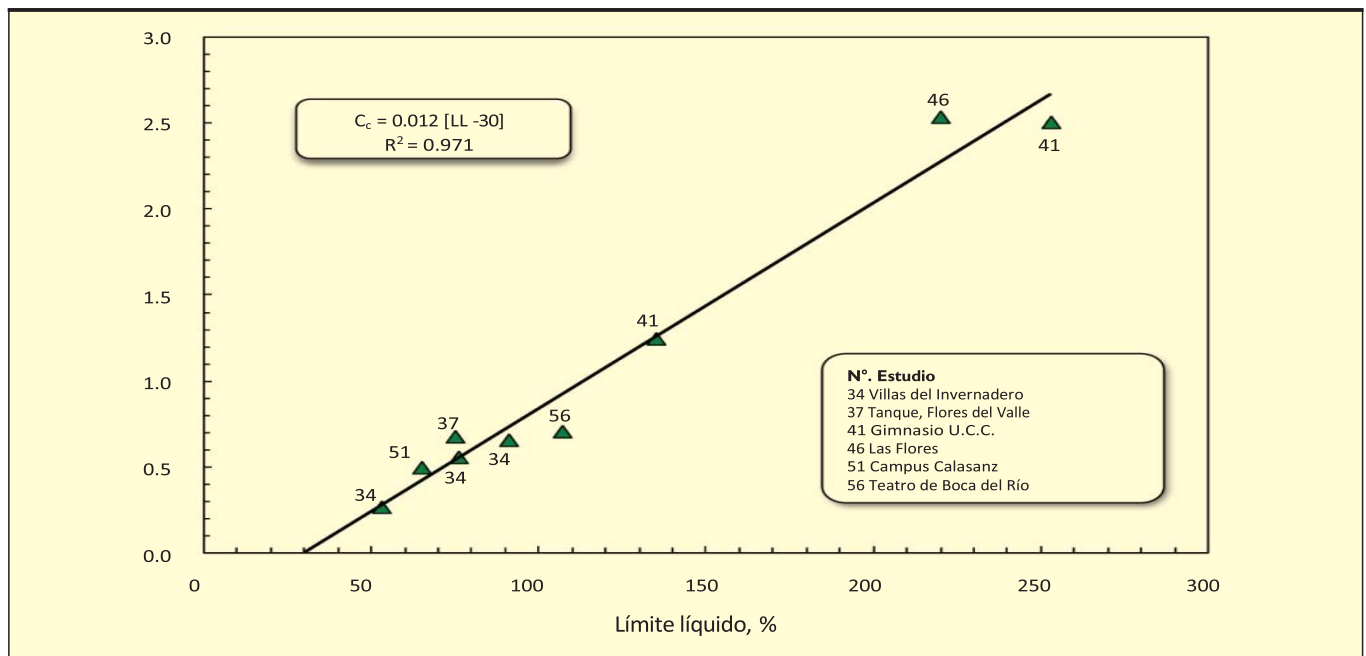


FIGURA 10. Relación del índice de compresibilidad y el límite líquido de arcillas aluviales normalmente consolidadas.

