TESIS
IC99
G7
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES INDICES DE LAS ARCILLAS DEL VALLE DE CARACAS

REALIZADO POR

Carmen Carolina Graterol Capiello.
Johanna Araque Pérez.

PROFESOR GUIA

Ing. Alejandro Morales.

FECHA

Caracas 16 de Octubre de 1998.

INDICE

Introducción.....1

Sipnosis.....2

1. Geología del valle de Caracas.....3

1.1 Proceso de Metamorfismo.....5

1.2 Formaciones geológicas.....8

1.3 Origen de los estratos arcillosos.....14

1.4 Factores que inciden en la formación de los suelos 17

1.5 Influencia de los factores geológicos en las propiedades geotécnicas de los sedimentos.....18

1.5.1 Factores petrográficos.....18

1.5.2 Transporte y deposición.....19

1.5.3 Cambios después de la deposición.....20

1.6 Localización de los estratos arcillosos según su naturaleza.....20

1.6.1 Depósitos aluvionales de fuerza elevada.....20

1.6.2 Depósitos aluvionales de poca fuerza.....21

1.7 Suelos arcillosos residuales detectados en vertientes secundarias del valle de Caracas.....21

2. Zonas del valle de Caracas donde se detectan estratos arcillosos y estratificación característica de este tipo de suelo dependiendo de su origen y formación.....22.

2.1 Resumen de perfiles generalizados representativos de estos suelos....24

2.2 Interpretación de los perfiles.....24

2.3 Condiciones que controlan el nivel freático en este tipo de suelo.....25

3. Estudio de las propiedades índices de los estratos arcillosos dependiendo de su origen y formación.....27

3.1 Propiedades físicas de los suelos en estudio....27

3.1.1 Límites de consistencia....27

3.1.2 Contenido de humedad natural....34

3.1.3 Granulometría y permeabilidad....34

3.1.4 Porosidad y relación de vacío....43

3.1.5 Actividad de las arcillas....45

3.1.6 Peso unitario....47

3.1.7 Peso específico....48

4. Propiedades de resistencia y de deformación....49

4.1. Parámetros de resistencia al corte representativos de las diferentes zonas en estudio y resumen de valores representativos de ensayos especiales....50.

4.2 Ensayo de compresión sin confinar....51

4.2.1 Resistencia al corte al límite cedente....51

4.2.2 El ensayo normal de penetración y correlaciones con la compresión sin confinar....53.

4.3 Consolidación....55

4.4 Ensayos presiométricos....61

5. Criterios de diseño en el cálculo de la capacidad admisible de carga y de asentamiento utilizando los parámetros representativos de resistencia al corte y deformación para los diferentes tipos de fundaciones considerando la naturaleza del medio de los estratos portantes....63

5.1 Medio continuo....63

5.2 Medio estratificado....65

6. Conclusiones y recomendaciones....69

7. Bibliografía....76

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA Nº

1. Plasticidad zona aluvial central....30
2. Plasticidad zona aluvial este....31
3. Plasticidad zona aluvial oeste....31
4. Plasticidad zona aluvial sur....32
5. Plasticidad zona coluvial central....32
6. Plasticidad zona coluvial este....33
7. Plasticidad zona residual en general....33
8. Granulometría de arcillas aluviales....37
9. Granulometría de arcillas coluviales....38
10. Granulometría de arcillas residuales....39
11. Drenaje de arcillas aluviales....40
12. Drenaje de arcillas coluviales....41
13. Drenaje de arcillas residuales....42
14. Actividad de arcillas residuales....46
15. Actividad de arcillas aluviales....47
16. Actividad de arcillas coluviales....47
17. Resistencia SPT vs. Compresión sin confinar aluvial....54
18. Resistencia SPT vs. Compresión sin confinar coluvial....54
19. Resistencia SPT vs. Compresión sin confinar residual....55
20. Presión de consolidación vs. Indice de liquidez aluvial....57
21. Presión de consolidación vs. Indice de liquidez coluvial....57
22. Presión de consolidación vs. Indice de liquidez residual....58
23. Indice de compresión vs. Limite líquido aluvial según las correlaciones de Skempton y Terzaghi....58
24. Indice de compresión vs. Limite líquido coluvial según las correlaciones de Skempton y Terzaghi....59
25. Indice de compresión vs. Limite líquido residual según las correlaciones

de Skempton y Terzaghi.....59.
26. Correlación de Humedad natural W% aluvial vs. Cc/1+eo 60
27. Correlación de Humedad natural W% coluvial vs. Cc/1+eo..... 60
28. Correlación de Humedad natural W% residual vs. Cc/1+eo.....61

INDICE DE TABLAS

TABLA N°

1. Clasificación de rocas metamórficas....8
2. Resumen de las formaciones con la litología del Grupo Caracas....9
3. Resumen de límites de consistencia de estos suelos....28
4. Límites de Atterberg de algunos minerales arcillosos....29
5. Límites de Atterberg de acuerdo al tamaño de los granos de minerales....30
6. Tabla resumen de contenido de humedad de estos suelos....34
7. Permeabilidad de algunos materiales....35
8. Clasificación de los terrenos según su permeabilidad....36
9. Valores de porosidades y relación de vacío de arcillas....44
10. Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos....45
11. Historia geológica y actividad de las arcillas....46
12. Resumen de pesos unitarios de los suelos arcillosos del valle....48
13. Peso específico de minerales importantes....48
14. Resumen de pesos específicos de las zonas en estudio....49
15. Prueba de penetración estándar....53
16. Valores de presiones límites y módulos presiométricos de diferentes tipos de suelos....62

INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº

1. Principio de consolidación.....56
2. *Medio continuo*.....65
3. Medio estratificado.....67

INTRODUCCION

El siguiente trabajo se ha orientado en obtener la información disponible, en estudios de suelos efectuados en el Valle de Caracas; sobre las propiedades físicas, de resistencia al corte y de compresibilidad de los diferentes tipos de suelos finos de comportamiento arcilloso que se detectan en el Valle.

Se realizó una investigación y evaluación de datos de diferentes fuentes de origen (Geotécnica de Venezuela C.A., Ingeniería de suelos, S.A, estudios realizados durante la construcción de las líneas del metro de Caracas, Cametro), de manera de unificar criterios en lo que se refiere a la zonificación origen y formación de los diferentes tipos de suelos arcillosos que afloran o se encuentran en el valle de Caracas.

Toda la información disponible ha sido recopilada y analizada de forma de disponer de una manera concreta y rápida, de las propiedades de estos suelos arcillosos en el valle de Caracas, facilitando a cualquier ingeniero interesado información adecuada al momento de preparar un anteproyecto de fundaciones las cuales se requieran apoyar en este tipo de suelo o en caso de que estas transmitan esfuerzos importantes a dichos estratos.

SINOPSIS

Debido a que en los últimos cuarenta (40) años el desarrollo de la población de la capital del país se ha venido incrementando aceleradamente, requiriéndose el uso intenso de las superficies que presentan menores niveles del valle de Caracas, para la construcción tanto de estructuras de viviendas multifamiliar como para estructuras importantes de comercios y oficinas, en general, nuevas edificaciones lo que a su vez implican sistemas de infraestructuras con solicitaciones importantes, se consideró de utilidad práctica en el ejercicio de la ingeniería geotécnica efectuar un inventario, recabando la máxima información disponible de estudios del subsuelo de estratos arcillosos clasificados según el origen de formación, donde se apoyan fundaciones de estructuras importantes, los cuales aportarán a la vez valores representativos de las propiedades índices, de resistencia al corte y de compresibilidad de estos suelos finos de comportamiento arcilloso, de forma de fijar criterios en cuanto al tipo de estratificación de cada zona, en los análisis de capacidad de carga de fundaciones apoyadas en este tipo de suelos.

1. GEOLOGÍA DEL VALLE DE CARACAS

El valle de Caracas yace en la porción central de la Cordillera de La Costa de Venezuela. Existen dos cadenas montañosas paralelas a la costa norte de Venezuela en dirección este-oeste: la Cordillera de La Costa y Serranía del Interior, situada entre el Mar Caribe y llanos del Orinoco que se extienden desde Barquisimeto hasta el golfo de Barcelona.
La región del valle de Caracas pertenece en su totalidad a la Cordillera de La Costa y puede dividirse en tres secciones definidas: la cadena de montañas al norte de Caracas llamada Sierra del Avila, el valle de Caracas propiamente dicho y las cadenas del sur y oeste.

El valle de Caracas es un graben asimétrico limitada por fallas este - oeste, pronunciadas al norte y menos pronunciadas al sur, en el que se intercalan sedimentos de abanicos aluviales, depósitos lacustres y fluviales. Es una depresión larga y angosta atravesada de este a oeste por el río Guaire tributario del Tuy. Desde Antímano desde su extremo oeste hasta Petare en su extremo este tiene 25 kilómetros de longitud. En su parte más ancha mide unos 4 kilómetros en dirección norte-sur y la altura promedio del fondo del valle es de unos 900 metros sobre el nivel del mar.

A lo largo del extremo norte del valle de Caracas la Cordillera de La Costa asciende abruptamente desde el nivel del mar y comprende un bloque de montañas bastante más elevadas que la Serranía del Interior que en el tramo del vale viene representada por los cerros de Petare, El Hatillo, Chuao, Colinas de Bello Monte, El Portachuelo, El Calvario, etc. Estos cerros son desde el punto de vista geológico distintos al cerro del Avila, tienen perfiles suaves y las rocas que los constituyen son diferentes y más blandas que las de la parte norte de la Cordillera de La Costa. La Serranía del Interior no solamente tienen alturas menores que la Cordillera de La Costa sino que tiene zonas relativamente planas como Fila de Mariches y las zonas altas de Los Teques. Sus laderas norte y sur presentan pendientes elevadas alcanzando alturas hasta 2.765 metros en el pico Naiguatá con una distancia horizontal de 7.800 metros desde el nivel del mar. Todo lo largo de la ladera sur se caracteriza por unos escarpados de una zonas de fallas este-oeste, en otros lugares al noreste de Caracas se eleva desde 900 metros

hasta 2.640 metros en la silla de Caracas en una distancia horizontal de solamente 2.800 metros.

El drenaje de la Cordillera de La Costa está formado principalmente por numerosas quebradas de cursos cortos que corren en dirección general norte-sur, los ríos que descienden las montañas y drenan hacia el sur tales como: Gamboa, Anaco y Chacaíto cortan profundos valles en V y presentan gradientes elevados los cuales fluyen más o menos perpendicular a la divisoria principal de la Cordillera.

Los principales valles longitudinales que separan a la Cordillera de La Costa de la Serranía del Interior (valle de Caracas), están controlados mayormente por la tendencia estructural de la región. Los valles ocupan una zona donde por lo general existen esquistos micáceos los cuales se encuentran atravesados con orientación aproximada este-oeste.

En general toda la zona descansa sobre rocas metamórficas donde el metamorfismo juega un papel predominante. Sin embargo, en la Cordillera de La Costa las intrusiones ígneas principalmente ácidas presentan la causa más importante del muy avanzado metamorfismo expuesto en la misma.

El núcleo de la Cordillera está compuesto por augengneis o gneis graníticos. El augengneis está formado por inyecciones de magma granítico, es una roca laminar en unas zonas locales conglomeráticas demostrándose de ésta forma su origen sedimentario. Estas inyecciones han producido numerosas masas redondeadas feldespáticas parcialmente alargadas en el cuerpo masivo de la roca, las inyecciones se observan claramente en la formación Peña de Mora, en la Autopista Caracas-La Guaira y cerca del pico de la silla del valle de Caracas. "Se denominaron a éstas rocas augengneis de Peña de Mora debido al excelente afloramiento existente en este sitio"[1]. La textura de éste gneis varía desde zonas de granos gruesos donde

[1] AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937)

un grano individual alcanza hasta tres (3) centímetros de diámetro, hasta zonas de grano fino. En ambos lados del augengneis se detectan esquistos granatíferos grafíticos, micáceos y mesas lenticulares de calizas hacia el núcleo. El macizo montañoso ha sido penetrado por rocas ácidas mayormente graníticas.

Algunas intrusiones de la Cordillera de La Costa y pueden ser observadas en el Tigrillo cerca de Naiguatá, en Plan de Manzano, en la Autopista Caracas-La Guaira y al este del valle de Caracas. La Cordillera de La costa es un bloque caracterizado mayormente por movimientos verticales condición ésta representativa debido al sistema de falla que presenta en ambos lados (norte-sur) y por la elevación que presentan los sedimentos marinos del Mio-Plioceno, en Cabo Blanco. En general la actividad sísmica del valle de Caracas está relacionada con éste sistema de falla

1.1 PROCESO DE METAMORFISMO DE LAS ROCAS

Formación

Las rocas metamórficas son el resultado de profundas transformaciones de tipo fisico, químico y fisico-químico que actúan sobre rocas ya preexistentes de cualquier tipo. Estas transformaciones pueden tener lugar desde simplemente en la propia estructura de la roca preexistente, que se reajusta a las nuevas condiciones de presión, temperaturas y posibles aportes químicos extraños, hasta cambios muy profundos en la misma, de forma que sea imposible el reconocimiento de su roca madre inicial.

Todas estas transformaciones o modificaciones son debidas al llamado proceso de metamorfismo, que puede ser originada por cambios en la presión (metamorfismo dinámico), en la temperatura (metamorfismo térmico), en particular en el llamado de contacto, o bien mixto (metamorfismo termodinámico o regional).

Estructura

Una característica importante de la roca metamórfica es la existencia de estructuras muy típicas, consistentes en presentar algunos de sus componentes mineralógicos orientados en forma definidas, debido a la actuación de una fuerte presión diferencial sobre ella, que obliga a algunos cristales a desplazarse o reorganizarse hasta conseguir una posición que ofrezca la mínima resistencia a dicha presión. Si la abundancia de éstos minerales en la roca es grande (biotita y moscovita, por ejemplo, es decir, del tipo de las micas), la roca puede llegar a tomar una macroestructura esquistosa típica de las formaciones metamórficas. Otras veces los cristales se alinean más o menos regularmente dando una estructura nudolosa, como los gneis glandulares. Finalmente, si el fenómeno de metamorfismo es muy intenso se originan rocas compactas duras, sin particularidades estructurales apreciables (cuarcita, corneanas, etc) que no conservan ningun resto de las rocas de las cuales proceden.

Clasificación y descripción de las rocas metamórficas más importantes

No existe por ahora una clasificación mineralógica de las rocas metamórficas. En efecto la gran variedad de las rocas (iniciales) sobre las que puede actuar el metamorfismo en muy diversos grados de intensidad, dentro de cada uno de los tipos anteriores ya mencionados, hace que el número de variedad de las rocas (finales) sea muy grande y no se pueda establecer una clasificación clara y racional. No obstante, si se conoce una de las llamadas series metamórficas, originadas por los estados sucesivos que va alcanzando una roca a ser sometida a procesos metamórficos cada vez más intensos. En la **tabla # 1** se reproduce algunas de éstas series a título de información.

Geológicamente hablando, el vocablo *pizarra* debe reservarse para una roca sedimentaria de naturaleza arcillosa que ha sufrido una fuerte compresión. Sin embargo, y vulgarmente ésta palabra se emplea para designar todo tipo de roca que posea una disyunción o exfoliación muy marcada a lo largo de planos paralelos, originando una evidente confusión.

Filitas. Rocas con laminillas de clorita y sericita que provocan la aparición de la típica estructura conocida como pizarrosidad. Al ser las primeras que aparecen en su srie conservar todavía parte de la composición original de la roca de la cual proceden. Una variedad son las filitas satinadas grises o azuladas.

Esquistos. Es un paso más avanzado en su serie, y como tal no presentan restos de materia orgánica ni fósiles, aunque el transito entre las anteriores y los esquistos es gradual.

Micacitas. Rocas metamórficas caracterizadas por la gran abundancia de micas (biotita y moscovita), por la que son fácilmente distinguibles, aún a simple vista.

Gneis. Procedentes de las micacitas, en las cuales parte de la moscovita se transforma en feldespato ortosa pasando entonces a ser un gneis, que además posee cuarzo. No se distinguen en ellas señales de esquistosidad y de pizarrosidad, pero si conserva cierta orientación en sus minerales.

Serpentinas. Rocas con estructura reticular, de color amarillo verdoso, compactas y resistentes. Proceden de la transformación de las peridotitas.

Mármoles. Son rocas predominantemente calcáreas procedente del metamorfismo de las calizas. Son de color claro generalmente.

Cuarcita. Son rocas muy duras, procedentes de la alteración metamórfica de las areniscas, y como tales se llaman micáceas turmaliníferas, etc.; si posen micas, turmalina, etc.

Yacimiento

Todas estas rocas metamórficas suelen presentarse en los macizos geológicos más antiguos, lo cual es lógico si se tiene en cuenta su modo de formación, y como tales se hayan en los

núcleos de las zonas montañosas, presentándose en enormes masas, algunas veces junto a rocas eruptivas y extendiéndose por grandes áreas.

TABLA # 1

	ROCAS SEDIMENTARIAS				ROCAS IGNEAS	
	Serie arcillosa	**Serie arenosa**	**Serie calcárea**	**Serie calcárea-arcillosa**	**Serie granítica**	**Serie gabro-diorítica**
Roca inicial	Pizarra Filita	Areniscas Cuarcita	Calizas y dolomías Mármoles y cipolinos	Margas	Granito Protogino	Gabros
Intensidad creciente del metamorfismo	Sericitas y cloritas. Micacitas de dos micas. Gneis de dos micas. Gneis con biotita	Leptinitas	Serpentinitas (sin existe Mg)	Prasinitas Anfibolitas y piroxenitas	Ortogneis y ortoleptinitas	Anfibolitas, piroxenitas

1.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS

La Cordillera de La Costa ha sido interpretada como una cordillera tipo alpina, caracterizada por una espesa secuencia de rocas meta-sedimentarias y volcánicas metamorfizadas del Mesozoico. Dentro de este accidente se encuentra el área de estudio, para lo cual se procederá a describir como información general los diferentes grupos y formaciones aflorantes.

Grupo Caracas:

El grupo Caracas es una espesa secuencia de esquistos cuarzo micáceo, metaconglomerados, calizas marmóreas con esquistos grafitosos y calizas delgadas grafitosas en su parte superior (Formación Las Mercedes), localmente se presentan lentes de mármol en la parte media del grupo (caliza de Antímano) y esquistos epidótico-sericíticos (Formación Tacagua) que suprayacen a la Formación Las Mercedes; en la parte norte de la faja, estratos de anfibolita, que representan rocas ígneas básicas originales de naturaleza probablemente intrusivas, se presentan a diferentes niveles estratigráficos en la formación de la Peña de Mora. En la zona norte de la faja, afloran principalmente serpentinitas en forma de mantos concordantes, intrusionadas preferiblemente a lo largo del contacto entre las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes.