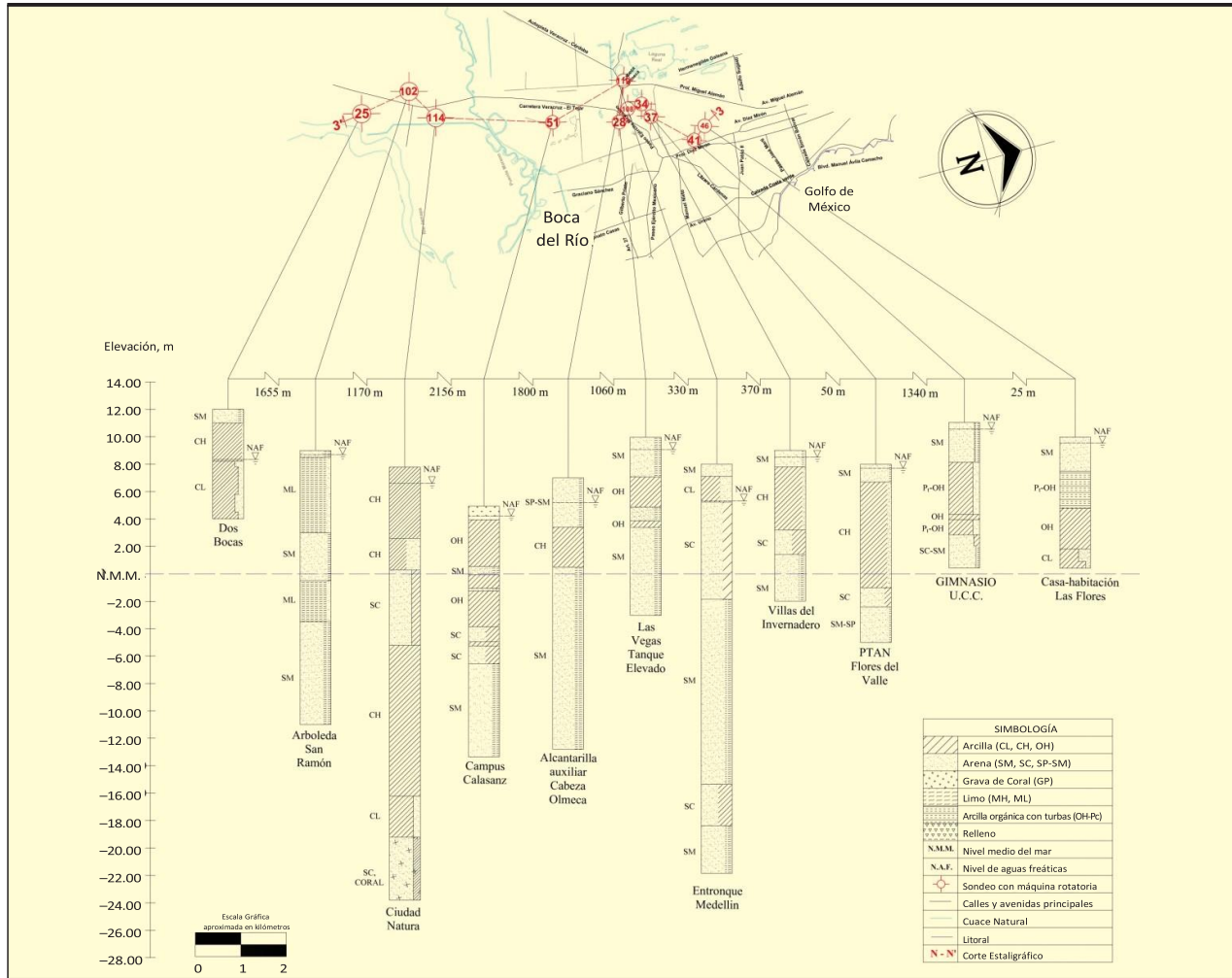
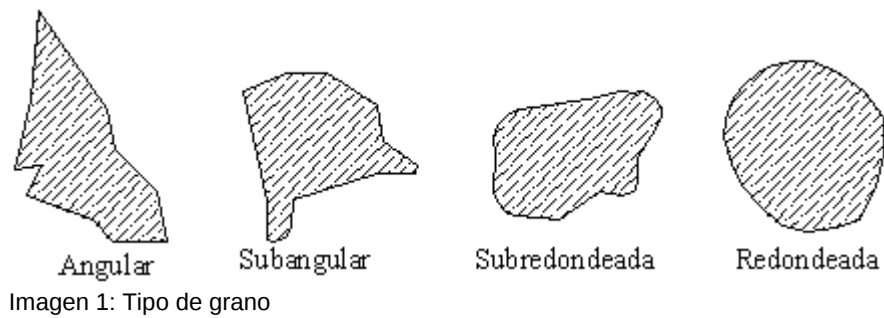


FIGURA 11. Perfil longitudinal de la zona aluvial.



METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DEL ANGULO DE FRICCION INTERNA

Tabla 1

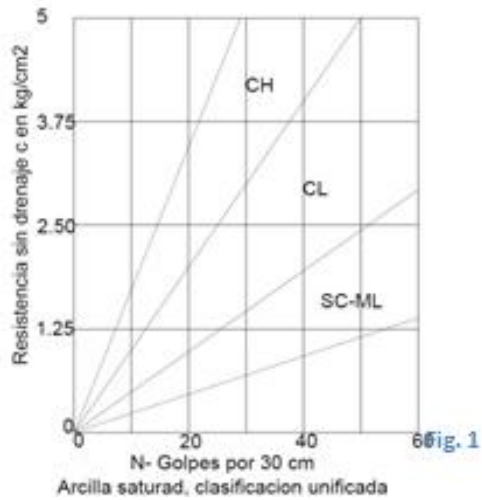
Numero de Golpes (SPT)	Consistencia	Cohesión (suelos finos o cohesivos) kg/cm ²
0-1	Muy blanda	0-0,25
2-4	Blanda	0,25-0,50
5-8	Firme	0,50-1,00
9-15	Consistente	1,00-1,50
16-30	Muy consistente	1,50-2,00
Más de 30	Dura	2,00 o mas
Medida con un muestreador de 3,5 cm de diámetro interno y 5 cm de diámetro exterior, hincando 30 cm con martillo de 64 kg cayendo a 75 cm de altura		