Todas estas rocas reposan sobre un basamento de carácter granítico que en la Serranía de La Costa recibe el nombre de complejo basal de Sebastopol, el cual está constituido fundamentalmente por granito gnéisico de composición granítica tal como el augengneis de Peña de Mora y se consideró que formaba parte del basamento, pero los estudios más recientes lo consideran como una formación separada En la siguiente tabla se ilustra el resumen de la estratigrafía del Grupo Caracas:

TABLA # 2

FORMACION	LITOLOGIA
Tacagua	Calizas grises, esquistos sericíticos-epidóticos a veces calcáreos + esquisto cuarzo-moscovítico-grafitoso calcáreo
Las Mercedes	Fil. y esq. cuarzo-moscovítico-grafitoso calcáreo. Calizas negras y conglomerados cuarzo-sericíticos, grafitosos o no, calcáreos o no.
Antímano	Caliza marmórea, negra, macizas,asociadas con anfibolitas granatíferas + esq. cuarzo moscovítico-grafitosos calcáreos.
Las Brisas (sup.)	Cuarcitas, filitas, metalimolitas y esquisto cuarzo-moscovítico-

	grafitoso. Esq. cuarzo-muscovítico + congl. Microclínicos.
Las Brisas (inf.)	Clásticos gruesos, cong. Líticos y polimícticos + esq. cuarzo-muscovítico +calizas cristalinas y mármoles + esq. cloríticos.
Peña de Mora	Gneises variados + cuarcitas + esq. cuarzo-muscovítico-granatíferos + esq. cloríticos + calizas delgadas. Facies metasomáticas de augeneis de grano grueso y composición granítica.
Sebastopol	Ortogneis granítico + paragneis.

Formación Tacagua:

Las rocas que componen ésta unidad tienen su localidad tipo en el valle de Tacagua, en las quebradas Topo y Tacagua. El área de afloramiento está restringida a una franja en el flanco norte de la Cordillera de La Costa que cubre la costa del Distrito Federal desde Los Caracas hacia el oeste hasta la localidad tipo, extendiéndose en afloramientos esporádicos al oeste hasta la región de Puerto Cabello y en alguna oportunidad hasta San Felipe y Nirgua.

Esta formación consiste principalmente de esquistos sericíticos-epidóticos intercalados con esquistos cuarzo-grafitoso-calcáreo, esquistos anfibolíticos y esquistos calco-albríticos, edad Mesozoico medio a superior.

Formación Las Mercedes:

La localidad tipo de ésta región fue establecida por Aguerrevere y Zuloaga (1937) en la hacienda del mismo nombre (hoy Urbanización Las Mercedes en el este de Caracas). La formación Las Mercedes aflora en los alrededores de Caracas, quebrada Tacagua, hacia Guarenas, Guatire, Los Teques, San Mateo, Maracay, Tinaquillo y hasta Guárico norte y Carabobo oriental.

Dentro de la litología predominante se encuentran esquistos grafitosos calcáreos con intercalaciones de mármoles grafitosos en forma de lentes. Localmente se encuentra un horizonte de mármoles oscuros de capas delgadas lenticulares sin posiciones estratigráficas definida que ha sido denominado **Caliza de los Colorados**, son capas gruesas y macizas de textura uniforme.

Los esquistos de la formación Las Mercedes son cuarzo muscovíticos-grafitoso-calcáreo. En general las rocas presentan textura esquistosa, buena foliación y grano medio a fino, en superficie fresca los esquistos son grises con zonas blancas y el color rosado producto de la meteorización se debe a la oxidación de la pirita, muy abundante en la formación.

Composición mineralógica promedio:

Cuarzo	40%
Moscovita	20%
Calcita	23%
Grafito	5%
Oxidos de hierro.	
Epidoto.	
Plagiocasa.	

Los esquistos de la formación Las Mercedes presentan numerosas vetas de cuarzo, por lo general paralelas a la esquistocidad como lentes intensamente deformados en el esquisto, donde los sistemas de diaclasas son prominentes. Las vetas se ajustan a éstas en lugar de seguir la esquistocidad. Además presenta vetas de calcita y ankerita recristalizadas.

La composición calcárea facilita la meteorización química y por ende la mecánica haciéndose la roca friable hasta el punto de dificultarse la recuperación de muestras inalteradas. Este problema es importante tomarlo en cuenta por cuanto la formación aflora en regiones urbanas altamente pobladas o en vías de expansión. Localmente y en menor escala se encuentran afloramientos de esquistos y filitas cloríticas, esquistos cuarzo-micáceo-clorítico dentro de la formación, expuestos al este y oeste de Caracas. Y en estudios realizados en las canteras de

Baruta al sur de Caracas se encuentran que las rocas mencionadas anteriormente están inmensamente mezcladas por procesos tectónicos.

Formación Antímano:

Se trata de una caliza cristalina que alterna con capas de esquistos micáceos, asociadas con rocas anfibolíticas verdes, edad Mesozoico superior. Los mármoles de la formación Antímano se presentan en forma de lentes discontinuos que presentan formas tectónicas como **boudins** y bloques rotados. Se observan buenos afloramientos al suroeste de la población de San Pedro cerca de la carretera que conduce a la represa de Agua Fría, al norte de Carayaca, en el valle de los ríos: Mamera, Tacagua y Mamo, por la carretera vieja Caracas-La Guaira, en el valle del río Curucutí y en Sanchorquiz. La localidad tipo se ubica 500 metros al norte de Antímano Distrito Federal.

Formación Las Brisas:

La formación Las Brisas ha sido definida como una secuencia de sedimentos metamorfizados que afloran en la región de Caracas. La localidad tipo se encuentra en el sitio llamado Las Brisas unos 4 kilómetros al sur del valle, en la carretera al dique de la Mariposa. Los afloramientos de esta unidad fueron extendidos hacia el este, entre Guatire y Cabo Codera, y hacia el oeste la unidad se extendió hacia la región de la Colonia Tovar, Choroní y Puerto Cabello extendiéndose hacia la zona de Bejuma, El Palito y el estado Yaracuy.

La formación se caracteriza en general por esquistos y gneis cuarzo-feldespáticos-micáceos, esquisto cuarzo-micáceos-sericíticos-grafitosos con lentes, bloques y bandas de mármol oscuro. Generalmente se encuentra capas de gneis microclino-calcáreo, asociado a los cuerpos calcáreos. Todas estas capas a excepción de algunas de gneis están intensamente mezcladas por procesos tectónicos. En la actualidad existe la tendencia de considerar a la formación Peña de Mora como facie dentro de la misma unidad.

En general toda la sección de afloramiento de la formación Las Brisas, las rocas más abundantes son los esquistos cuarzo-feldespáticos-micáceos los cuales presentan texturas esquistosas que se hacen gneisicas a medida que aumenta el contenido de feldespato. El color varía de gris claro a tonos verdosos y meteoriza a marrón claro, produciendo una arcilla roja amarilla.

Composición mineralógica promedio:

Cuarzo	25%
Plagiocasa	25%
Moscovita	15%
Biotita	5%
Feldespato potástico	5%
Calcita	5%
Clorita	4%
Epidoto	2%

Cantidades menores de minerales opácos: grafitos, circón, anfibol, apatita, turmalina, granate, titanita, pirita.

Debido a lo extenso del área de afloramiento existe una gran variedad de composición de los esquistos de acuerdo a la abundancia relativa de los minerales constituyentes.

En la meteorización de estas rocas a diferencia de los esquistos de la formación Las Mercedes, la desintegración mecánica juega un papel más importante que la química. El perfil de meteorización de los esquistos cuarzo-micáceo-feldespáticos es más profundo y posiblemente está relacionado con algún proceso morfológico de importancia al menos en la zona sur del valle de Caracas.

Las rocas de la formación Las Brisas se presentan en general muy meteorizadas, la alteración de los feldespatos y de los minerales micáceos hace que la roca sea muy friable, fácilmente desintegrada en afloramientos, lo que da inestabilidad a los taludes y asientos de estructuras. A

pesar de la existencia de la sección de gneises a través de toda la región de afloramiento de la formación dentro de ésta unidad se encuentran gran variedad de litologías cuyas relaciones no han sido analizadas con detalle hasta la fecha. Edad Mesozoica superior.

Formación Peña de Mora:

La formación Peña de Mora se extiende a lo largo de todo el macizo montañoso del Avila, se encuentra representada por un complejo ígneo metamórfico equivalente lateral, por lo menos en parte, de la formación Las Brisas que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de La Costa, alterada a profundidad por metasomatismo principalmente alcalino y emplazado en la superficie por sistemas de fallas a consecuencia del empuje de un magma granítico. En general la unidad está constituida por gneises de grano fino a medio, augengneises gruesos y bandeados, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo-muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas, en algunos lugares se observa desarrollo de mármoles delgados. Dentro de ésta secuencia se encuentran cuerpos dispersos de rocas ultrabásicas, básicas y ácidas. Entre la litología mencionada como las rocas que predominan y caracterizan a la formación son los gneises. Edad Mesozoico.

1.3 ORIGEN DE LOS ESTRATOS ARCILLOSOS

El valle probablemente se originó por efecto de las zonas de falla que se extienden hoy en día a lo largo de la ladera sur del Avila. En la actualidad existen conos aluvionales piemontinos en el frente montañoso, algunos de los cuales se extienden hacia el valle y se mezclan gradualmente con los depósitos aluvionales del Guaire. Originalmente este río debió fluir más cerca de la zona de falla y aproximadamente paralelo a la misma. En Petare el Guaire cambia abruptamente de dirección hacia el sur y se convierte en un valle más o menos abierto con espesos aluviones a una garganta estrecha, en este punto la roca dura sirve como sill que rige la sedimentación aluvional del valle de Caracas.

"La estratigrafía no se conoce a cabalidad y existen pocos estudios al respecto. El espesor del material varía según la topografía del fondo y en general es cercano a los cien metros aunque en la fosa sedimentaria de los Palos Grandes alcanza más de trescientos metros. El carácter de las fosas sedimentarias parece estar controlado por actividad tectónica Cuaternaria y reciente.

En la parte oriental del valle de Caracas se reconocen tres unidades litoestratigráficas del Pleistoceno, caracterizadas por aluviones piemontinos de origen morfoclimáticos con intercalación de facies pelíticas, palustres o fluviales. El criterio de diferenciación es el grado variable de deformación tectónica, como son los remanentes estructurales en la proximidad de la falla del Avila en el más antiguo disminuyendo en intensidad hacia los más jóvenes.

Hacia la parte sur del valle de Caracas, en posición distal de los abanicos aluviales, se ha encontrado sedimentos lacustres varvados cerca de la Plaza Venezuela, a lo largo de la Avenida Páez del Paraíso y a lo largo de la Avenida Los Ilustres y Autopista de El Valle. Su edad se considera Pre-Holoceno, quizás del período pluvial que acompañó el final de la última glaciación. Los materiales que se observan en las localidades anteriores son finamente laminados, con estructura rítmica recurrente, constituidos por dos fases litócromas de varvas lacustres: una aparentemente más antigua, con lechos arcillosos- limosos de colores alternantes ocre y café; y la otra con binomios de arcillas limosas grises y arenas finas o limos rojizos. En las arcillas se nota la presencia de caolinita, ilita, clorita e ilmenita, tanto la litocromía como la composición mineralógica de las arcillas indican aportes coluvio – torrenciales de carácter local originados en los arrastres de latosuelos desarrollados sobre los esquistos calcáreos de la Formación Las Mercedes."[2]

Los sedimentos varvados alcanzan espesores de seis a quince metros y su posición estatigráfica a diferentes cotas topográficas de más de cincuenta metros de diferencias, induce a pensar que estos cuerpos lacustres no formaban un horizonte continuos sino más bien ambientes cerrados de carácter local, probablemente controlados por represamiento mediante

---

[2] Gonzalez de Juana pag.699

derrumbes en lugares confinados del curso de los ríos Guaire y Valle. Los sedimentos lacustres varvados están recubiertos por mantos de arenas grises del Holoceno.

Los estudios de geotecnia y geología del Cuaternario, adelantados en el lado oriental del Valle de Caracas a raíz del terremoto de 1.967, han revelado la existencia de espectaculares flujos torrenciales a los que se atribuye un origen catastrófico aparentemente sísmico, aunque no necesariamente simultáneo.

"La dinámica particular de los depósitos holocenos se aprecia en el examen de las acumulaciones espectaculares del Pedregal y Altamira, así como en San Michele, Los Palos Grandes y Sebucán. En sus partes apicales y proximales estos abanicos aluviales constituyen verdaderas sabanas de escombros caracterizadas por una micro-topografía irregular de montículos y lóbulos dispuestos en forma de haz divergente hacia el valle. Ellos corresponden a formas de explayamiento de materiales de granulometría muy grosera, con bloques de hasta varios metros cúbicos arrastrados por flujos de consistencia viscosa, que produjeron diseminación de bloques en toda la extensión del abanico sin señales de abandono selectivo pero con amontonamientos erráticos. Hacia los ápices de los explayamientos los bloques constituyen diques marginales prominentes, que acompañan a causes abandonados en forma de batea, de un tamaño sin relación con el de las quebradas que los entallan actualmente.

El espesor de la napa es relativamente delgado, pero irregular en detalle, presentando dos metros hacia los flancos y seis a ocho metros o excepcionalmente más en las partes axiales, como ocurre en el abanico de San Michele. Hacia el extremo distal los espesores son de dos a cinco metros y la topografía es más suave; los cauces abandonados con perfil de batea aparecen menos encajados y más sinuosos y se unen aguas abajo con los meandros desarrollados sobre los depósitos de represamiento que dominan las vegas actuales del Guaire".[3]

---

[3] Clemente Gonzalez de Juana, Geologia de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas, Tomo II, pag. 700.

La facies que caracteriza a estos depósitos está constituida por materiales heterométricos, muy mal estructurados. Las gravas son angulares a subangulares, mezcladas a veces con cantos rodados torrenciales, erosionados del lecho de las quebradas invadidas. Los clastos se disponen sin orden en una matriz de arenas gruesas terrosas, mal lavadas, que provienen de la remoción de gneises descompuestos arrancados de las faldas vecinas de la cordillera. Lateralmente se nota cierta estratificación en forma da bancos irregulares de grava de hasta dos metros de espesor y bloques desordenados que alternan con horizontes mas finos de arenas y gravas grisáceas mejor lavadas. En los depósitos distales se pueden observar flujos de barros y el paso gradual del material de la napa a los aluviones del represamiento.

"La facies de los depósitos y el patrón de abanico implican el arrastre de escombros voluminosos, con una capacidad de acarreo y expansión propia de flujos, más similares al escurrimiento de barro líquido que de aguas torrencial."[4]

1.4 FACTORES QUE INCIDEN EN LA FORMACION DE LOS SUELOS

La erosión es considerada uno de los fenómenos más trascendentales a lo que se refiere al metamorfismo de los suelos, ésta ataca a las rocas formando en primer lugar los suelos residuales que llevan su nombre quizás para oponerse a otro tipo de suelo, los suelos transportados. Los materiales que componen el suelo residual son a veces arrastrados por la acción del agua y la gravedad. En el caso de que el transporte sea corto, obtendremos a los coluviones, los cuales se caracterizan por tener selección de granos, es decir, por ser de poco arrastre los materiales no han sido desgastados como para que se confundan unos entre otros, existiendo una clasificación de estos definida por partículas angulares de diversos tamaños, encontrándose mezclados gravas y hasta bloques con granos finos de arcillas. Estos depósitos de coluviones suelen presentarse al pie de monte.

---

[4] Clemente Gonzalez de Juana, Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas, TomoII, pag.702

Si el transporte es largo se generan como consecuencia los "Aluviones", los cuales a causa de las corrientes de agua son arrastrados a largas distancias, constituyendo éstos depósitos sedimentarios en los cuales la selección de grano no es muy definida a causa de que su superficie es más desgastada tendiendo a una forma redondeada.

Para de alguna manera designar u orientar el tema en lo que se refiere al sin fin de acciones atmosféricas que contribuyen con el agua de lluvia en su acción erosiva a la disgregación de las rocas las clasificaremos en dos grandes grupos, aun cuando en la mayor parte de las clasificaciones de fenómenos naturales tal separación no puede ser completa:

- "Erosión física: que produce un fraccionamiento de la roca sin cambio de su composición.
- Erosión química: que da lugar a un suelo cuya constitución mineralógica es distinta de la que tenía la roca madre"[5]

Ambos tipos de erosión cooperan entre si cada uno facilitando la acción del otro.

1.5 INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOLOGICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTECNICAS DE LOS SEDIMENTOS

Los principales factores geológicos que inciden en el comportamiento geotécnico de los sedimentos son los siguientes:

- Factores petrográficos.
- Transporte y deposición.
- Cambio después de la deposición.

[5] Geotecnia y Cimiento I, Propiedades de los suelos y de las rocas, pag.5.

1.5.1 FACTORES PETROGRAFICOS

Estos factores que tienen una incidencia importante en las propiedades geotécnicas de los sedimentos consisten en la gradación, tamaño de las partículas, su forma, composición mineralógica de las partículas sólidas, la composición química del agua en los poros, el agua y gases contenidos en los vacíos.

Las propiedades de los sedimentos que son afectadas por los factores petrográficos son:

- La relación de vacíos, inmediatamente después de la sedimentación.
- La permeabilidad.
- La plasticidad.
- La sensibilidad.
- Actividad.
- Compresibilidad.
- Resistencia al corte.

1.5.2 TRANSPORTE Y DEPOSICIÓN

El origen geológico de un depósito define su patrón de estratificación y las propiedades físicas de sus constituyentes.

El patrón de estratificación es de relevante importancia en la ingeniería, ya que determina el grado de precisión con la cual se puede predecir el comportamiento de un determinado estrato, bajo determinadas condiciones de carga, basado en los resultados de perforaciones exploratorias y de ensayos. Además de la influencia que tiene el origen geológico de los sedimentos en sus propiedades en la ingeniería practica existen los siguientes factores;

- Segregación en depósitos de vertientes menores o quebradas.
- Densidad relativa de suelos granulares o depósitos de arenas sedimentados por el agua.
- Propiedades de la ingeniería de mantos coluviales.

- Depósitos lacustres.
- Depósitos sedimentados por el viento.
- Depósitos producto de deslizamientos naturales.

1.5.3 CAMBIOS DESPUES DE LA DEPOSICION

Los cambios que pueden ocurrir después de la deposición o sedimentación son los siguientes:

- Cambios químicos.
- Agrietamientos.
- Preconsolidación.
- Desecación.
- Cambios de temperatura y contenido de humedad.

En general se han identificado los diferentes factores geológicos que inciden en el comportamiento geotécnico de los sedimentos de forma de poder orientar el presente trabajo de análisis, interpretación e identificación, de aquellos que mayormente afectan a los estratos arcillosos detectados en el área del valle de Caracas.

1.6 LOCALIZACION DE LOS ESTRATOS ARCILLOSOS SEGÚN SU NATURALEZA

1.6.1 DEPOSITOS ALUVIONALES DE FUERZA ELEVADA

Este grupo incluye suelos granulares de densidad relativa mediana a alta, con proporciones variables de limo y arcilla, limosos y arcillosos variablemente plásticos con alguna arena, y consistencia relativa en general resistente a dura. Generalmente los suelos granulares presentan aspecto sucio y contienen cantidades relativamente grandes de material que traspasa el tamiz No. 200. Igualmente los suelos arcillosos y limosos contienen material granular, o

sea, retenido en el tamiz No. 200. Tanto los granulares como también los limos y arcillas muestran considerable consolidación debido a los ciclos repetidos de humidificación y deshidratación.

En general estos suelos se encuentran ubicados a todo lo largo del pie de la cordillera de la costa lo que incluiría la mitad norte del valle de Caracas.

1.6.2 DEPOSITOS ALUVIONALES DE POCA FUERZA

Estos depósitos están representados por sedimentos lacustres, presentándose en algunas zonas como varvados y finamente laminados formados generalmente por arcillas, limos y arenas finas con sucesiones frecuentes de arcillas y arenas finas o limos y arenas finas, localizándose en la zona central del valle de Caracas.