*De Intro. A la mecánica de suelos y cimentaciones, B. sowers F. sowers

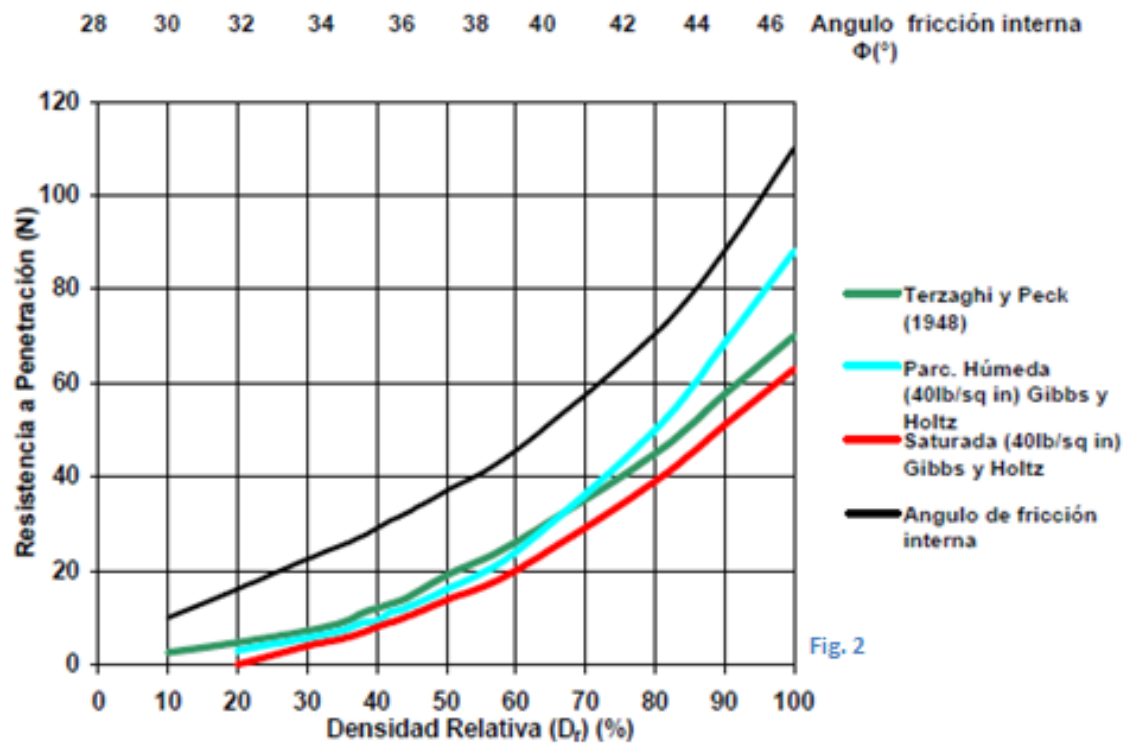
Tabla 2

Numero de Golpes (SPT)	Compacidad relativa	% de compacidad
0-4	Muy suelta	0-50%
5-10	Suelta	
11-20	Firme	50-70
21-30	Muy firme	
31-50	Densa	70-90
Más de 50	Muy densa	90-100
Medida con un muestreador de 3,5 cm de diámetro interno y 5 cm de diámetro exterior, hincando 30 cm con martillo de 64 kg cayendo a 75 cm de altura		

*De Intro. A la mecánica de suelos y cimentaciones, B. sowers F. sowers



(fig.3) (George B. Sowers, F. Sowers, 1980).