1.6 SUELOS ARCILLOSOS RESIDUALES DETECTADOS EN VERTIENTES SECUNDARIAS DEL VALLE DE CARACAS

Estos se encuentran representados por suelos residuales que se comportan como arcillas y limos de baja plasticidad, producto de la meteorización de los estratos rocosos de la zona, (esquistos cuarzo micáceos, micáceos calcareos o filitas micáceas, los mismos se detectan en valles secundarios del área Metropolitana donde comunmente la estratificación del subsuelo esta constituida por sedimentos aluvionales de consistencia blanda en la superficie de espesor variable, entre los 4 y 15 metros aproximadamente y suelos residuales a mayor profundidad hasta detectar estratos rocosos que presentan avanzado grado de meteorización.

2. ZONAS DEL VALLE DE CARACAS DONDE SE DETECTAN ESTRATOS ARCILLOSOS Y ESTRATIFICACION CARACTERISTICA DE ESTE TIPO DE SUELO DEPENDIENDO DE SU ORIGEN Y FORMACION.

De forma de obtener estratificaciones representativas de cada zona del Valle de Caracas se revisaron un total general de doscientos (200) estudios y de éstos se seleccionaron entre dos (2) a seis (6) estudios de cada zona, con la finalidad de presentar las estratificaciones características representativas de los mismos y analizar dichas estratificaciones de los estudios considerados más importantes en cuanto a la obtención de parámetros geotécnicos de los suelos e importancia del sistema de infraestructura analizado para la estratificación tipo.

Los estudios revisados se han enumerado de manera consecutiva y se presentan resumidos en el **anexo #1** de acuerdo al origen del suelo y zona de la ciudad de Caracas donde se ubica cada estudio **(anexo #14).**

Del resultado del análisis de todos los estudios, el Valle de Caracas se ha dividido en tres zonas principales donde se detectan estos estratos arcillosos;

Zona 1: constituida por sedimentos de poca fuerza y mucho arrastre, donde existen suelos arcillosos de origen aluvional y aluvional-lacustre. En general estos suelos se comportan como suelos finos normalmente consolidados. Se observa que la delimitación efectuada de esta zona comprende el tramo central del valle, que en general se conforma por mini-cuencas sedimentarias existentes a diferentes cotas. Para una precisa identificación se pueden localizar de la siguiente forma:

- **Tramo Oeste**; abarca al sur desde Caricuao incluyendo Montalban- La Vega hasta. Quinta Crespo

- **Tramo Central**; desde Quinta Crespo hasta Plaza Venezuela incluyendo Bello Monte, Las Delicias y Chacaíto.

- **Tramo Sur;** desde Los Jardines del Valle, Escuela Militar, Av. Los Ilustres, Las Acacias, Los Rosales, Valle Abajo, Los Chaguaramos hasta Plaza Venezuela.

- **Tramo Este;** desde Chacaíto hasta La Carlota, entre la Av. Libertador y la Autopista del Este.

Zona 2: constituida por sedimentos de gran fuerza, comprende los suelos arcillosos de origen coluvial que han sufrido poco arrastre sedimentados al pie de la Cordillera de La Costa.

Estos presentan un comportamiento de suelos finos pre-consolidados y con frecuencia contienen un porcentaje de arena fina que puede alcanzar valores elevados hasta 40%-50% desarrollando menor plasticidad que aquellos de origen aluvional-lacustre, detectándose en las siguientes zonas del valle de Caracas:

- **Tramo Oeste;** abarca desde Catia hasta el Silencio a todo lo largo de la Av. Sucre y al norte de la misma.

- **Tramo Central;** entre el Silencio y Plaza Venezuela a todo lo largo de la Av. Bolívar, Av. México, Av. Libertador y sus respectivas zonas norte entre Guaicaipuro y La Campiña.

- **Tramo Este;** entre La Campiña y la Urbina incluyendo Los Cortijos de Lourdes, a lo largo de la Av. Libertador y al norte de esta y al lo largo y al norte de la Autopista del Este.

En general esta zona 2 comprende toda la zona norte del valle de Caracas.

Zona 3: como un caso particular se identifica esta zona 3 donde se detectan suelos arcillosos de origen residual, (producto de la meteorización en sitio de los estratos rocosos) los cuales tienen un comportamiento de suelo fino pre-consolidado de baja plasticidad. En general en los sitios donde estos se localizan se presentan dos tipos de comportamiento; aluvial: los sedimentos superficiales y residual: aquellos más profundos en contacto con los estratos rocosos. Los sitios donde se detectan ésta estratificación son: la urbanización Las Mercedes, El Valle, zona oeste de Prado de María y Los Carmenes, zona central de la vertiente de Prados del Este, Valle de las Urbanizaciones La Trinidad y Sorocaima.

2.1 RESUMEN DE PERFILES GENERALIZADOS REPRESENTATIVOS DE ESTOS SUELOS

De forma de poder definir y delimitar las diferentes zonas del valle de Caracas donde se detectan estratos arcillosos se analizaron un total de cuarenta (40) estudios representativos tomados del **anexo #1**, seleccionando los perfiles generalizados y de subsuelo donde se suministra información representativa en cuanto al espesor y continuidad de dichos estratos, dichos perfiles se encuentran identificados en los **anexos # 7,8,9.**

2.2 INTERPRETACION DE LOS PERFILES

Del estudio de los perfiles del subsuelo y perfiles generalizados representativos de los cuarenta (40) estudios, se han podido determinar las siguientes estratificaciones tipo que comúnmente se presentan en cada zona del valle de Caracas.

Estratificaciones tipo

1.- Medio continuo; representa un espesor apreciable entre cinco (5) y diez (10) metros aproximadamente, no interrumpido por lentes de suelo de naturaleza diferente al del medio continuo. Con frecuencia se presentan los siguientes casos:

a) Medio continuo granular- arcilloso o granular- limoso.

b) Medio continuo arcilloso.

2.- Medio estratificado; esta representado por un medio no continuo, o sucesión de lentes o estratos arcillosos y granulares- arcillosos manteniendo una alternancia desordenada tanto en profundidad como en extensión, siendo los espesores de los mismos entre uno (1) y cinco (5) metros.

3.- Medio estratificado de transición a estratos rocosos; este perfil estratigráfico se presenta comunmente en los valles secundarios del area Metropolitana y en el valle central de la ciudad donde se detectan espesores poco profundos de sedimentos superficiales que forman un medio estratificado y subyacentes a estos se detectan espesores medios y altos de suelos residuales producto de la meteorización de los estratos rocosos de la zona los cuales se ubican a las mayores profundidades. Con frecuencia en estas zonas los espesores superficiales de los estratos rocosos que presentan avanzado grado de meteorización desarrollan un comportamiento de suelo residual pudiendo estos alcanzar en ciertos sitios espesores importantes mayores de quince (15) metros.

2.3 CONDICIONES QUE CONTROLAN EL NIVEL FREATICO EN ESTE TIPO DE SUELO

En general el nivel freático estático de los acuíferos en las zonas en estudio, está controlado o íntimamente ligado a las fluctuaciones periódicas del río guaire, del río Valle y de todas las

vertientes secundarias activas, afluentes del río guaire tanto a lo largo de la margen norte como la margen sur, en los periodos de las estaciones de invierno y verano de la región.

En la zona central del valle donde existen los suelos de origen aluvial de poca fuerza, el nivel freático se puede decir que es controlado por las oscilaciones del río Guaire mientras que en las zonas donde se detectan los estratos arcillosos de origen coluvial de gran fuerza y aquellos en zonas de transición a suelos residuales con frecuencia pueden detectarse diferentes acuíferos a distintas profundidades y en algunos casos excepcionales acuíferos con cargas hidrostáticas elevadas. Por lo general estos se detectan en los estratos dominantemente granulares y se encuentra restringidos en profundidad por estratos de comportamiento arcilloso o limoso, todo esto desarrollan su carga o recarga a los diferentes niveles donde afloran en las márgenes de vertientes activas o en el piedemonte de la Cordillera de la costa.

3. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES INDICES DE LOS ESTRATOS ARCILLOSOS DEPENDIENDO DE SU ORIGEN Y FORMACIÓN

3.1 PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS EN ESTUDIO

Siendo consistente con la zonificación efectuada en el capítulo anterior en cuanto a estos suelos arcillosos, se procederá a estudiar las propiedades físicas de los mismos de acuerdo a su origen y formación.

A objeto de facilitar el estudio de las propiedades físicas, se han realizado gráficos que se consideran representativos y que fueron posibles de construir debido a la disponibilidad de la información en la identificación de las propiedades físicas de estos suelos, los cuales se listan a continuación:

- Gráfico de plasticidad del Sistema unificado de clasificación.
- Tabla resumen (**anexo # 1**) de valores representativos de:

* Contenido de humedad natural.	* Granulometría
* Peso específico	* Porosidad
* Peso unitario	* Limites de consistencia
* Densidad	* Permeabilidad
* Compresión sin confinar	* Porcentaje de saturación
* Relación de vacíos	* Actividad de las arcillas

3.1.1 LIMITES DE CONSISTENCIA

En el estudio de los estados de consistencia de los suelos y considerando que posean algo de cohesión según su naturaleza y la cantidad de agua que tenga, pueden presentar propiedades

que lo incluyan en el estado sólido, semisólido, plástico y semi-líquido o viscoso. Los límites de Atterberg marcan una separación arbitraria pero suficiente en la práctica, entre estos cuatro (4) estados.

SOLIDO → SEMISOLIDO → PLASTICO → SEMILIQUIDO O VISCOSO

↓ **LIMITE DE RETRACCION** ↓ **LIMITE PLASTICO** ↓ **LIMITE LIQUIDO**

Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea del tipo de suelo y sus propiedades, además se trata de determinaciones sencillas y rápidas, que permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más perfectos y complicados. Pertenecen con el análisis granulométrico al tipo de ensayo de identificación en cuanto a la calidad del suelo. En **el anexo # 1** se puede observar los valores de los limites de consistencia de las diferentes zonas del valle de Caracas, resumiendo los rangos de valores representativos de los estudios investigado se muestra una tabla que representa los rangos aproximados de dichos valores:

TABLA # 3

Zonas del valle de Ccs.	LL	LP
ALUVIAL (azul)	30-55	15-30
COLUVIAL (verde)	25-45	15-25
RESIDUAL (rojo)	28-42	16-26

A continuación se incluyo una tabla donde se ilustran los límites de Atterberg de algunos minerales arcillosos corrientes:

TABLA # 4

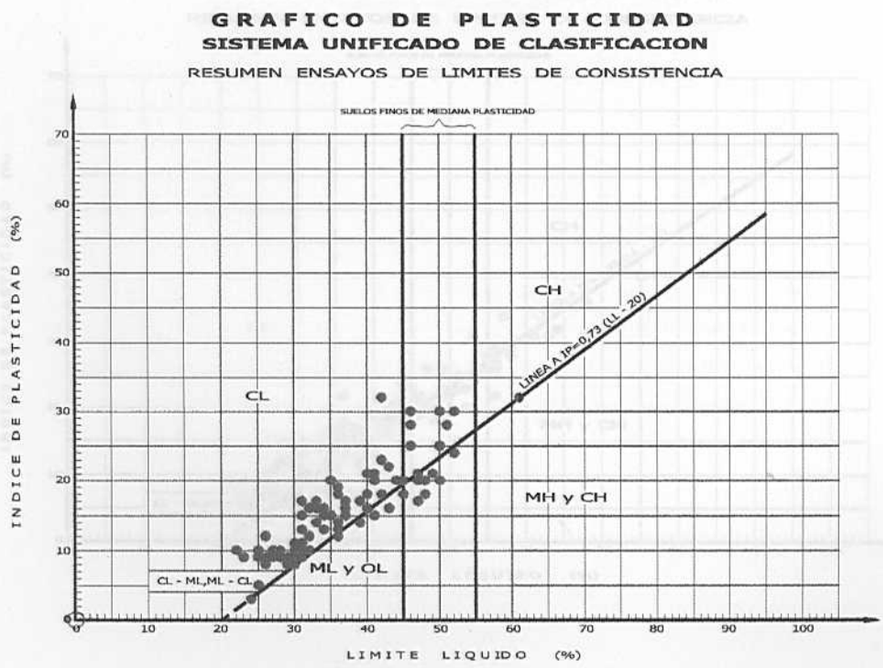
Mineral	Catión de cambio	LL %	LP %	IP %	Limite de retracción %
• Motmorilonita	Na	710	54	656	9.9
	K	660	98	562	9.3
	Ca	510	81	429	10.5
	Mg	410	60	350	14.7
	Fe	290	75	215	10.3
	Fe[a]	140	73	67	–
• Ilita	Na	120	53	67	15.4
	K	120	60	60	17.5
	Ca	100	45	55	16.8
	Mg	95	46	49	14.7
	Fe	110	49	61	15.3
	Fe[a]	79	46	33	–
• Caolinita	Na	53	32	21	26.8
	K	49	29	20	–
	Ca	38	27	11	24.5
	Mg	54	31	23	28.7
	Fe	59	37	22	29.2
	Fe[a]	56	35	21	–

A modo de ilustrar la influencia que representa la granulometría o mejor dicho el tamaño de los granos de una determinado mineral sobre los límites de Atterberg se incluye la siguiente tabla:

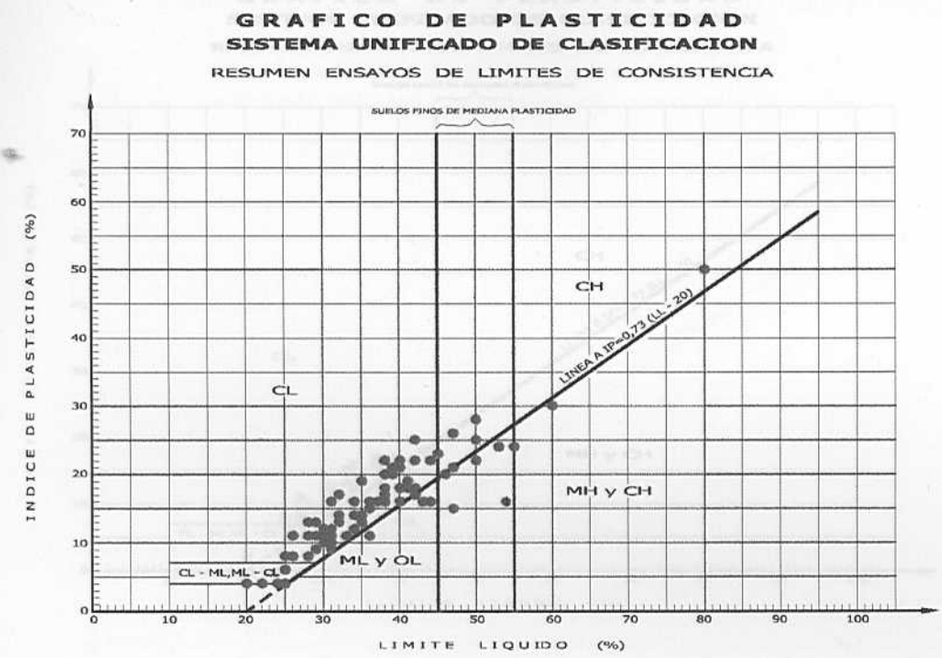
TABLA # 5

MATERIAL	Tamaño del grano (μ)											
	100 – 20			20 - 6			6 – 2			< 2		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
Cuarzo	34	34	0	34	34	0	34	34	0	35	35	0
Feldespato	37	37	0	38	38	0	38	38	0	39	39	0
Biotita	-	-	-	-	-	-	46	46	0	53	45	8
Serpentina	-	-	-	-	-	-	41	41	0	76	59	8
Muscovita	-	-	-	-	-	-	49	49	0	91	77	14
Hematita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	20	16
Clorita	33	33	0				44	44	0	72	47	25
Talco	33	33	0				48	48	0	76	48	28

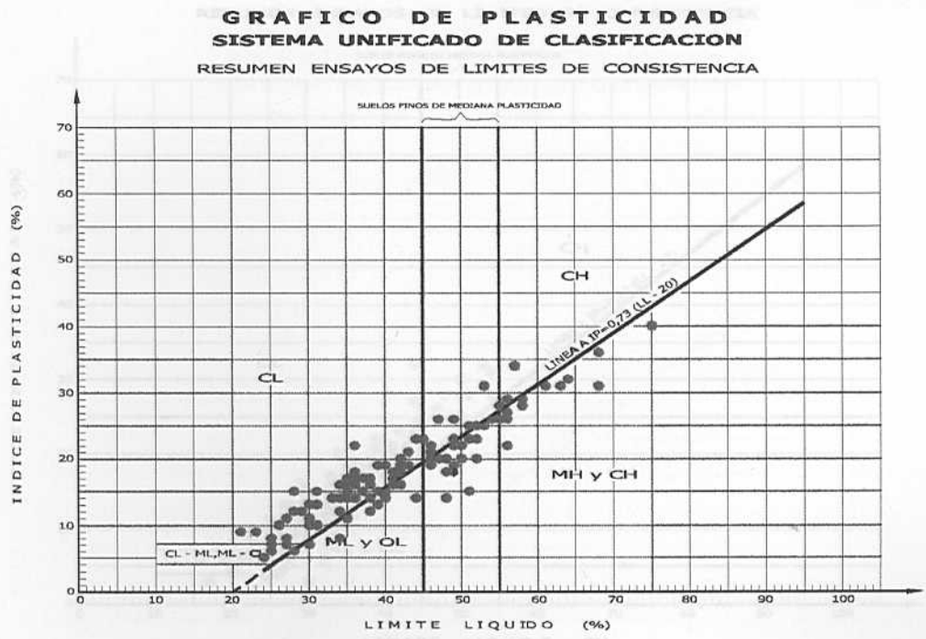
GRAFICA # 1 ARCILLAS DE ORIGEN ALUVIAL ZONA-CENTRAL



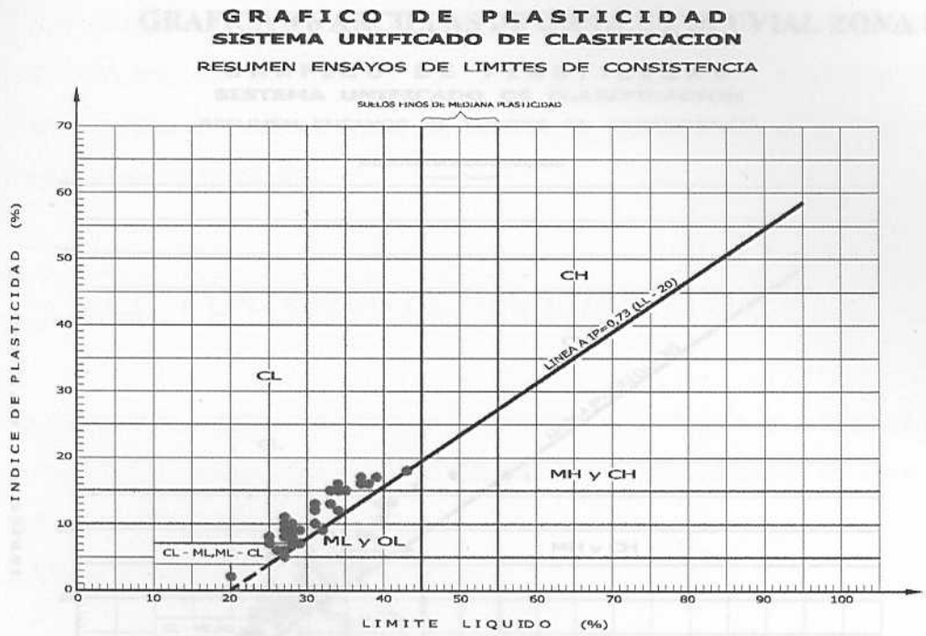
GRAFICA # 2 ARCILLAS DE ORIGEN ALUVIAL ZONA ESTE