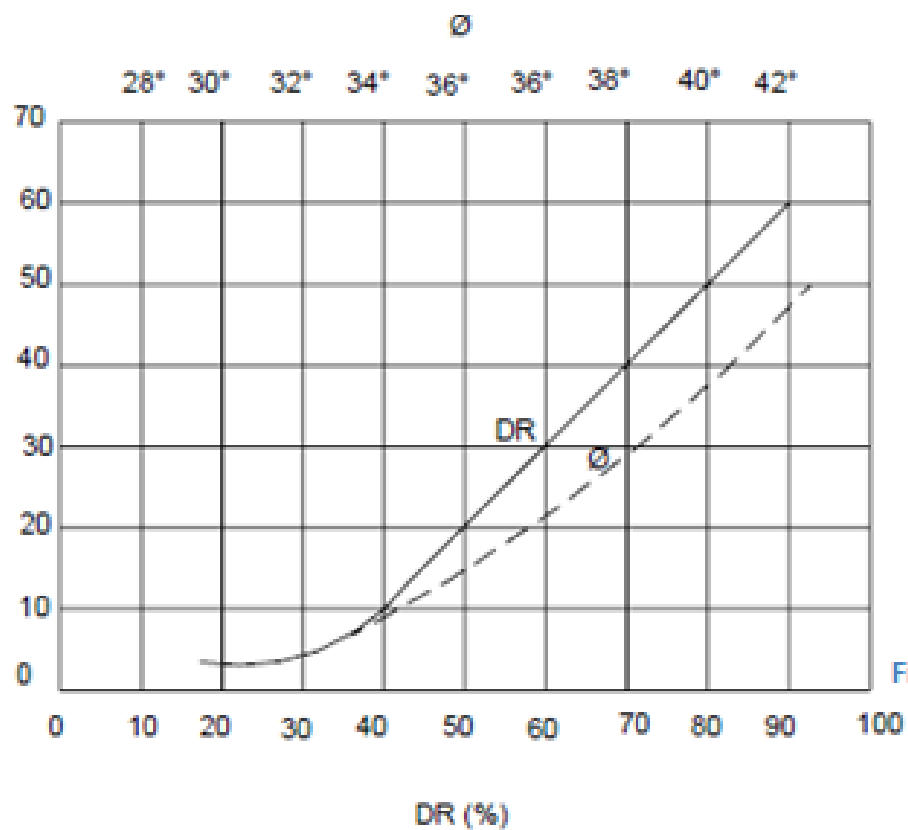
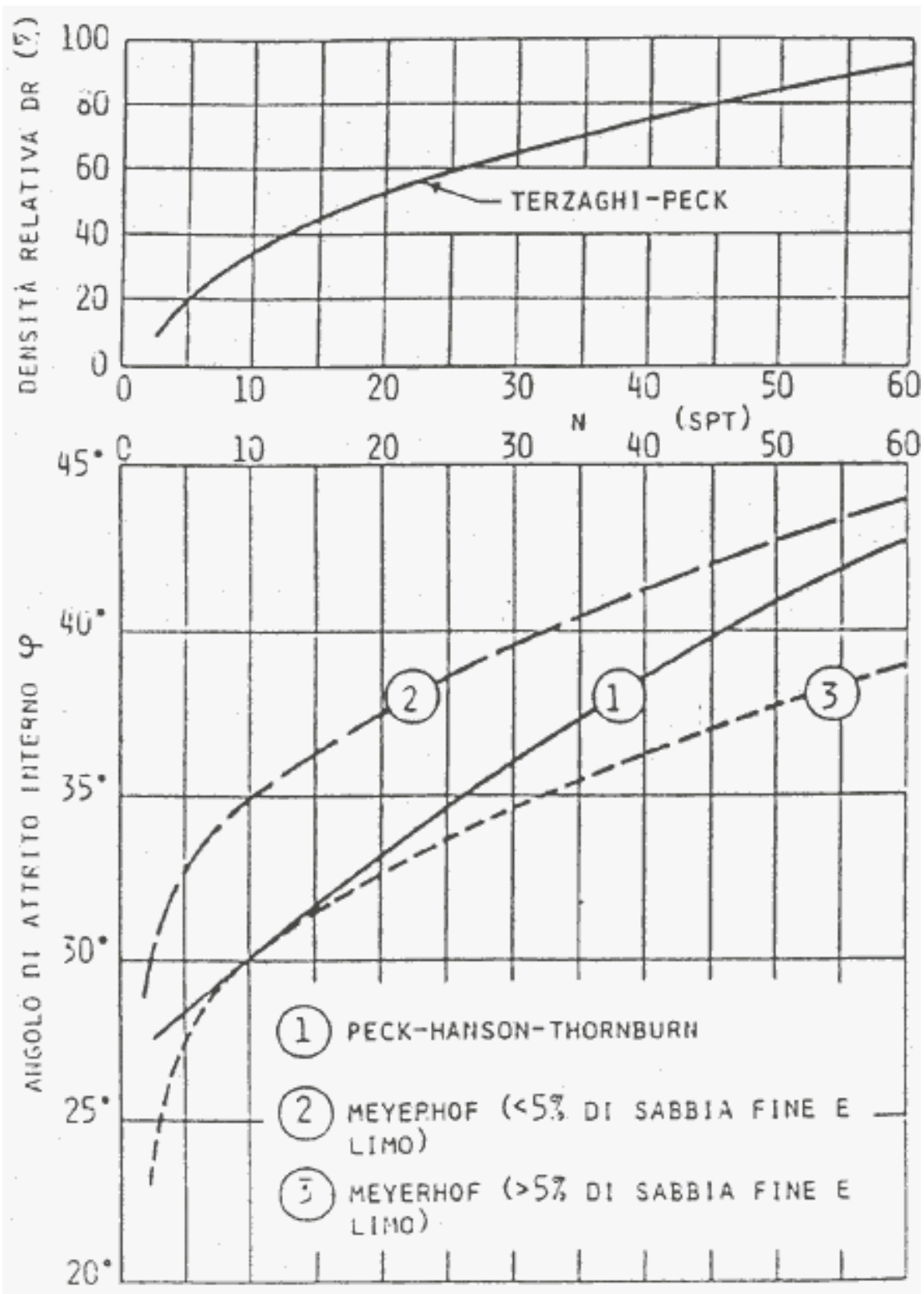


Fig. 3

FIG. N° 10 CORRELACIONES $N - DR$ Y $N \phi$
(MEYERHOF)