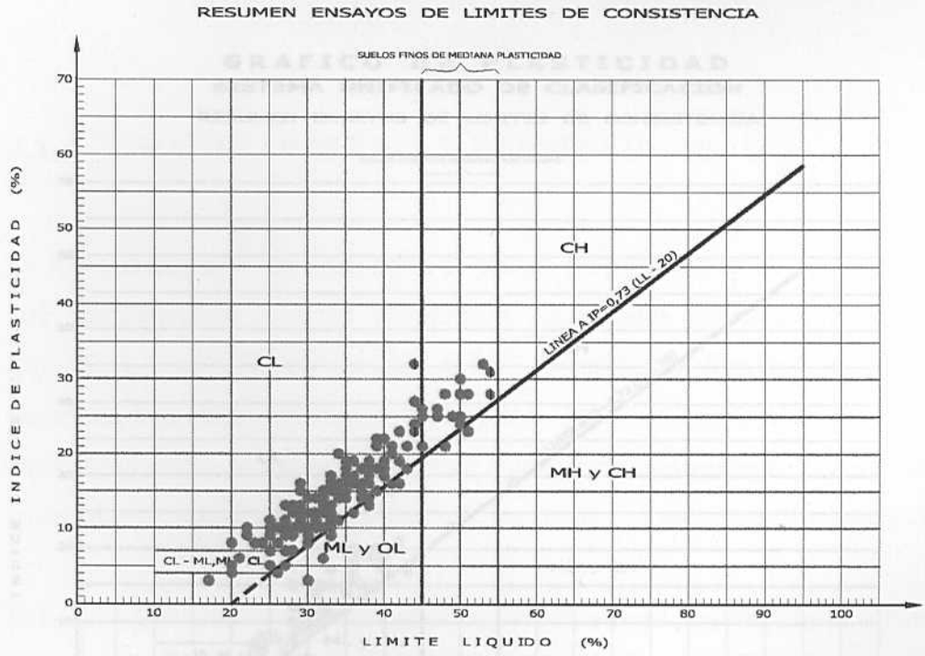
GRAFICA # 3 ARCILLAS DE ORIGEN ALUVIAL ZONA OESTE



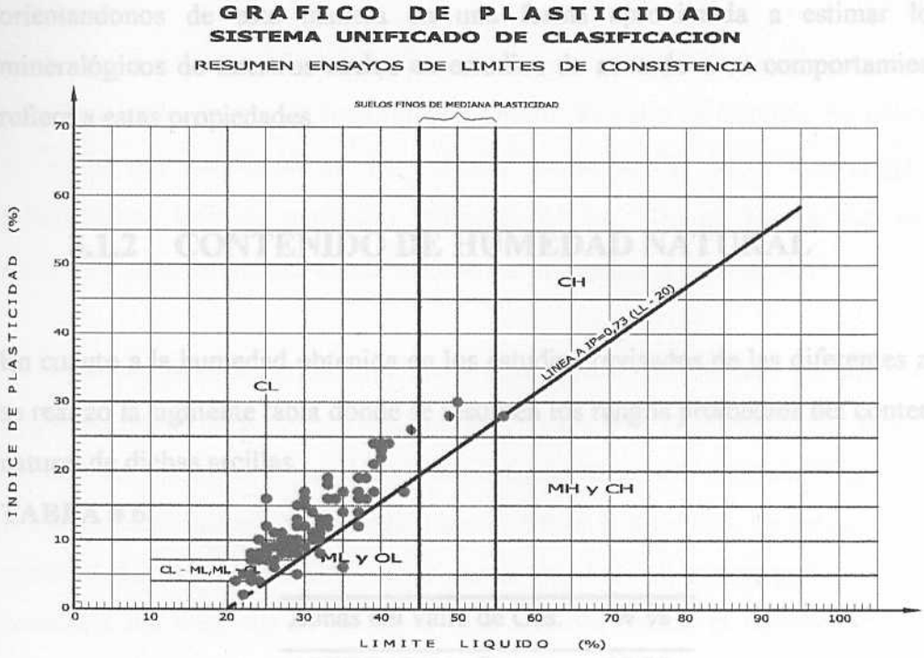
GRAFICA # 4 ARCILLAS DE ORIGEN ALUVIAL ZONA SUR



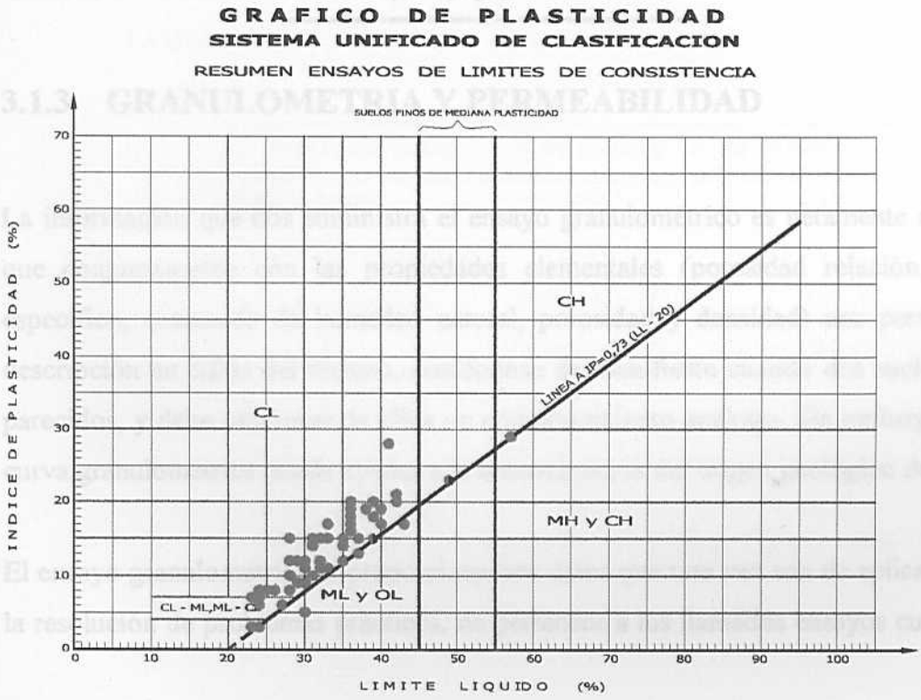
GRAFICA # 5 ARCILLAS DE ORIGEN COLUVIAL ZONA CENTRAL



GRAFICA # 6 ARCILLAS DE ORIGEN COLUVIAL ZONA ESTE



GRAFICA # 7ARCILLAS DE ORIGEN RESIDUAL EN GENERAL



En el **anexo # 6** se encuentra un gráfico de plasticidad de Casagrande que ilustra la posición de los diferentes minerales arcillosos según su relación límite líquido vs índice de plasticidad, orientandonos de esta manera en una forma aproximada a estimar los componentes mineralógicos de nuestros suelos en estudios de acuerdo a su comportamiento en lo que se refiere a estas propiedades.

3.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

En cuanto a la humedad obtenida en los estudios revisados de las diferentes zonas en estudio, se realizó la siguiente tabla donde se resumen los rangos promedios del contenido de humedad natural de dichas arcillas.

TABLA # 6

Zonas del valle de Ccs.	W %
ALUVIAL (azul)	15-30
COLUVIAL (verde)	16-22
RESIDUAL (rojo)	18-25

3.1.3 GRANULOMETRIA Y PERMEABILIDAD

La información que nos suministra el ensayo granulométrico es netamente de identificación, que conjuntamente con las propiedades elementales (porosidad relación de vacío, peso específico, contenido de humedad natural, porosidad y densidad) nos permite obtener una descripción en cifras del terreno, poniéndose de manifiesto cuando dos suelos son realmente parecidos, y debe esperarse de ellos un comportamiento análogo. Sin embargo la forma de la curva granulométrica puede ayudar a la determinación del origen geológico de un suelo.

El ensayo granulométrico al proporcionarnos datos que rara vez son de aplicación inmediata a la resolución de problemas prácticos, no pertenece a los llamados ensayos cuantitativos de los

cuales se deducen índices que expresan las propiedades mecánicas de los suelos, para por medio de cálculos, determinar su comportamiento en las condiciones dadas.

En las **graficas # 8 a 10** se incluyen las curvas granulométricas de los suelos típicos que se presentan en las zonas ya determinadas dentro del valle de Caracas. Se observa que para que un suelo sea calificado en su conjunto como arcilla basta que tenga una proporción relativamente baja de partículas inferiores de 2μ. Ello se debe a que esta proporción es suficiente para comunicar a toda la masa las propiedades de la arcilla.

La determinación de la permeabilidad es un problema delicado ya que influyen mucho las pequeñas variaciones de granulometría y composición química del suelo.En la arcilla la calidad del agua puede cambiar notablemente su estado y producir grandes cambios en la permeabilidad, la cual, en general, crece al crecer la salinidad. La permeabilidad de materiales consolidados homogéneos es menor que la del material correspondiente suelto a causa de la presencia del cemento de unión, el cual no solo reduce el tamaño de los poros, sino que dificulta su conexión, llegando casi a anular la permeabilidad aun manteniendo una porosidad importante. Para materiales granulares relativamente homogéneos y para temperaturas del orden de 20 °C, Silin-Bekchurin de los siguientes valores:

TABLA # 7

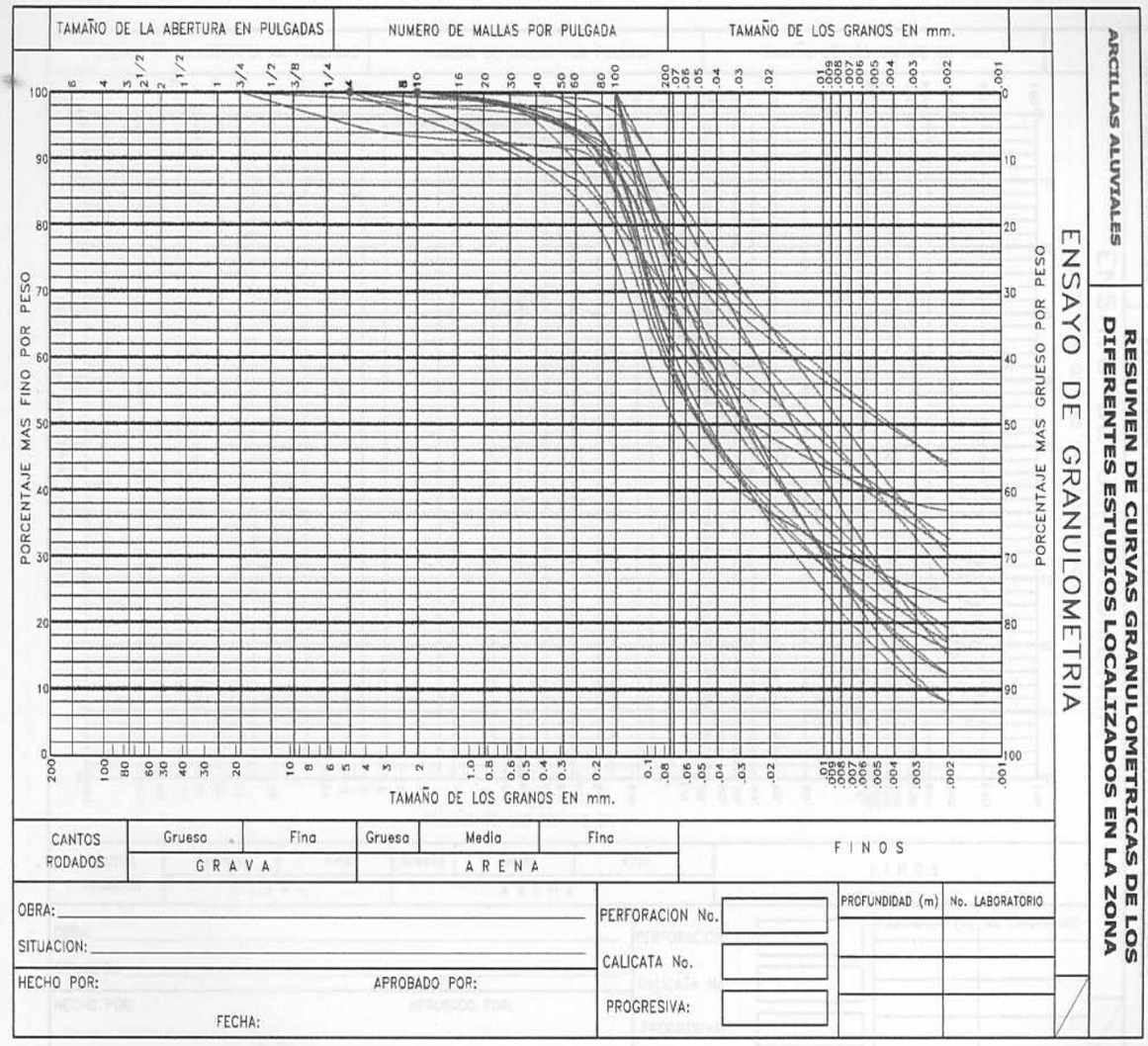
MATERIALES	K en cm/seg	K en m/dias (aproxim.)[25]
Grava limpia	>1	>1000
Arena gruesa limpia	1 a 10^{-2}	1000 a 10
Mezcla de arena	10^{-2} a 5.10^{-3}	10 a 5
Arena fina	5.10^{-3} a 10^{-3}	5 a 1
Arena limosa	2.10^{-4} a 10^{-4}	2 a 0.1
Limo	5.10^{-4} a 10^{-5}	0.5 a 0.001
Arcilla	$<10^{-6}$	<0.001

A continuación se presenta la **tabla # 8** de clasificación de los terrenos según su permeabilidad y las gráficas granulométricas que representan los diferentes tipos de drenaje dependiendo de la tendencia de la curva granulométrica promedio de cada tipo de suelo:

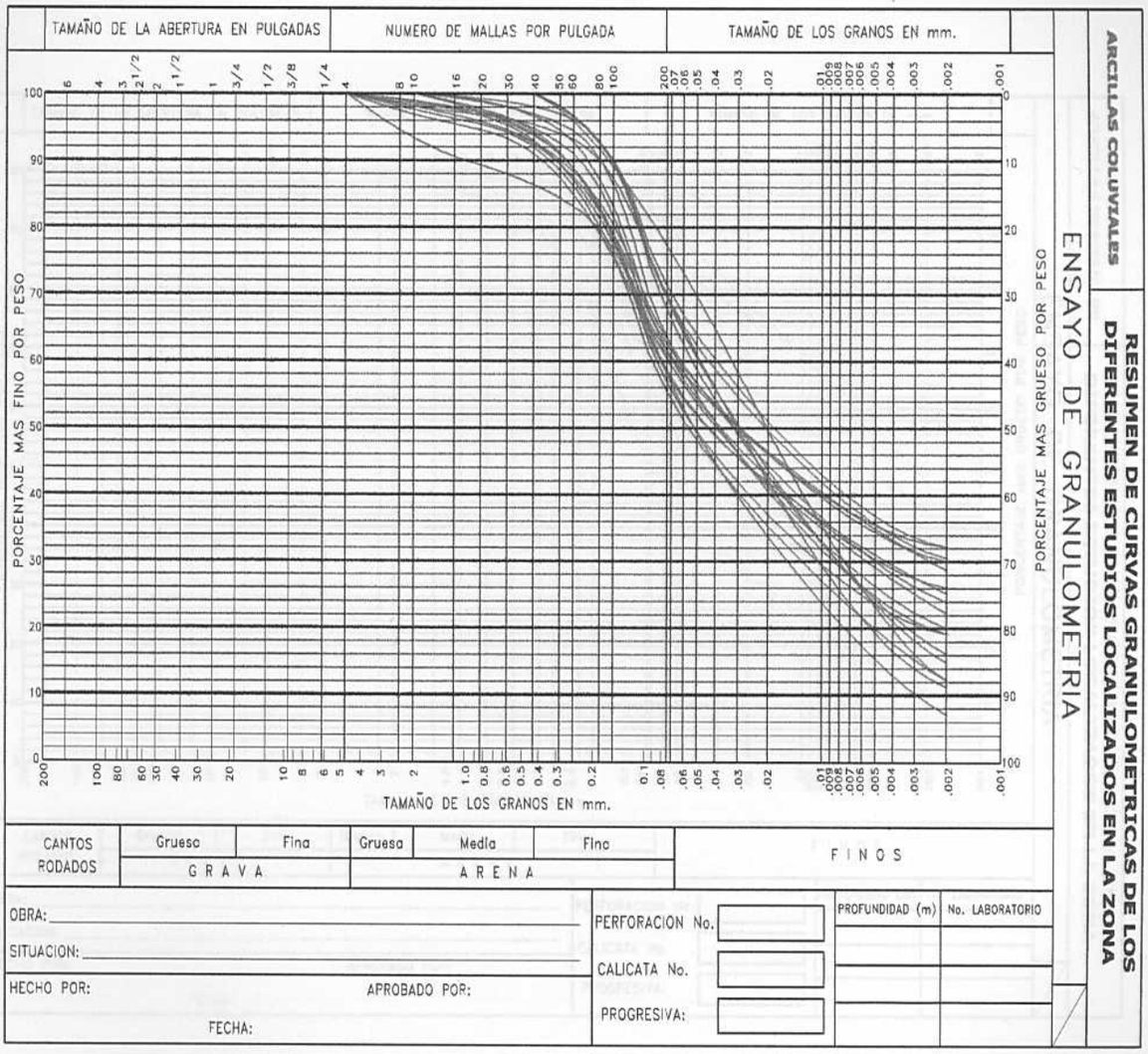
TABLA # 8

Permeabilidad	10^{-6} 10^{-5}	10^{-4} 10^{-3}	10^{-2} 10^{-1}	1 10	10^{2} 10^{3} 10^{4}
Calificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Acuicludo	Acuitardo	Acuífero pobre	Acuifero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta Pizarra Granito	Limo-Arenoso Limo Arcilla-limosa	Arena-fina Arena-limosa Caliza-fracturada	Arena limpia Grava y arena Arena fina	Grava limpia