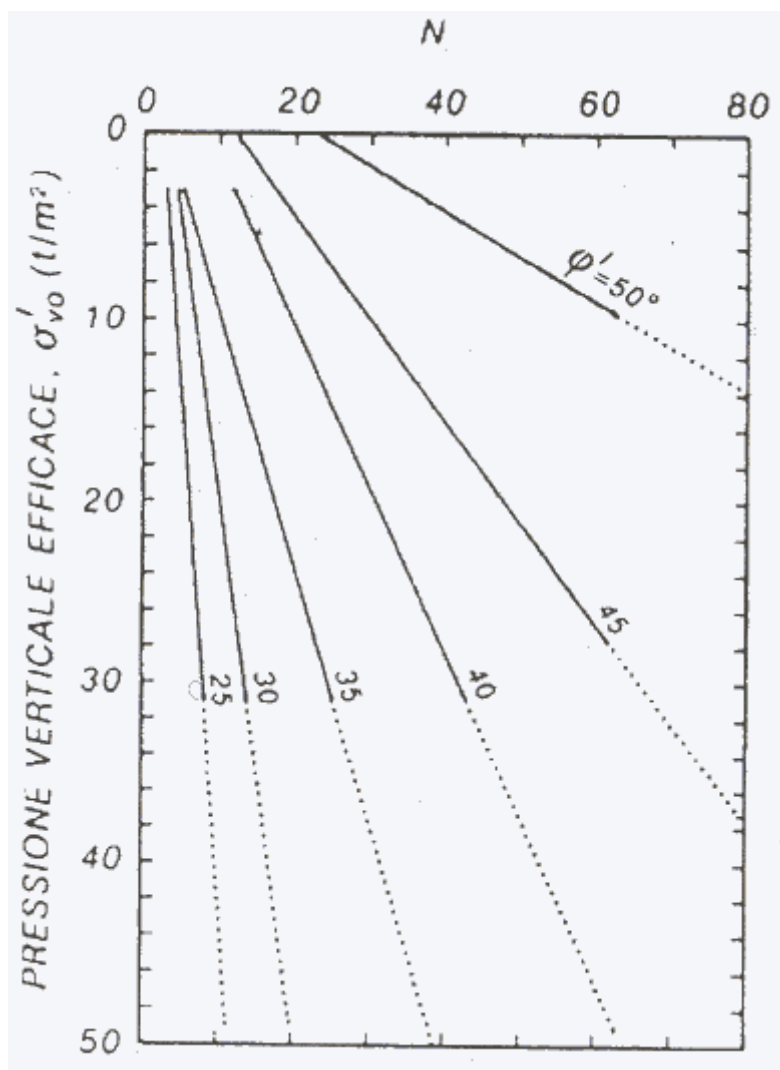


Tabla 1. Metodologías para corregir el confinamiento en el SPT. Fuente: Modificado de [7]

Autor	Año	Ecuación
Terzaghi & Peck [1]	1948	$C_N = \frac{\log(20/R_s)}{\log(20)}$
Meyerhof [5]	1975	$C_N = \frac{1,7}{0,7 + R_s}$
Seed & Idriss [4]	1983	$C_N = 1 - K \log(R_s)$
Schmertmann [16]	1983	$C_N = \frac{32,5}{10,2 + 20,3 R_s}$
Seed [17]	1985	$C_N = 1 - 1,25 \log(R_s)$
Liao & Whitman [18]	1986	$C_N = \sqrt{1/R_s}$
Skempton [6]	1986	$C_N = \frac{2}{1 + R_s}$
González [7]	1999	$C_N = \log(10/R_s)$

Tabla 2. Correlaciones para obtener el ángulo de fricción efectivo a partir del N_1 . Fuente: [7]

Autor	Año	Ecuación
Terzaghi & Peck [1]	1948	$\phi' = 28,5 + 0,25N_1$
Peck <i>et al.</i> [19]	1953	$\phi' = 26,25 \left(2 - \left(e^{\frac{-N_1}{62}} \right) \right)$
Kishida [20]	1969	$\phi' = 15 + \sqrt{20N_1}$
Schmertmann [16]	1970	$\phi' = \tan^{-1} \left[\left(\frac{N_1}{32,5} \right)^{0,34} \right]$
JNR (Japan National Railway) [21]	1999	$\phi' = 27 + 0,30N_1$
JRB (Japan Road Bureau) [21]	1986	$\phi' = 15 + \sqrt{9,375N_1}$
Hatanaka & Uchida [22]	1996	$\phi' = \sqrt{20N_1} + 20$
Montenegro & Gonzalez [8]	2014	$\phi' = 12,79 + \sqrt{25,86N_1}$

Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos *in situ*

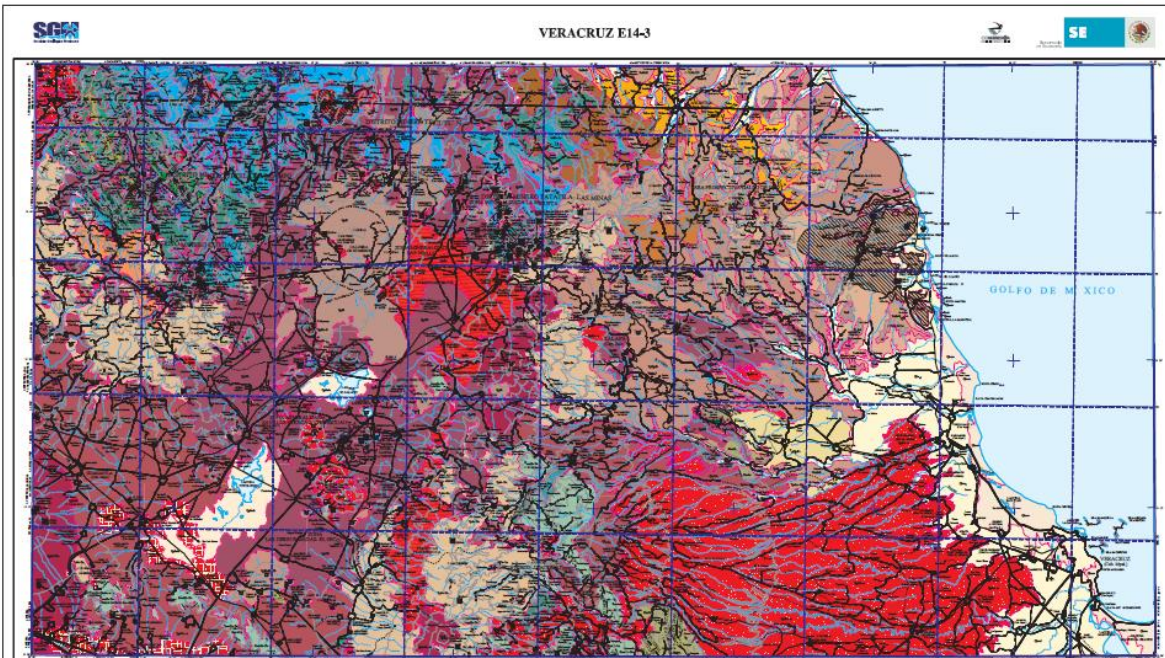
Tabla 3. Eficiencias promedio y corrección para energía - $E_{ref} = 60\%$. Fuente: [23]

País	Martillo de golpeo		E (%)	C (factor multiplicador)	Referencia
	Tipo	Accionamiento			
Argentina	Donut	Polea-soga	45	0,75	Seed <i>et al</i> [17]
Brasil	Guía interna	Manual	72	1,2	Décourt [23]
China	Donut	Caída libre	60	1,0	Seed <i>et al</i> [17]
Colombia	Donut	Polea-soga	45	0,75	González [7]
Japón	Donut	Caída libre	85	1,40	Riggs [24]
	Donut	Polea-soga	68	1,13	
Paraguay	Guía interna	Manual	72	1,20	-----
Reino Unido	Donut	Caída libre	60	1,0	Skempton [6]
	Donut	Polea-soga	50	0,83	
	Donut	Polea-soga	45	0,75	
EUA	Seguridad	Polea-soga	60	1,0	Seed <i>et al</i> [17]
	Seguridad	Caída libre	85	1,40	Riggs [24]
Venezuela	Donut	Polea-soga	43	0,72	-----

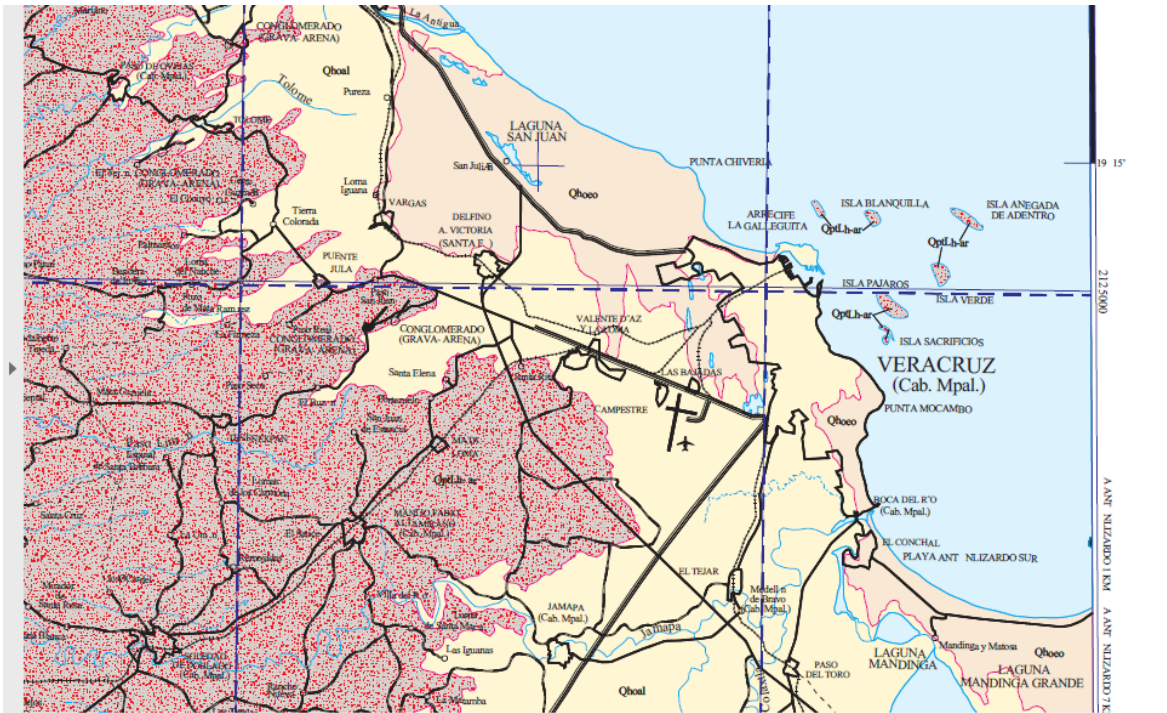
Tabla 4. Transformaciones del ángulo de fricción efectivo según la energía trasferida. Fuente: [7]