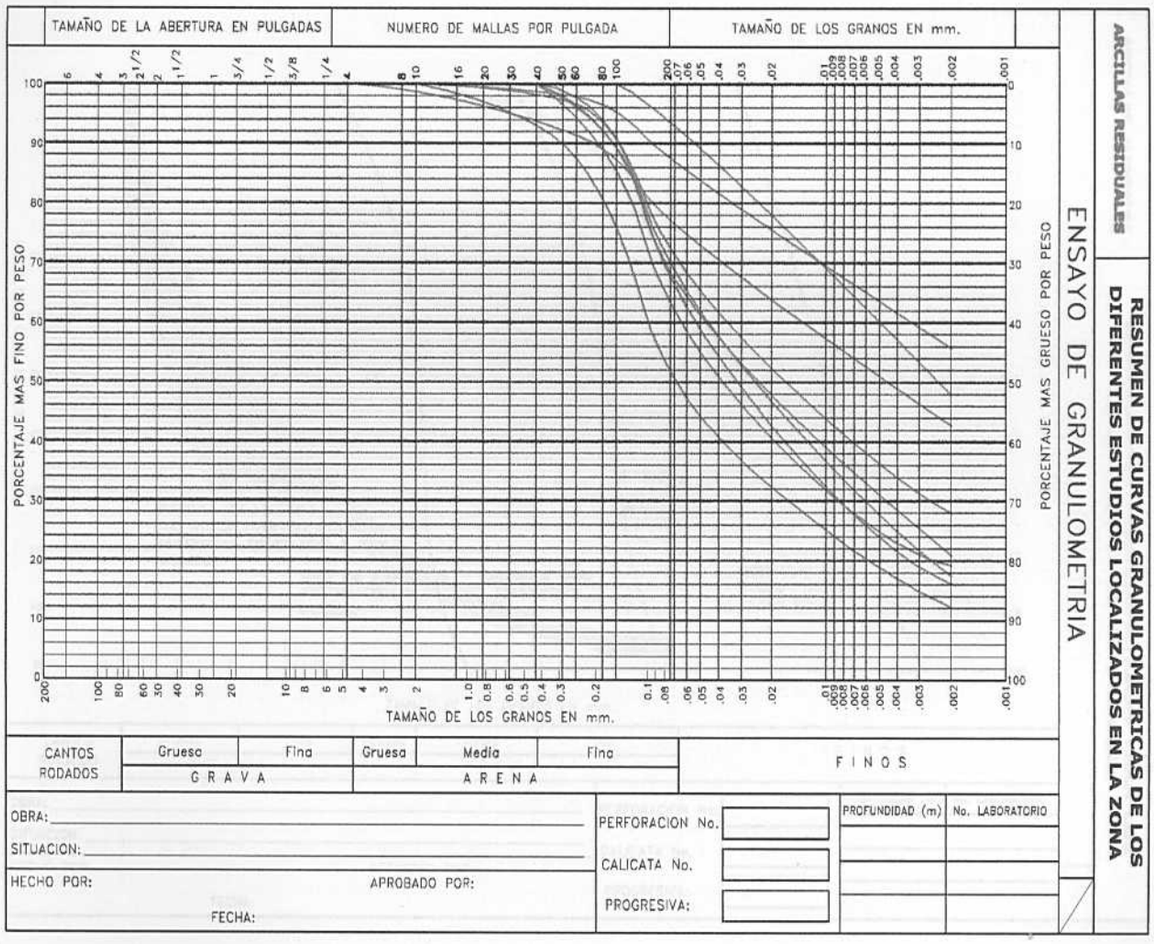
GRAFICA # 8


ARCILLAS ALUVIALES
RESUMEN DE CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS DIFERENTES ESTUDIOS LOCALIZADOS EN LA ZONA
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
CANTOS RODADOS
Grueso
Fino
GRAVA
Grueso
Media
Fino
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO

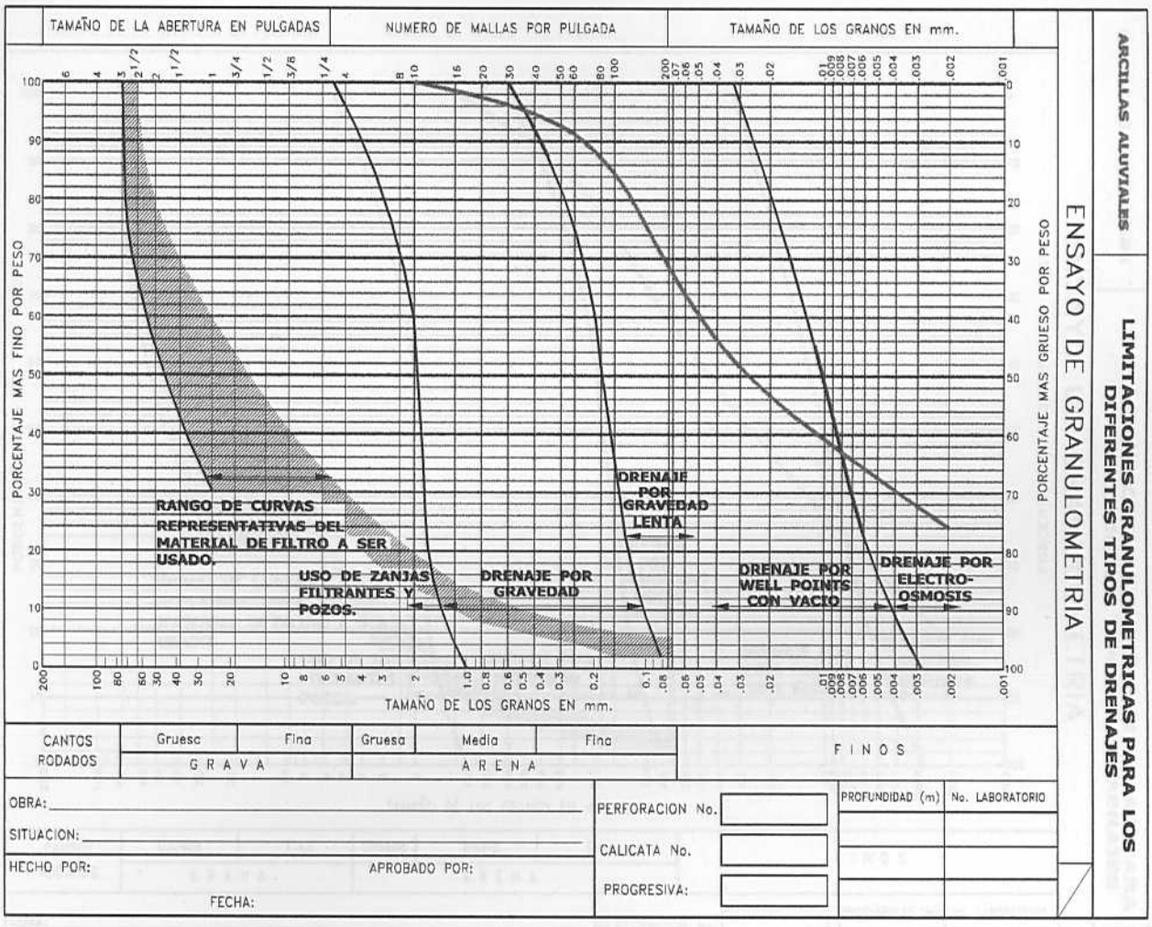
GRAFICA # 9


ARCILLAS COLUVIALES
RESUMEN DE CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS DIFERENTES ESTUDIOS LOCALIZADOS EN LA ZONA
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
CANTOS RODADOS
Grueso
Fino
Gruesa
Media
Fina
GRAVA
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO

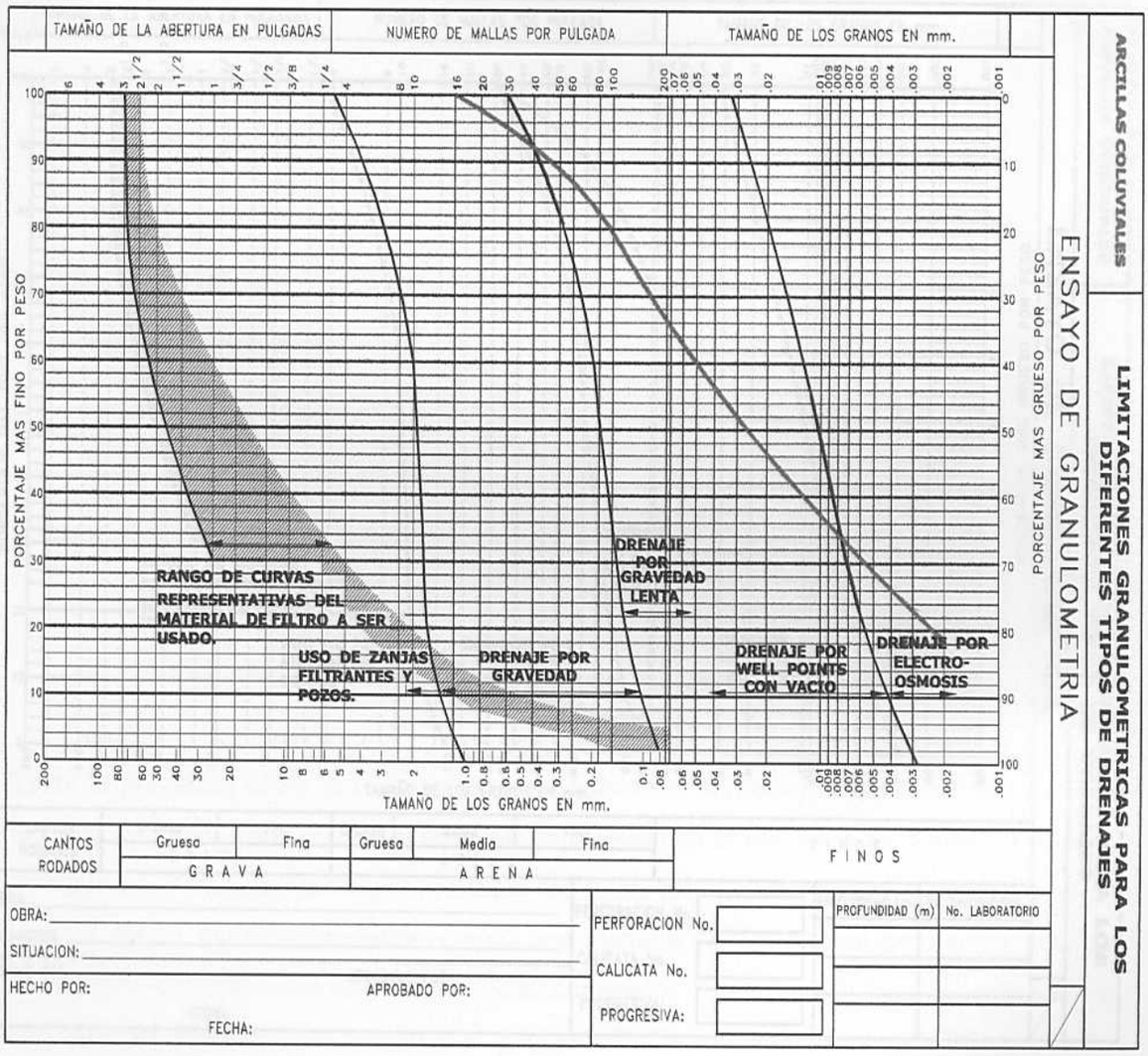
GRAFICA#10


ARCILLAS RESIDUALES
RESUMEN DE CURVAS GRANULOMETRICAS DE LOS DIFERENTES ESTUDIOS LOCALIZADOS EN LA ZONA
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
CANTOS RODADOS
Grueso
Fino
GRAVA
Gruesa
Media
Fina
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO

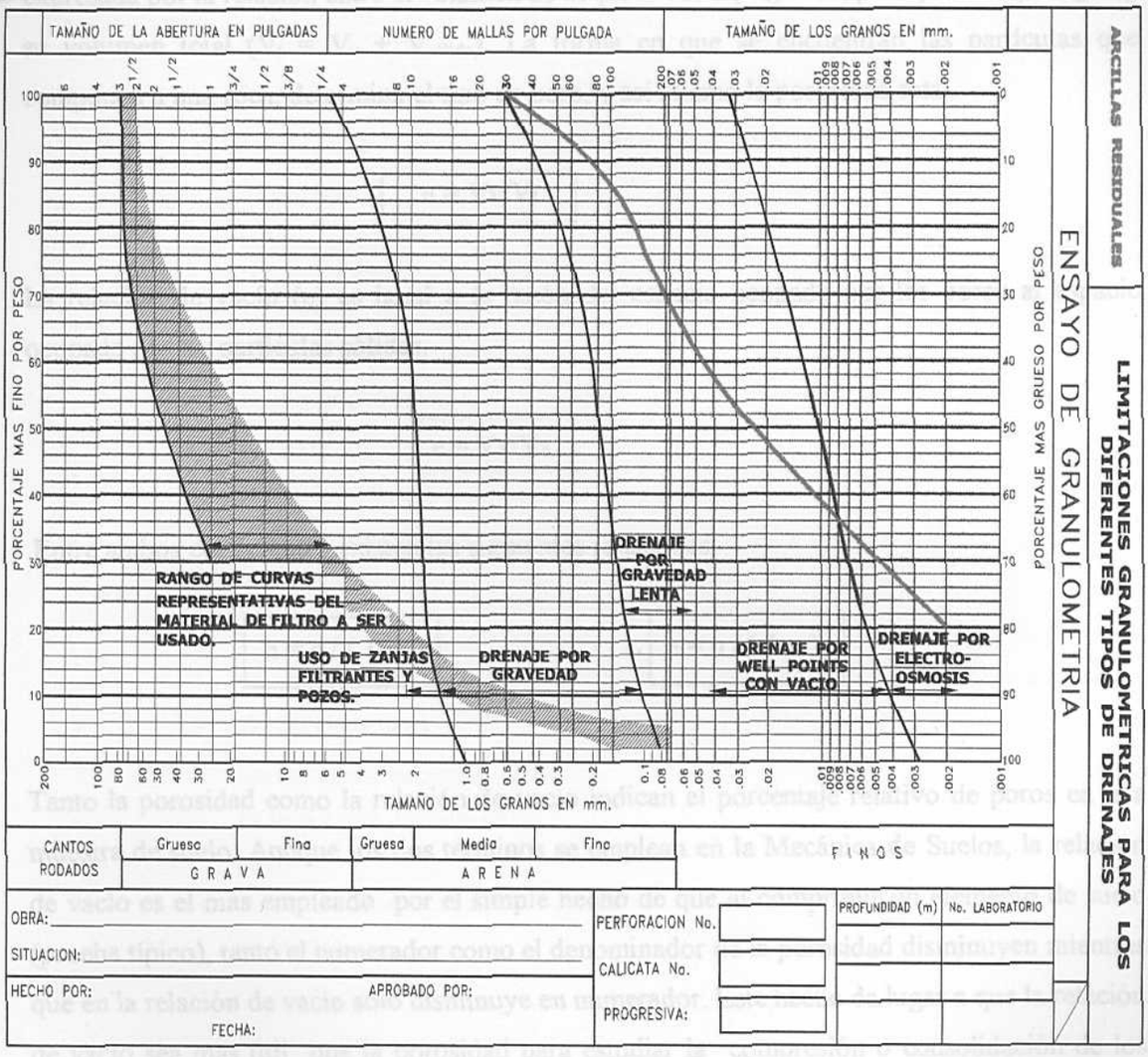
GRAFICA #11


TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
RANGO DE CURVAS REPRESENTATIVAS DEL MATERIAL DE FILTRO A SER USADO.
USO DE ZANJAS FILTRANTES Y POZOS.
DRENAJE POR GRAVEDAD
DRENAJE POR GRAVEDAD LENTA
DRENAJE POR WELL POINTS CON VACIO
DRENAJE POR ELECTRO-OSMOSIS
CANTOS RODADOS
Grueso
Fino
Gruesa
Media
Fino
GRAVA
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
ARCILLAS ALUVIALES
LIMITACIONES GRANULOMETRICAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE DRENAJES

GRAFICA#12


ARCILLAS COLUVIALES
LIMITACIONES GRANULOMETRICAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE DRENAJES
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
RANGO DE CURVAS REPRESENTATIVAS DEL MATERIAL DE FILTRO A SER USADO.
USO DE ZANJAS FILTRANTES Y POZOS.
DRENAJE POR GRAVEDAD
DRENAJE POR GRAVEDAD LENTA
DRENAJE POR WELL POINTS CON VACIO
DRENAJE POR ELECTRO-OSMOSIS
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
CANTOS RODADOS
Gruesa
Fina
GRAVA
Gruesa
Media
Fina
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO

GRAFICA#13


ARCILLAS RESIDUALES
LIMITACIONES GRANULOMETRICAS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE DRENAJES
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
TAMAÑO DE LA ABERTURA EN PULGADAS
NUMERO DE MALLAS POR PULGADA
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
PORCENTAJE MAS FINO POR PESO
PORCENTAJE MAS GRUESO POR PESO
RANGO DE CURVAS REPRESENTATIVAS DEL MATERIAL DE FILTRO A SER USADO.
USO DE ZANJAS FILTRANTES Y POZOS.
DRENAJE POR GRAVEDAD
DRENAJE POR GRAVEDAD LENTA
DRENAJE POR WELL POINTS CON VACIO
DRENAJE POR ELECTRO-OSMOSIS
TAMAÑO DE LOS GRANOS EN mm.
CANTOS RODADOS
Grueso
Fino
Grueso
Media
Fino
GRAVA
ARENA
FINOS
OBRA:
SITUACION:
HECHO POR:
APROBADO POR:
FECHA:
PERFORACION No.
CALICATA No.
PROGRESIVA:
PROFUNDIDAD (m)
No. LABORATORIO

3.1.4 POROSIDAD Y RELACION DE VACIO

Se llama porosidad de un material a la fracción de su volumen ocupado por los poros, tanto si estos están llenos de agua como si están llenos de aire o de una mezcla de ambos y viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía (V_v) u ocupada por aire y/o agua y su volumen total ($V_t = V_v + V_{sólido}$). La forma en que se encuentran las partículas que componen a una roca, determina el tipo de poro, y así mismo la porosidad total.

$$n = Vv/Vt$$

La relación de vacío (e) es igual a la razón del espacio ocupado por los poros al espacio ocupado por las partículas sólidas.

$$e = Vv/Vs$$

Entre ambos coeficientes existen las siguientes relaciones:

$$n = e / (1+e) \qquad e = n / (1-n)$$

Tanto la porosidad como la relación de vacío indican el porcentaje relativo de poros en una muestra de suelo. Aunque los dos términos se emplean en la Mecánica de Suelos, la relación de vacío es el mas empleado por el simple hecho de que al comprimir un elemento de suelo (prueba típico), tanto el numerador como el denominador de la porosidad disminuyen mientras que en la relación de vacío solo disminuye en numerador. Este hecho da lugar a que la relación de vacío sea mas útil que la porosidad para estudiar la compresión o consolidación de los suelos.

Finalmente agregamos una tabla representativa donde se comparan valores de porosidad y relación de vacío de diferentes tipos de arcillas mas comunes:

TABLA #9

Tipo de suelo	n (%)	e
• Arcilla recien sedimentada	96.8-62	30.3-1.63
• Arcilla muy blanda	70-50	2.33-1
• Arcilla blanda	70-40	2.33-0.67
• Arcilla media	58-33	1.4-0.49
• Arcilla tiesa	56-33	1.27-0.49
• Arcilla muy tiesa	51-30	1.05-0.43
• Arcilla dura	51-15	1.03-0.18
• Arcilla yesífera muy dura	-	-
• Arcilla esquistosa	15-5	0.18-0.05
• Arcilla de muy blanda a blanda, muy orgánica	75-64	3-1.8
• Arcilla de muy blanda a blanda, orgánica	66-50	1.9-1
• Arcilla glaciar blanda	55	1.2
• Arcilla glaciar tiesa	37	0.6
• Arcilla glaciar dura	29	0.4
• Arcilla sobre consolidada de tiesa a dura, fisurada, de Londres	-	-
• Arcilla volcánica del valle de Mexico	91-86	9.8-6

3.1.4 ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS

La actividad de las arcillas la definió Skempton (1953) como la pendiente que representa la recta de la recta, cuyas abscisas corresponden a la fracción granulométrica de arcilla (<2μ) y las ordenadas al índice de plasticidad:

Actividad = IP/fracción de arcilla

Así mismo cuanto mayor es el índice de plasticidad, las propiedades coloidales de la arcilla son más pronunciadas, representando este mismo una medida de su actividad coloidal, que se sabe que reside en la fracción inferior de 2μ. En la siguiente tabla se indican los valores más frecuentes de la actividad de algunos minerales importantes de los suelos:

TABLA #10 Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos

Mineral	Actividad
• Cuarzo	0.0
• Haloysita	0.02-0.07
• Metahaloysita	0.07-0.16
• Calcita	0.18
• Mica (moscovita)	0.23
• Caolinita	0.01-0.41
• Illita	0.23-0.9
• Atapulgita	0.57-1.23
• Montmorillonita (Ca, Mg, K, NH_4)	0.32-3.09
• Montmorillonita (Na, Li)	1.12-11.5

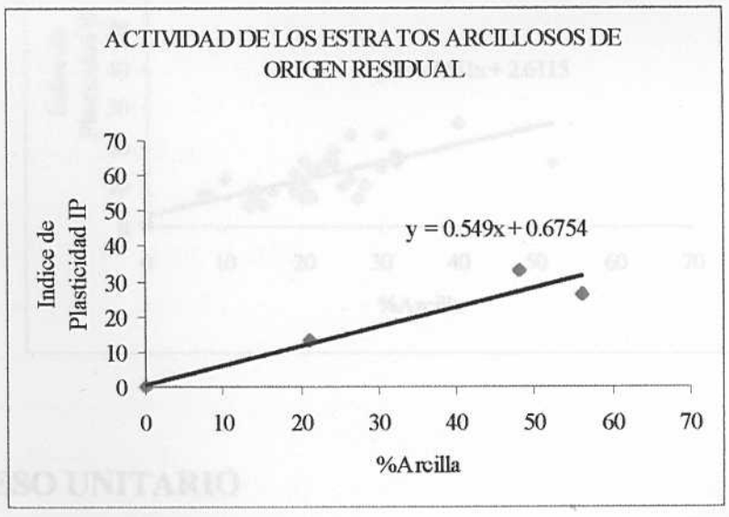
La actividad de las arcillas parece estar también relacionada con su historia geológica del modo que se indica a continuación:

TABLA #11

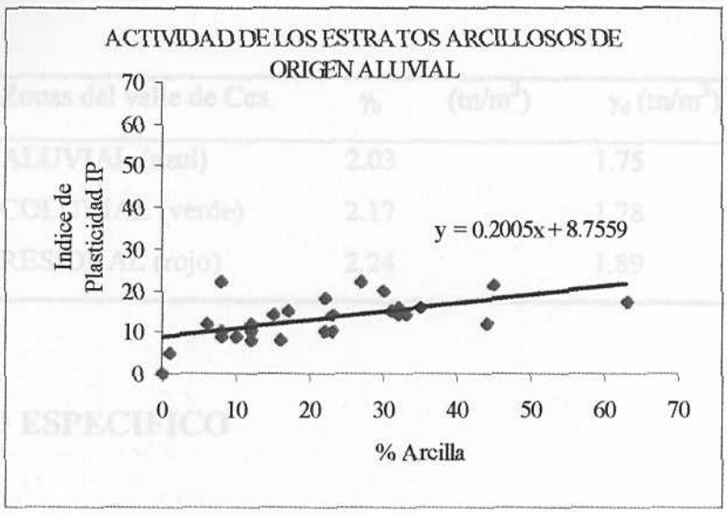
Historia Geológica	Actividad
• Arcilla residuales Caoliníticas.	< 0.40
• Arcillas inorgánicas glaciares y postglaciares marinas que han sido lixiviadas por agua dulce.	Entre 0.40 y 0.75
• Arcillas inorgánicas depositadas en agua dulce.	Entre 0.40 y 0.75
• Arcillas inorgánicas marinas (en su mayoría son illíticas).	Entre 0.75 y 1.25

Las siguientes gráficas representan la actividad obtenida en el estudio de las diferentes zonas del valle de Caracas.

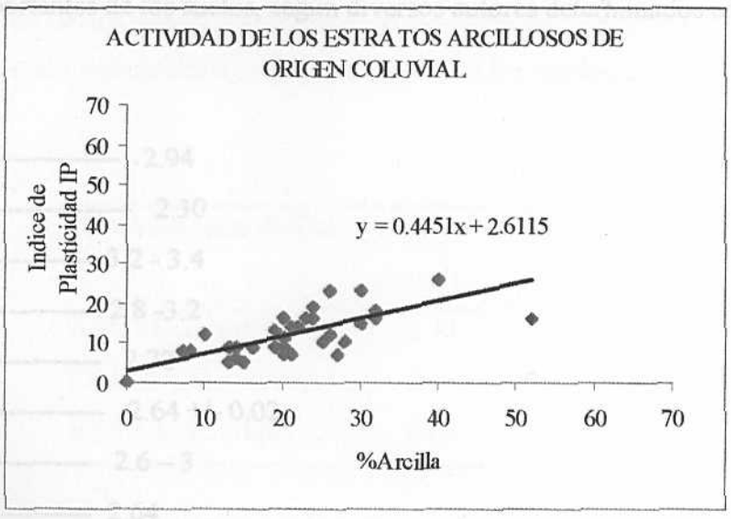
GRAFICO #14



GRAFICA #15



GRAFICA # 16



3.1.5 PESO UNITARIO

En lo que se refiere a los pesos unitarios se obtuvo un promedio de, los pesos unitarios secos (γ_d) y húmedos (γ_h) para cada zona específica del valle de Caracas.

TABLA # 12

Zonas del valle de Ccs.	γ_h	(tn/m^3)	γ_d (tn/m^3)
ALUVIAL (azul)	2.03		1.75
COLUVIAL (verde)	2.17		1.78
RESIDUAL (rojo)	2.24		1.89

3.1.7 PESO ESPECIFICO

Como es ya sabido el peso específico representa la relación del peso del suelo por unidad de volumen (agua). En la **tabla # 13** se representa los pesos específicos relativos de los minerales mas importantes de los suelos, según diversos autores determinados en agua.

TABLA #13

Aragonito ---------- 2.94

Atapulgita ---------- 2.30

Augita ---------- 3.2 - 3.4

Biotita ---------- 2.8 -3.2

Calcita ---------- 2.72

Caolinita ---------- 2.64 +/- 0.02

Clorita ---------- 2.6 – 3

Cuarzo ---------- 2.64

Dolomita ---------- 2.8 - 2.49

Haloysita ---------- 2.95

Hematites ---------- 5.2 - 5.3

Hematites hidratadas -------- 4.3

Hornablenda ---------- 3.2 –3.5

Illita ---------- 2.6 – 2.86

Limonita ---------- 3.6 – 4

Magnetita ---------- 4.97 – 5.18

Montmorillolita --------- 2.65 – 2.84

Moscovita ---------- 2.7 – 3.1

Ortosa ---------- 2.5 – 2.62

Pirofilita ---------- 2.84

Serpentina ---------- 2.1 – 2.7

Talco ---------- 2.7 – 2.8

Turba ---------- 1.1 – 2.7

Vermiculita (K) ---------- 2.8

Vermiculita (Na) ---------- 3.05

Yeso ---------- 2.31 – 2.33

En esta investigación de los diferentes estudios de las zonas del valle de Caracas se obtuvo como valores promedios representativos de peso específico los siguientes:

TABLA # 14

Zonas del valle de Ccs.	Gs (tn/m^3)
ALUVIAL (azul)	2.73
COLUVIAL (verde)	2.6
RESIDUAL (rojo)	2.68

4. PROPIEDADES DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN

Significado práctico de los ensayos

Los ensayos de propiedades índices se utilizan para la clasificación de los suelos y la evaluación del comportamiento del mismo bajo las condiciones de campo. Por ejemplo, la

capacidad de soporte de un suelo o resistencia al desplazamiento depende de la cohesión y de la estabilidad interna que simultáneamente están afectadas por el contenido de humedad y el tamaño y distribución de las partículas en el suelo.

En un suelo fino (arcillas) la cohesión se incrementa con la capacidad de absorción de humedad, pero es muy baja o no existe en los suelos donde hay una gran proporción de limos y arenas. La resistencia cohesiva de los suelos es medida en términos de la resistencia al corte y es determinada con el ensayo de corte transversal o con el ensayo de compresión sin confinar. La mayor resistencia al corte se obtiene cuando el contenido está por debajo del límite de retracción y decrece a lo mínimo en la medida en que el contenido de humedad se aproxima al límite líquido. La capacidad de soporte está en función de la resistencia al corte en suelos cohesivos.

Los parámetros de resistencia al corte y deformación constituyen valores de suma importancia en el cálculo de la capacidad admisible de carga, asentamientos y predimensionado de fundaciones.

4.1 PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE REPRESENTATIVOS DE LOS ESTRATOS ARCILLOSOS DE LAS DIFERENTES ZONAS EN ESTUDIO Y RESUMEN DE ENSAYOS ESPECIALES

La resistencia al corte de los diferentes estratos arcillosos se analizará en base al resumen (de ensayos especiales que se muestran en los anexos) de los valores obtenidos de los siguientes ensayos a muestras sin perturbar y aquellos deducidos mediante el uso de las correlaciones existentes :

- Resistencia a la penetración (ensayo SPT) en los estratos arcillosos de las diferentes zonas en estudio.

- Ensayo de compresión sin confinar.
- Ensayo de compresión triaxial rápido (UU).
- Ensayo de resistencia al corte al límite cedente (corte directo en anillo).

En el **anexo #2** se encuentra la tabla resumen de los ensayos especiales realizados sobre muestras sin perturbar provenientes de las zonas en estudio, además se realizó otro resumen de ensayos especiales pero valores provenientes de la firma Ingenieros de Suelo S.A, **anexo #3.**

4.2 ENSAYO DE COMPRESION SIN CONFINAR

El ensayo de compresión simple en arcillas relativamente impermeables se efectúa cargando con bastante rapidez, resultando un ensayo sin drenar sin consolidar si dicha arcilla está saturada.

El ensayo de compresión sin confinar (qu) es usado para determinar la resistencia desarrollada a la falla (Su), siendo:

$$Su = qu / 2.$$

En este ensayo la muestra se somete a una velocidad de deformación constante suficiente para producir la falla completa aproximadamente en cinco minutos.

4.2.1 RESISTENCIA AL CORTE AL LIMITE CEDENTE

Ensayo de corte directo en anillo

Una vez aceptada la definición de que la cohesión es independiente al esfuerzo normal y que depende exclusivamente de la tracción molecular entre las partículas de la masa de suelo y de las sobrecargas actuantes a lo largo de la historia de la formación de dichos suelos, pasamos a

explicar y definir la resistencia al corte al límite cedente, obtenida del ensayo de doble corte en anillo.

El ensayo consiste en fallar una muestra sin perturbar en corte doble, recuperada en anillos cilíndricos y logrando la falla mediante la aplicación de incrementos de carga controlada.

Las variaciones que intervienen en el ensayo son: tiempo, esfuerzo cortante y deformación, de forma de obtener el valor de Sc (límite cedente). Se elabora un primer gráfico de deformación vs. tiempo para cada incremento de carga, debiéndose efectuar un mínimo de seis (6) a ocho (8) incrementos de carga. Se elabora un segundo gráfico de esfuerzo cortante vs. deformación para los últimos siete (7) minutos de cada incremento de carga garantizándose de obtener por lo menos dos (2) puntos en el rango de deformación plástica. Trazando una recta por los puntos en deformación elástica, otra por los puntos en deformación plástica y prolongando las rectas hasta su intersección, en dicha intersección se representará el punto cuyos valores serán los respectivos al límite cedente (yield value).

Comparaciones de miles de ensayos de laboratorio realizados indican que una equivalencia aproximada de la resistencia a la falla transversal (Sc = límite cedente) se puede obtener en suelos cohesivos plásticos blandos, dividiendo la resistencia a la falla desarrollada en la compresión sin confinar entre cuatro (4):

$$\boxed{Su/4 = Sc}$$

Para un alto contenido de humedad, un bajo peso seco y alta sensibilidad de una arcilla es posible obtener para la relación Su/Sc valores tan bajos como dos (2). En suelos arcillosos semigranulares altamente consolidados la relación Su/Sc puede ser tan alta o mayor a seis (6). Los resultados de estos ensayos son utilizados en cálculos de fundaciones y para la evaluación de la capacidad de soporte de los suelos al límite cedente.

4.2.2 EL ENSAYO NORMAL DE PENETRACIÓN Y CORRELACIONES CON LA COMPRESIÓN SIN CONFINAR

A continuación se muestra una tabla representativa de las correlaciones entre la resistencia a la penetración estándar y la resistencia de compresión simple de la arcilla. La prueba de penetración estándar constituye un método muy valioso para la exploración del terreno. Sin embargo, solamente debe utilizarse a título indicativo ya que existen muchas razones por las cuales los resultados son solo aproximados.

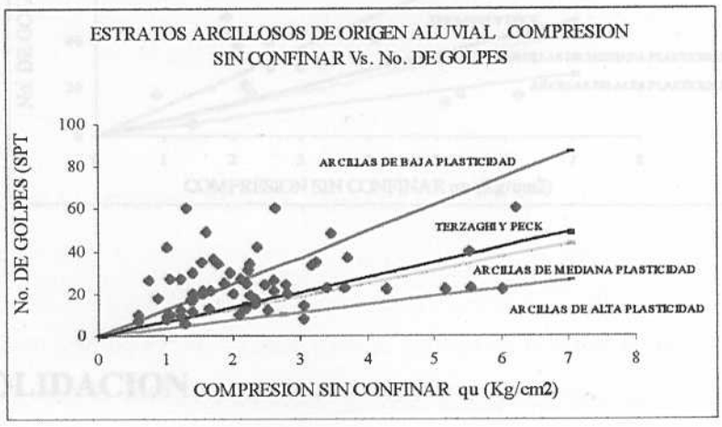
TABLA # 15 Prueba de penetración estándar (T.William Lambe, Mecánica de suelos, p 91)

Resistencia de la arcilla		
Resistencia a la penetración N (golpes/pies)	**Resistencia a compresión sin confinar qu (kg/cm^2)**	**Consistencia**
<2	<0.25	Muy blanda
2-4	0.25-0.50	Blanda
4-8	0.5-1	Media
8-15	1-2	Semidura
15-30	2-4	Dura
>30	>4	Rígida

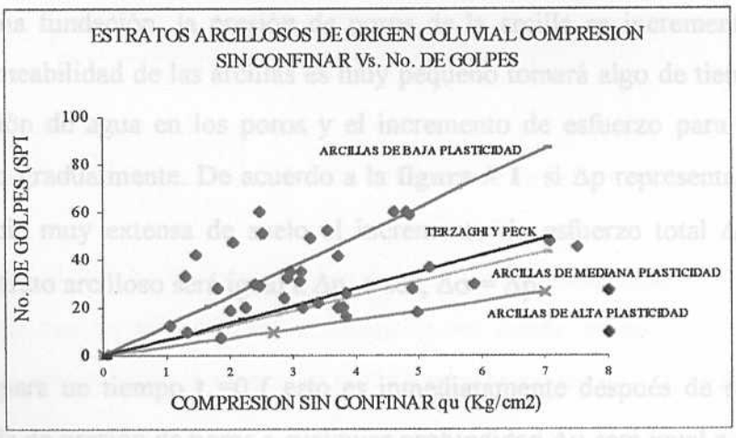
De la información obtenida en el estudio de los diferentes suelos arcillosos se presentan las siguientes gráficas que representan la relación entre la resistencia a la penetración N (SPT) vs. la compresión sin confinar qu:

Resistencia a la penetración vs Compresión sin confinar

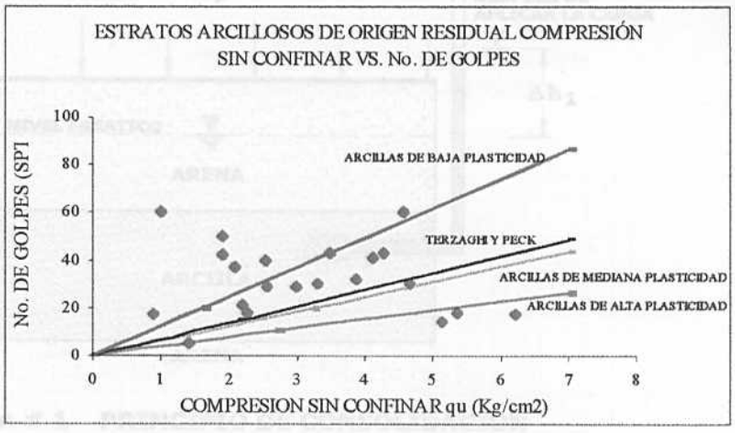
GRAFICA # 17



GRAFICA# 18



GRAFICA # 19



4.3 CONSOLIDACION

Cuando un esfuerzo se incrementa sobre un estrato arcilloso saturado, por ejemplo durante la construcción de una fundación, la presión de poros de la arcilla se incrementará. Como el coeficiente de permeabilidad de las arcillas es muy pequeño tomará algo de tiempo en disipar el exceso de presión de agua en los poros y el incremento de esfuerzo para transferirlo al esqueleto del suelo gradualmente. De acuerdo a la **figura # 1** si Δp representa la sobrecarga sobre una superficie muy extensa de suelo el incremento de esfuerzo total $\Delta\sigma$ a cualquier profundidad del estrato arcilloso será igual a Δp, o sea, $\Delta\sigma = \Delta p$.

Simultáneamente para un tiempo t =0 (esto es inmediatamente después de ser aplicado el esfuerzo), el excede de presión de poros a cualquier profundidad $\Delta\mu$ será igual a Δp, o sea :

$$\boxed{\Delta\mu = \Delta h_i * \gamma_w = \Delta p} \qquad t = 0$$

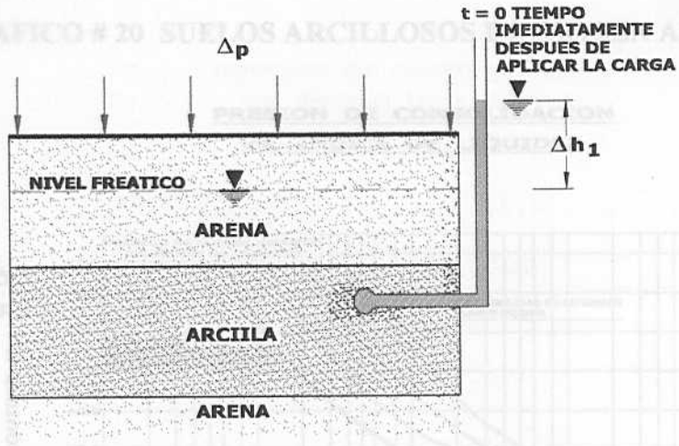


FIGURA # 1 PRINCIPIO DE CONSOLIDACION

Teóricamente a un tiempo $t = \infty$, cuando todo el exceso de presión de poros en el estrato arcilloso es disipado como resultado de haberlo drenado a los estratos de arena adyacentes $\Delta\mu = 0$. Esto quiere decir que el incremento de esfuerzo efectivo en el estrato arcilloso resulta :

$$\boxed{\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta\mu = \Delta p - 0 = \Delta p}$$

Este incremento gradual en el esfuerzo efectivo en los estratos arcillosos causara asentamientos graduales a lo largo de un período de tiempo y se refiere a la consolidación.