Autor	Año	Ecuación	Transformación
Terzaghi & Peck [1]	1948	$\phi' = 28,5 + 0,25N_{145}$	$\phi'_{45} = 28,5 + 0,25N_{145}$
Peck <i>et al.</i> [19]	1953	$\phi' = 26,25 \left(2 - \left(e^{-\frac{N_{145}}{62}} \right) \right)$	$\phi'_{45} = 26,25 \left(2 - \left(e^{-\frac{N_{145}}{62}} \right) \right)$
Kishida [20]	1969	$\phi' = 15 + \sqrt{20N_{172}}$	$\phi'_{45} = 15 + \sqrt{12,5N_{145}}$
Schmertmann [16]	1970	$\phi' = \tan^{-1} \left[\left(\frac{N_{160}}{32,5} \right)^{0,34} \right]$	$\phi'_{45} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{N_{145}}{43,3} \right)^{0,34} \right]$
JNR (Japan National Railway) [21]	1999	$\phi' = 27 + 0,30N_{172}$	$\phi'_{45} = 27 + 0,1875N_{145}$
JRB (Japan Road Bureau) [21]	1986	$\phi' = 15 + \sqrt{15N_{172}}$	$\phi'_{45} = 15 + \sqrt{9,375N_{145}}$
Hatanaka & Uchida [22]	1996	$\phi' = \sqrt{20N_{172}} + 20$	$\phi'_{45} = \sqrt{12,5N_{145}} + 20$
Montenegro & González [8]	2014	$\phi' = 12,79 + \sqrt{25,86N_{172}}$	$\phi'_{45} = 12,79 + \sqrt{16,16N_{145}}$

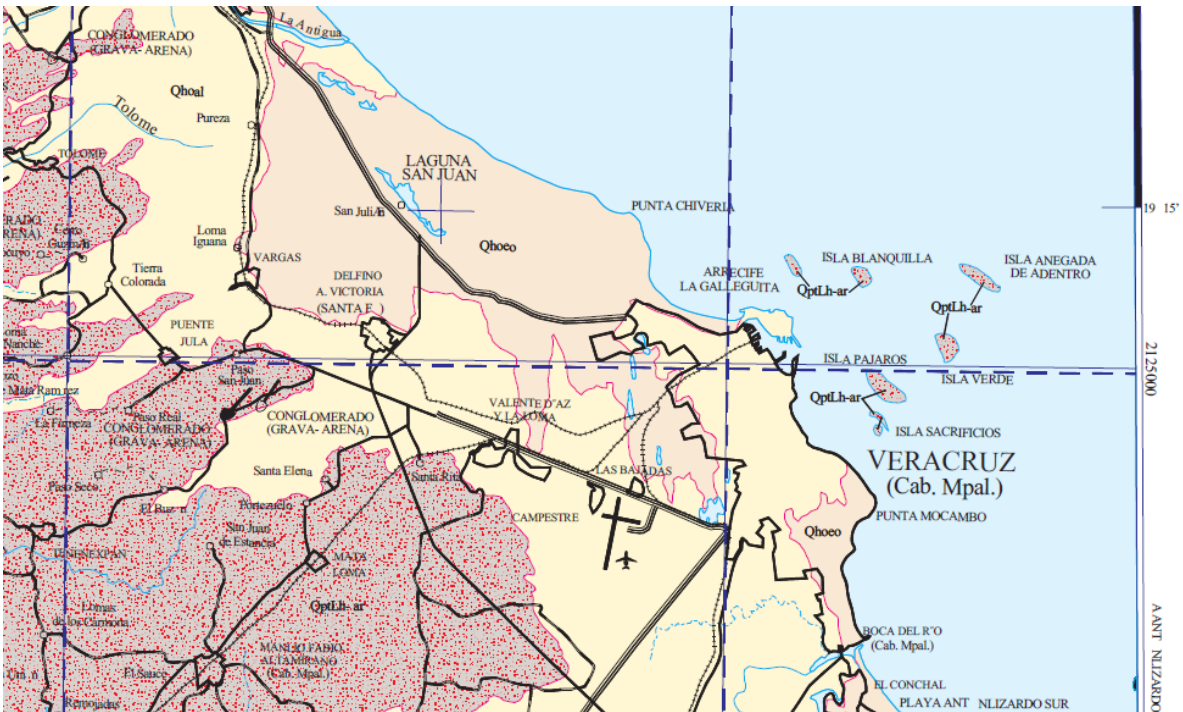
CARTA GEOLOGICA



Carta geológica de Veracruz

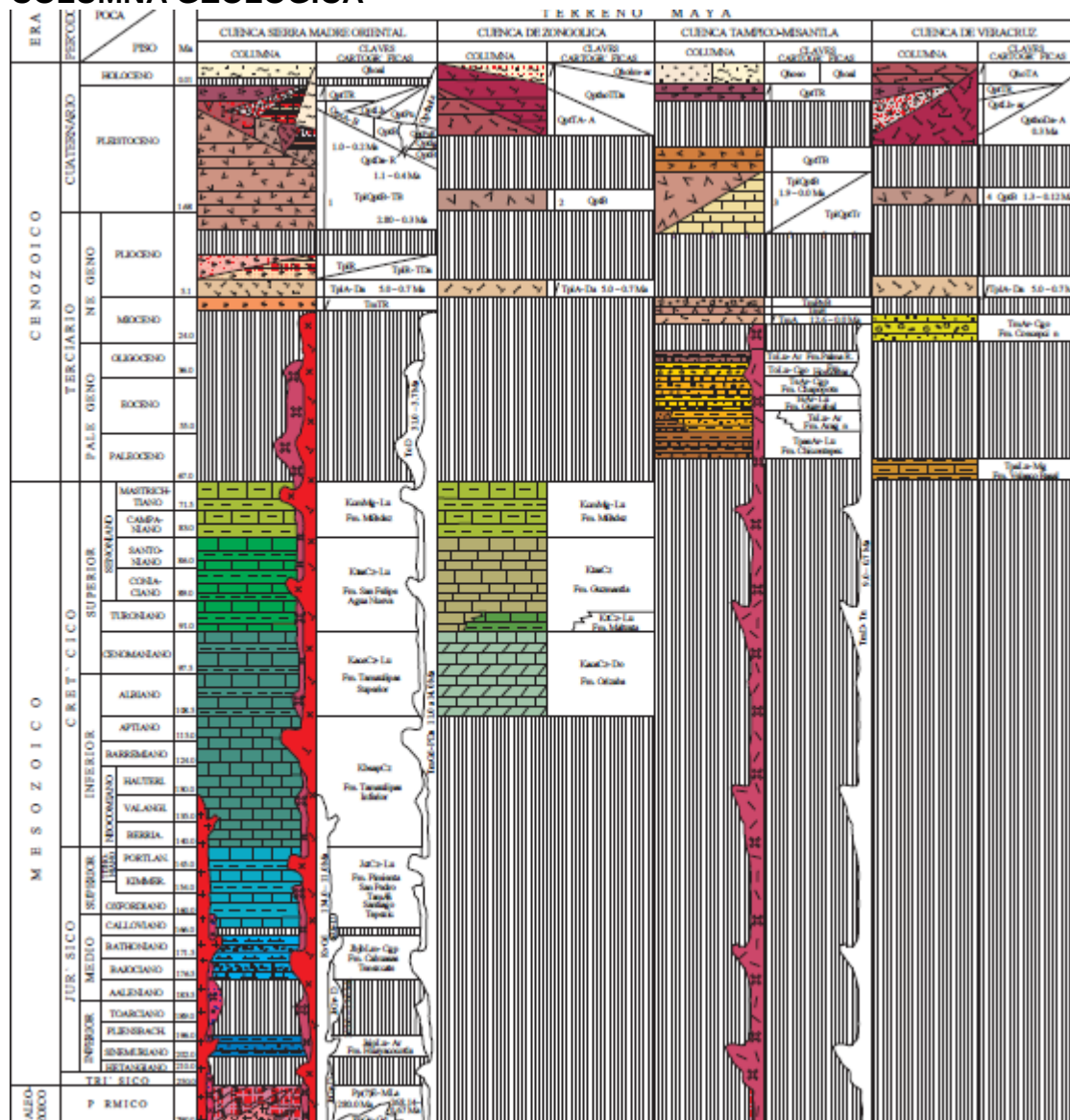


Carta geológica de Veracruz-Boca del río



Carta geológica de Veracruz-Boca del río

COLUMNA GEOLOGICA



Desarrollo



Sección de fotos 1. Ubicación mocambo Boca del Rio.



Sección de fotos 1. Ubicación mocambo Boca del Rio.



Sección de fotos 1. Ubicación Residencial Punta Tiburón Antón Lizardo (Alvarado)



Sección de fotos 1. Ubicación Residencial Punta Tiburón Antón Lizardo (Alvarado).



Sección de fotos 1. Ubicación Residencial Punta Tiburón Antón Lizardo (Alvarado).



Sección de fotos 2. Playa de Vacas. Ubicación Medellín de Bravo.



Sección de fotos 3. Boulevard Manuel Ávila Camacho. Ubicación Boca del Río.



Sección de fotos 3. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines. Ubicación Boca del Río.



Sección de fotos 4. Carretera Veracruz-Cardel. Ubicación Veracruz.



Sección de fotos 4. Carretera Veracruz-Cardel. Ubicación Veracruz.



Sección de fotos 4. Carretera Veracruz-Cardel. Ubicación Veracruz.