A objeto de facilitar el uso de las propiedades índices de compresibilidad de los diferentes suelos arcillosos se anexan los gráficos y correlaciones donde se representan los valores obtenidos de los siguientes ensayos especiales realizados a muestras sin perturbar:

- Correlación entre índice de liquidez vs carga de preconsolidación.
- Correlación entre %W vs. Cc/(1+eo) .
- Indices de compresibilidad obtenidos de las ecuaciones de Skempton y Terzaghi, considerando las arcillas como suelo normalmente consolidados

GRAFICO # 20 SUELOS ARCILLOSOS DE ORIGEN ALUVIAL

PRESION DE CONSOLIDACION

VS. INDICE DE LIQUIDEZ

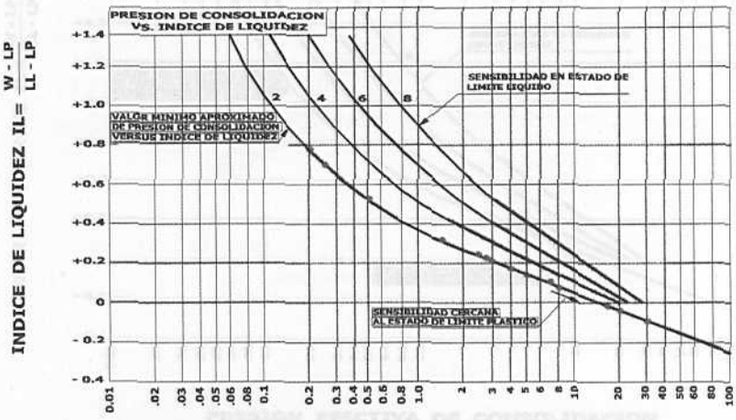


GRAFICO # 21 SUELOS ARCILLOSOS DE ORIGEN COLUVIAL

PRESION DE CONSOLIDACION

VS. INDICE DE LIQUIDEZ

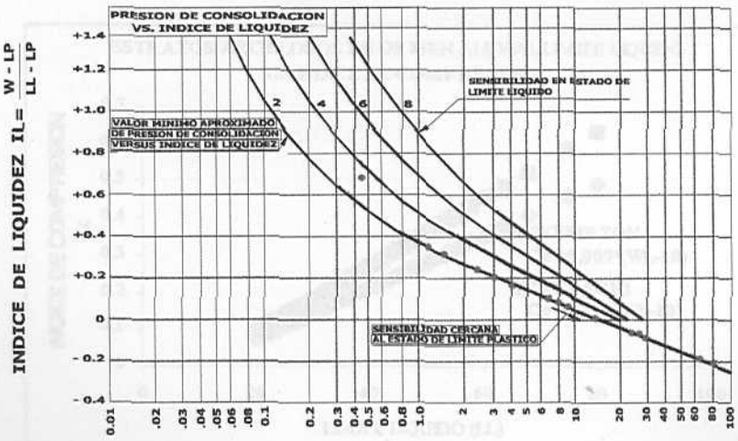
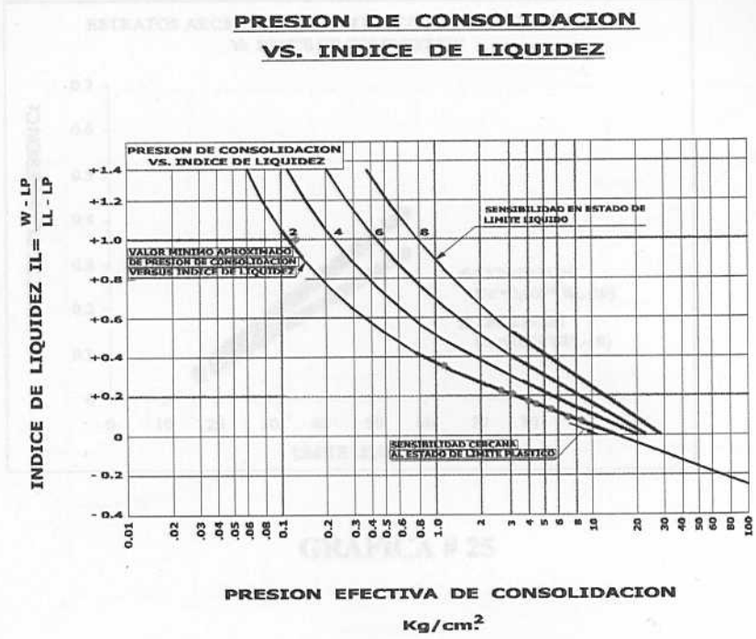
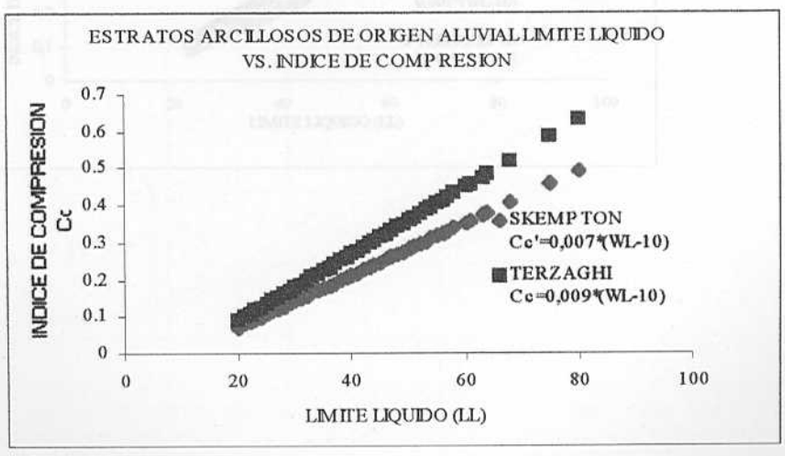


GRAFICO # 22 SUELOS ARCILLOSOS DE ORIGEN RESIDUAL

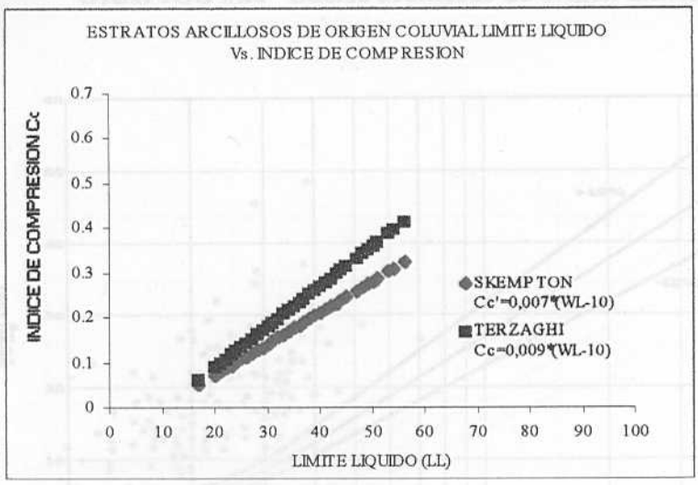


Indices de compresibilidad obtenidos de las ecuaciones de Skempton y Terzaghi

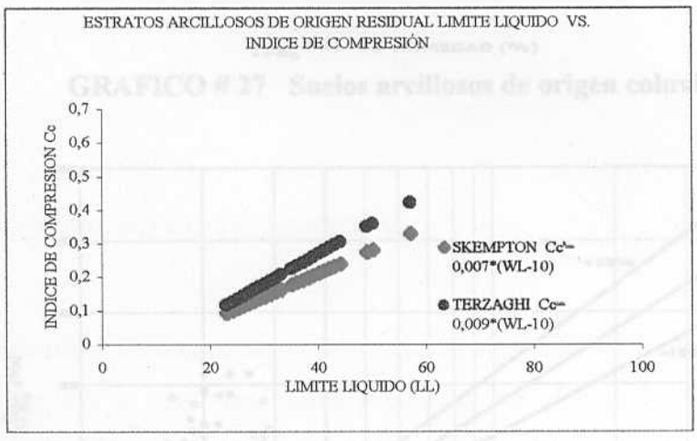
GRAFICA # 23



GRAFICA #24

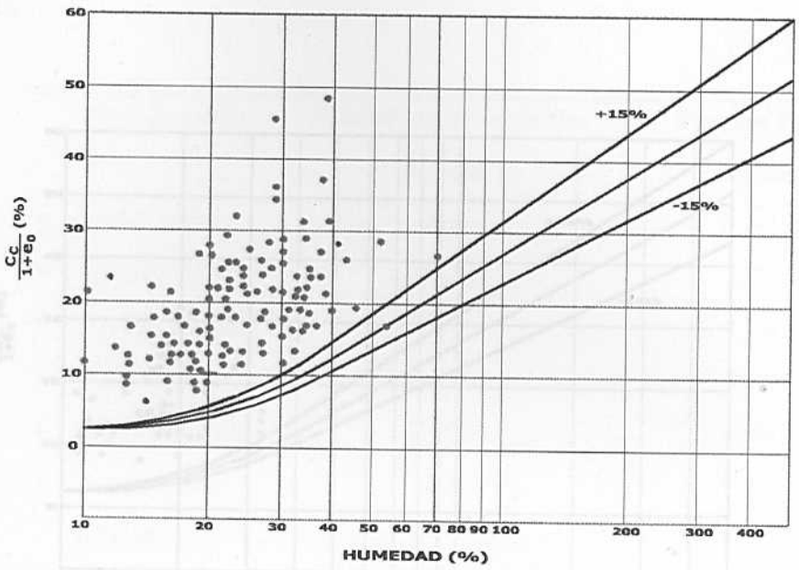


GRAFICA # 25



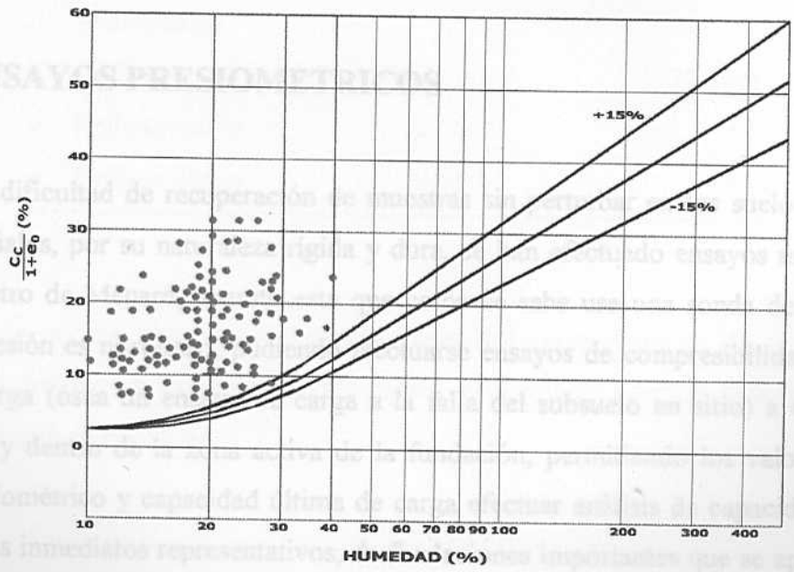
Correlaciones entre %W vs Cc/(1+eo) de los diferentes suelos en estudio

GRAFICO #26 Suelos arcillosos de origen aluvial



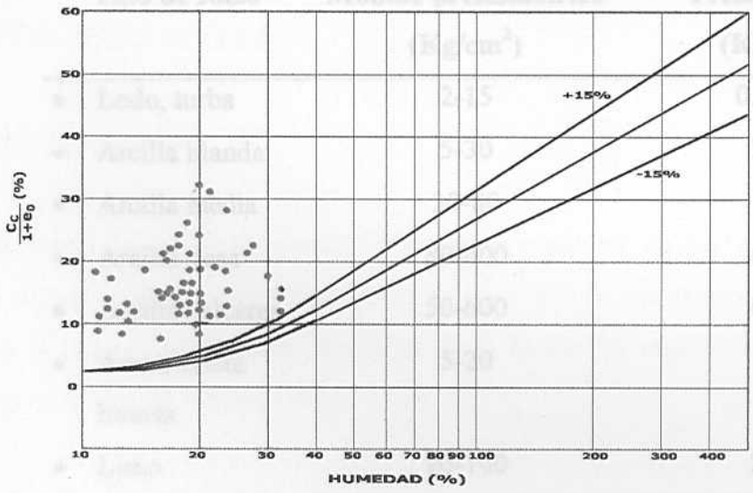
$\frac{C_c}{1+e_0}$ (%) Vs HUMEDAD (%)

GRAFICO # 27 Suelos arcillosos de origen coluvial



$\frac{C_c}{1+e_0}$ (%) Vs HUMEDAD (%)

GRAFICA # 28 Suelos arcillosos de origen residual



$\frac{C_c}{1+e_0}$ (%) vs. HUMEDAD (%)

4.4 ENSAYOS PRESIOMETRICOS

Debido a la dificultad de recuperación de muestras sin perturbar en los suelos arcillosos de origen coluviales, por su naturaleza rígida y dura, se han efectuado ensayos mediante el uso del presiómetro de Menard, aparato este que como se sabe usa una sonda deformable cuya fuente de presión es nitrógeno, pudiendo efectuarse ensayos de compresibilidad y capacidad última de carga (ósea un ensayo de carga a la falla del subsuelo en sitio) a cada metro de profundidad y dentro de la zona activa de la fundación, permitiendo los valores obtenidos, módulo presiométrico y capacidad última de carga efectuar análisis de capacidad de carga y asentamientos inmediatos representativos, de fundaciones importantes que se apoyen en estos

tipos de suelos. A continuación se anexan los valores de presión límite y módulos presiométricos de diferentes tipos de suelos.

TABLA # 16

Tipo de suelo	Módulo presiométrico (Kg/cm^2)	Presión límite (Kg/cm^2)
• Lodo, turba	2-15	0.2-1.5
• Arcilla blanda	5-30	0.5-3
• Arcilla media	30-80	3-8
• Arcilla tiesa	80-400	6-20
• Arcilla calcárea	50-600	6-40
• Arena suelta limosa	5-20	1-5
• Limo	20-100	2-15
• Arena y grava	80-400	12-50
• Arena sedimentaria	75-400	10-50
• Caliza	800-200000	30 mas de100
• Relleno suelto	5-50	0.5-3
• Relleno denso	40-150	4-10

Finalmente, se podrán observar los valores obtenidos representativos de presión límite y módulo presiométrico (de aquellos estudios donde se efectuaron este tipo de ensayo), en tablas que se incluyen en el **anexo #4**

5.- CRITERIOS DE DISEÑO EN EL CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DE CARGA Y DE ASENTAMIENTO, UTILIZANDO LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE Y DEFORMACION PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE FUNDACIONES CONSIDERANDO LA NATURALEZA DEL MEDIO DE LOS ESTRATOS PORTANTES

5.1.- MEDIO CONTINUO

El estrato portante de una de terminada fundación se considera un medio continuo cuando el espesor del mismo es igual a dos (2) o tres (3) veces el lado de una zapata o grupo de pilotes, o sea, cuando la capacidad admisible de carga de la fundación está controlada por este solo estrato como se indica en la **figura # 2**.

Una vez definidos los parámetros de resistencia al corte representativos a ser usados en la determinación de la capacidad última de carga, esta se calculará siguiendo cualquiera de las ecuaciones estáticas de equilibrio considerando la naturaleza del medio.

a) Suelos puramente cohesivos (suelos arcillosos de origen aluvial y de baja fuerza).

Considerando que estos suelos se comportan como arcillas saturadas normalmente consolidadas se podrá usar cualquiera de la teorías de capacidad admisible de carga para este tipo de suelo.

Resulta representativo usar la resistencia al corte obtenida en ensayos de compresión triaxial UU (sin consolidar sin drenar) y en ausencia de estos la resistencia al corte sin drenar obtenido de ensayos de compresión sin confinar.

$$\boxed{\begin{array}{c}\phi = 0 \\ Cu = (valor)\end{array}}$$

b) **Suelos granulares – cohesivos (suelos arcillosos de origen coluvial y de gran fuerza).** Considerando que estos suelos presentan un contenido de arena variable el cual puede alcanzar hasta 30% y 40%, en el cálculo de la capacidad admisible de fundaciones apoyadas en este tipo de suelo granular -cohesivo se podrá usar cualquiera de las ecuaciones de capacidad admisible de carga que considera este tipo de suelo.

Resulta representativo usar los parámetros de resistencia, determinados para la condición UU en la cámara de compresión triaxial sobre muestras sin perturbar:

ϕ = (valor)
Cu = (valor)

Los análisis de capacidad de carga anteriormente explicados en cada caso se llevan a cabo teniendo en cuenta la profundidad del nivel freático, conociendo el peso unitario de los estratos portantes y de aquellos ubicados por encima del nivel de asiento de la fundación.

A continuación se presentan los casos típicos para fundaciones apoyadas en medio continuo seleccionados entre los distintos estudios revisados.

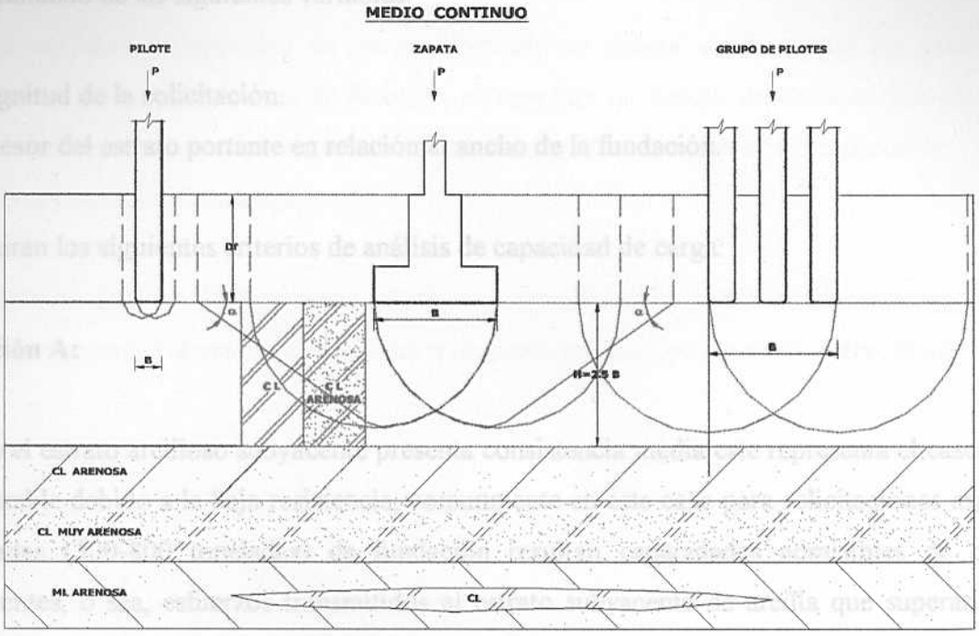


FIGURA N° 2

5.2 MEDIO ESTRATIFICADO

Se ha definido como medio estratificado la condición cuando el espesor del estrato portante es menor de dos (2) a dos y media (2,5) veces el ancho de la fundación, ancho del grupo de pilotes o diámetro de un pilote aislado, ver **figura # 3**. En este caso existen dos condiciones que deben ser analizadas en el cálculo de la capacidad admisible de carga de fundaciones:

a) **Estrato arcilloso de consistencia media:** cuando la consistencia del estrato de arcilla que limita la capacidad admisible de carga presenta un N< 8 golpes/pie y la resistencia a la compresión simple < 10 ton/m^2.

b) **Estrato arcilloso de consistencia rígida:** cuando la consistencia del estrato de arcilla presenta N= 8 a 15 golpes/pie y resistencia a compresión simple < 10-20 ton/m^2.

Y dependiendo de las siguientes variables:

- Magnitud de la solicitación.
- Espesor del estrato portante en relación al ancho de la fundación.

Se seguiran los siguientes criterios de análisis de capacidad de carga:

Condición A:

Cuando el estrato arcilloso subyacente presenta consistencia media este representa el caso más desfavorable debido a la baja resistencia, comunmente en este caso para solicitaciones medias y elevadas (300-800 toneladas) de fundación resultan capacidades admisibles de carga insuficientes, o sea, esfuerzos transmitidos al estrato subyacente de arcilla que superan a la capacidad admisible de carga controlada por el límite cedente del estrato arcilloso.

En fundaciones con solicitaciones medias a bajas; menores de 100-300 toneladas, y en caso de que se transmitan esfuerzos al estrato subyacente arcilloso menores a la capacidad admisible de carga que este desarrolla, se podran usar fundaciones apoyadas en este tipo de estratificación.

Condición B:

Cuando el estrato arcilloso subyacente presenta consistencia rígida por lo general los análisis de capacidad de carga de fundación para solicitaciones bajas resultan adecuados, o sea, la capacidad admisible de carga del estrato subyacente arcilloso es mayor al sfuerzo transmitido a este por la fundación. Solamente en el caso de solicitaciones elevadas (300-800 toneladas) y espesor del estrato portante menor de una y media a dos veces el ancho de la zapata, es cuando se obtiene capacidad admisible de carga controladas por el estrato subyacente arcilloso, es decir, que la capacidad admisible de carga del estrato subyacente arcilloso es insuficiente en relación a los incrementos de esfuerzos transmitidos a éste.

En cada análisis de capacidad de carga efectuado se debera verificar que los esfuerzos impuestos al estrato subyacente arcilloso no desarrollan un estado de deformación plástico debido al esfuerzo cortante impuesto ni un estado de consolidación inadmisible para condición permanente de trabajo.

Estos últimos análisis (deformación plástica y consolidación) son condicionantes en la decisión para aceptar el uso de fundaciones trabajando en este tipo de medio estratificado.

MEDIO ESTRATIFICADO:

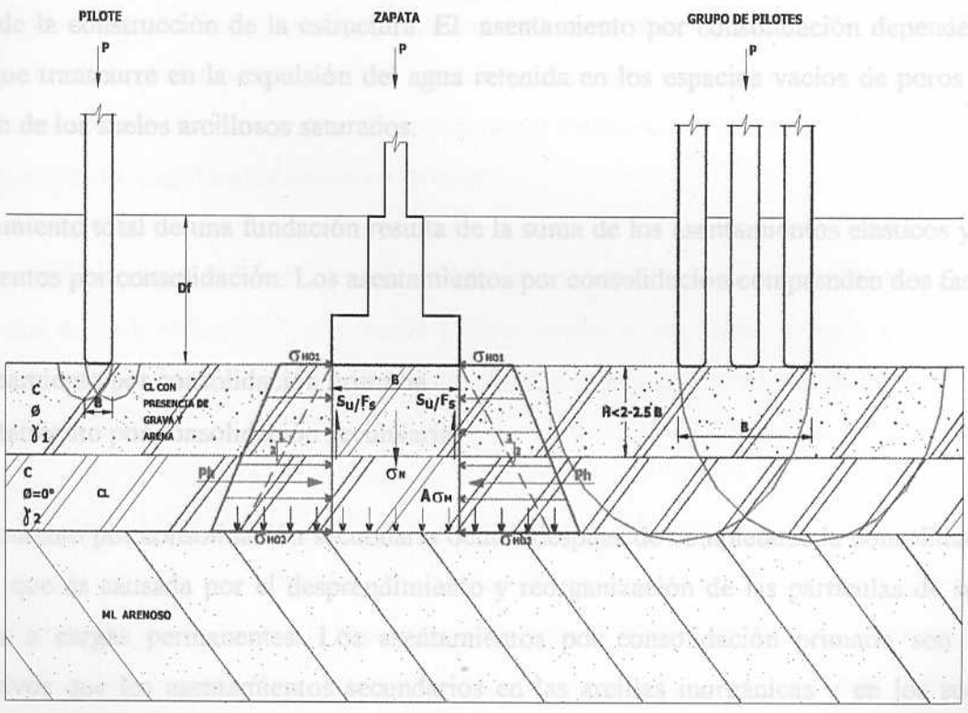


FIGURA N° 3

Diferentes tipos de asentamientos de fundaciones

Los asentamientos de fundaciones sometidas a cargas pueden ser clasificadas de acuerdo a dos grandes tipos:

- Asentamiento inmediato o elástico δ_e
- Asentamiento de consolidación δ_c

Los asentamientos inmediatos de las fundaciones tienen lugar durante o inmediatamente después de la construcción de la estructura. El asentamiento por consolidación depende del tiempo que transcurre en la expulsión del agua retenida en los espacios vacios de poros que provienen de los suelos arcillosos saturados.

El asentamiento total de una fundación resulta de la suma de los asentamientos elásticos y los asentamientos por consolidación. Los asentamientos por consolidación comprenden dos fases:

- Asentamiento por consolidación primaria
- Asentamiento por consolidación secundaria

El asentamiento por consolidación secundaria ocurre despues de completarse la consolidación primaria, que es causada por el desprendimiento y reorganización de las partículas de suelo sometidas a cargas permanentes. Los asentamientos por consolidación primaria son mas significativos que los asentamientos secundarios en las arcillas inorgánicas y en los suelos limosos. Por otra parte en los suelos orgánicos los asentamientos por consolidación secundarios son de mayor importancia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De forma general se observa que de alguna u otra forma los tres tipos de estratos arcillosos detectados en el valle de Caracas, dependiendo de su origen, se han visto afectados por los fenómenos y agentes erosivos explicados en el punto I, en los cuales se verifican cambios de temperatura del valle moderados, considerando que las pendientes elevadas que se presentan al norte en la Cordillera debido a la resistencia de las rocas que conforman ese macizo montañoso son las que dan origen a este tipo de suelos siendo un factor incidente los plegamientos que se encuentran al sur del valle. Por tanto las arcillas aluviales deben su nombre y origen a la forma de transporte y deposición, ya que se consideran haber sido arrastradas a distancias muy largas por medio de cursos de agua activos en las diversas quebradas que afloran en la región, llegando a desembocar en el río Guaire en cuya margen se encuentran estos depósitos sedimentarios, como se puede observar en el plano del valle de Caracas (**anexo # 14**). Es notable que las condiciones climáticas y el agua como disolvente universal juegan un papel significativo en su origen.

Los suelos coluviales se atribuyen su origen debido a su corto transporte quizás constituido solo por una caída a lo largo de una ladera natural donde la gravedad, el agua y el viento tienen una incidencia determinante en lo que se refiere a su proceso erosivo, y la formación de dichas arcillas.

Los suelos residuales los cuales se forman en sitio, se han llamado suelos de transición a estratos rocosos, estos se ven afectados por factores de erosión física, presentando espesores variables dependiendo del grado de meteorización, encontrándose los mayores espesores en zonas llanas y en rocas muy meteorizables, filitas y esquistos micáceos calcáreos característicos de la formación Las Mercedes.

De los resultados de la plasticidad y el contenido de partículas coloidales de los diferentes estratos arcillosos, se ha calculado la actividad de cada uno de ellos, pudiéndose decir en forma aproximada que estos suelos están formados por los siguientes minerales arcillosos:

Aluviales = Caolinita ; actividad = 0.20

Coluvial = Illita ; actividad = 0.44

Residual = Illita ; actividad = 0.56

Esta información igualmente se corrobora del gráfico de plasticidad de Casagrande (**anexo #6**) donde se indica la posición de los minerales arcillosos comparando dicho gráfico con el gráfico resumen de plasticidad de cada suelo estudiado.

Como se deduce de los análisis comparativos entre los perfiles de resistencia a la penetración, (ensayo SPT) y del subsuelo de los estratos arcillosos existentes en las diferentes zonas del Valle de Caracas, se puede concluir:

En general la consistencia de los suelos arcillosos de origen aluvional de poca fuerza, o sea, aquellos detectados en la zona central del valle y cercanías del río Guaire son de media a blanda en profundidades que varían de diez (10) a quince (15) metros, presentando consistencia rígida a mayores profundidades.

En lo que se refiere a sus contenidos de humedad natural (W%) se encuentran en el rango plástico para profundidades de diez (10) a quince (15) metros y ésta decrece hasta valores cercanos al límite plástico para estratos existentes a mayores de quince (15) metros de profundidad, resultando un comportamiento de suelos cohesivos saturados normalmente consolidados hasta profundidades de quince (15) metros aproximadamente, y para profundidades mayores de quince (15) metros se encuentra un pequeño grado de preconsolidación. Estos suelos son los que presentan mayor plasticidad (ver **gráficos # 1,2,3** y **4** de plasticidad del Sistema Unificado de Casagrande de estos suelos) del punto 3.1.1, ya que correlativamente son los que presentan mayor porcentaje de partículas coloidales (partículas menores de 0.002 mm) ver curva granulométrica representativa de estos suelos (ver **grafica # 8**).

En los suelos arcillosos de origen coluvial de gran fuerza, los cuales se detectan a todo lo largo de la zona norte del valle se presentan las siguientes propiedades importantes:

Independientemente de la profundidad presentan consistencia media a rígida, así mismo su contenido de humedad natural se encuentra cercano al límite plástico por exceso o por defecto condición ésta representativa del comportamiento de suelos preconsolidados y en general presentan una plasticidad menor si se comparan en relación a los suelos aluvionales de poca fuerza (ver **gráfico # 5 y 6** de plasticidad de la zona). Este comportamiento de baja plasticidad también puede ser debido al mayor contenido de arena fina que estos presentan y menor contenido de partículas coloidales (ver **gráfico # 9**) de la curva granulométrica correspondiente).

Finalmente los estratos arcillosos existentes en la zona de transición donde se detectan suelos residuales presentan las menores plasticidades (**gráfico # 7**) los cuales llegan a comportarse en muchos casos como arcillas de baja plasticidad. En general presentan consistencia media en los estratos más superficiales aumentando ésta de rígida a dura con la profundidad. El contenido de humedad natural que los caracteriza por lo general es inferior al límite plástico, lo que indica un comportamiento de suelos finos cohesivos preconsolidados. En cuanto a su porcentaje de coloides es comparable con los coluvios (ver **gráfico # 10** de la curva granulométrica correspondiente).

Todas estas correlaciones en cuanto a propiedades índices se han obtenido de toda información disponible investigada con la cual se elaboró las tablas de resumen de dichas propiedades (ver **anexo # 1** para cada zona en estudio).

En cuanto a la permeabilidad de estos suelos, teniendo en cuenta su granulometría se considera que las arcillas aluviales y las arcillas residuales son las que presentan menores

permeabilidades con valores promedios de coeficiente de permeabilidad de 10^{-5} a 10^{-6} cm/seg considerandose suelos pocos permeables a impermeables o de drenaje pobre. Siendo las arcillas coluviales las que presentan mayores coeficientes de de permeabilidad 10^{-4} y 10^{-5} cm/seg catalogándose estos pocos permeables de drenaje lento por gravedad. En los **gráficos # 11, 12 y 13** se reportan las curvas granulométricas promedios de cada tipo de suelo respectivamente, se indican los límites granulométricos que permiten un determinado tipo de drenaje

En relación a los valores de resistencia al corte, se realizó una tabla resumen donde se reportan los valores de ensayos a muestras sin perturbar representativos (ver **anexo # 2**) de los suelos de las zonas investigadas: aluvial, coluvial y residual. Estos parámetros de resistencia al corte sin drenar son los comunmente usados en los análisis de capacidad admisible de carga de fundaciones tanto en medio continuo como en medio estratificado, debiendose tener muy en cuenta que bajo ninguna circunstancia se podrán permitir incrementos de esfuerzos en estos estratos, superiores a la resistencia al corte del límite cedente de forma de evitar el desarrollo de deformaciones plásticas inducidas por exceso de esfuerzos cortantes impuestos a los mismos.

" Se quiere hacer énfasis y dejar claramente establecido que los valores obtenidos del ensayo normal de penetración (SPT) bajo ninguna circunstancia sustituyen a los actuales ensayos de resistencia al corte de laboratorio. Las correlaciones existentes entre consistencia de los suelos y resistencia al corte (qu) pueden ser usadas solamente en ausencia de ensayos de resistencia al corte de laboratorio. Estas correlaciones entre consistencia de los suelos y resistencia al corte se reportan en la **tabla # 15**.

La precisión de la consistencia del suelo esta íntimamente ligada a la experiencia y entrenamiento del personal de perforación y de otras variables personales. El menor valor de resistencia al corte para una determinada consistencia representa un valor conservador.

Comúnmente los valores de resistencia a la penetración presentan una banda de variaciones de 5 a 8 golpes, para cualquier valor de resistencia al corte en suelos cohesivos de consistencia

media. Este rango aumenta en suelos cohesivos de consistencia rígida y dura en una banda de rango aproximadamente de 20 golpes." **Manual de Michigan (p. 41 y 68)**.

En cuanto a las propiedades de compresibilidad de los estratos arcillosos se analizaron valores de indice de compresión y de cargas de preconsolidación en ensayos a muestras representativas sin perturbar, además se han elaborado los gráficos correspondientes a las correlaciones de Skempton y Terzaghi para arcillas normalmente consolidadas de donde se pueden obtener los valores de indice de compresión (Cc) en función del límite líquido (LL) (ver **gráfica # 23, 24, 25**).

Finalmente se han estimado las cargas de preconsolidación deducidas de la correlación del indice de liquidez para arcillas de baja sensibilidad, la cual se encuentra aproximadamente en un rango de valores de dos (2) a tres (3) siendo estos representativos de la sensibilidad de dichos suelos (ver **gráficas # 20,21,22**).

La mayoría de las soluciones de fundaciones apoyadas en estratos arcillosos en medios contínuos o para la condición de estratos arcillosos subyacente controlando la capacidad admisible de fundación, ha prevalecido el criterio de no admitir incrementos de esfuerzos (Δp) en dichos estratos superiores a la resistencia al corte del límite cedente ya que está demostrado en numerosos casos reales que para relaciones de $\Delta p / Sc > 1$ se desarrollan deformaciones plásticas lentas bajo carga mantenida debido a esfuerzos cortantes inducidos en exceso, los cuales comúnmente son malinterpretados y confundidos como asentamientos debido a consolidación.

Lo aquí indicado ha sido corroborado por numerosos investigadores y a título informativo se anexa la **tabla 5.3** del libro de Simons, donde se reporta el asentamiento experimentado de diferentes estructuras para 20 años de observación, en función de los valores de $\Delta p / P_c' - P_o'$ y $\Delta p / Su$, además se transcriben los comentarios del autor:

Estructura	Asentamiento a 20 años (mm)	$\Delta p / P_c' - P_o'$	$\Delta p / Su$
Skoger Sparebank	40	37%	0.6
Scheitliesgate 1	200	58%	0.9
Skistadbygget	230	72%	1.0
Konneraudgate 12	250	74%	1.6
Turnhallen Light	360	68%	1.8
Konneraudgate 16	400	80%	1.8
Danvikgate 3	460	80%	1.8
Turnhallen Heavy	600	123%	3.5

Para la presente fecha los estudios de laboratorio solamente no permiten efectuar predicciones precisas de asentamientos.

Aparentemente existe un estado de esfuerzo por debajo del cual se desarrollan asentamientos tolerables y al exceder el mismo se desarrollan grandes asentamientos potencialmente peligrosos para la estructura.

De lo anteriormente afirmado por el profesor Simons y del resultado de las investigaciones del profesor William Housel se recomienda en el análisis de capacidad de carga de fundaciones apoyadas en dichos estratos mantener los esfuerzos transmitidos a estos, menores que la resistencia al corte al límite cedente Sc, o sea que la relación $\Delta p / Sc < 1$ de forma de evitar que el sistema de infraestructura desarrolle un estado de deformación plástica.

En relación a los asentamientos secundarios el autor dice: "Generalmente se considera como el asentamiento que se desarrolla por los sucesivos cambios de esfuerzos efectivos. Después de muchos años de estudios de consolidación secundaria no hay realmente un método disponible para el calculo de las magnitudes y rangos de dicho asentamiento para lo cual es necesario que los parámetros del suelo sean obtenidos de forma simple, también se suman estos varios factores, por ejemplo: el rango principal de esfuerzo efectivo, la relación de incremento de carga, temperatura y el tiempo de efecto, que se saben que afectan significativamente en los asentamientos secundarios. Por ésta razón si en la práctica se requiere estimar la consolidación secundaria, ello se basa en procesos empíricos."

BIBLIOGRAFIA

- BROWN Haward E;
  MONNETT Victor E:
  The principles of Phisical Geology,
  Copyright by Ginn and Company, Boston, USA 1950, 432p

- CUSTODIO Emilio;
  LLAMAS Manuel Ramon:
  Hidrologia subterranea,
  Ediciones Omega,SA, Barcelona, 1976, 1157p.

- DAS Brajas M:
  Principles of Fundation Engineering,
  Manuscript editor and production Stacey C, Sauyer, San Fransisco,1984,595p.

- DUNBAR Carl O:
  Historical geology,
  Copyright by Jhon Wiley & sons,Inc., USA 1949, 567p.

- GONZALES DE JUANA Clemente;
  ITURRALDE DE AROZENA, Juana Ma.;
  PICARD CADILLAT Xavier:
  Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas,
  Ediciones Fonves, primera edición, Caracas, 1980,Tomo I 143p, TomoII 311p.

- HOWELL, J.V.:
  Glossary of geology and related sciences,
  Second edition published by the American Geologycal Institute, Washington,D.C.1960. 299p.

- JIMENEZ SALAS, J.A;
  DE JUSTO ALPAÑES, J.L:
  Geotecnia y Cimiento I
  Editorial Rueda, 2da Edición Madrid (España),1975, 454p.

- LAMBE T Willian;
  WHITMAN Robert V :
  Mecánica de suelos,
  Editorial Limusa, Mexico 1976, 574p.

- LEONARDS, G A:
  Fundation Engineering,
  MC. Graw Hill, Book Company,Inc. Tokyo Japan, 1136p

- Ministerio de fomento
  Boletin de geologia y minas,
  Coop. De Artes Graficas, Tomo 1, Caracas 1938, 303p.

- Ministerio de Minas e Hidrocarburos, dirección de geología,
  Memoria del Cuarto Congreso Goológico Venezolano,
  Editorial Sucre, Tomo IV, Tomo V, Caracas 1972, 3009p

- PEREZ GUERRA Gustavo;
  PERZ GUERRA José B;
  PEREZ LASALVIA, Hugo:
  El subsuelo de Caracas,
  Editorial Arte, Caracas 1961, 221p.

- ROBB, Louis A;
  Engineer`s Dictionary,
  Compañía editorial Continental S.A.,Mexico, 1961, 664p

- State Highway Commission,
  Field Manual of Soil Engineering,
  Fifth Edition, Michigan,1970, 467p.

- SIMONS N. E.;
  MENZIES B. K.:
  Fundation Engineering,
  Butterworth & Co. Publishers,1977,160p.

- TERZAGHI, Karl:
  Influence of geological factors on the Engeneering properties of sediments,
  1958, 618 p.

- TERZAGHI Karl;
  PECK Ralph B:
  Soil Mechanics in engineering practice,
  Second edition Wiley International edition, USA, 1967, 729p.

FE DE ERRATAS

En las paginas # 60 y 61 se encuentran las graficas # 26, 27 y 28 respectivamente las cuales seran reemplazadas por las aquí incluidas.

Correlaciones entre %W vs Cc/(1+eo) de los diferentes suelos en estudio; (los índices de compresión utilizados en las gráficas son deducidos de la ecuación de Terzaghi, bajo las condiciones de suelos cohisivos normalmente consolidados, y la relacioón de vacio se obtuvo en función del peso específico,Gs.*%W =e*s, considerando al suelo 100% saturado).

GRAFICO #26 Suelos arcillosos de origen aluvial

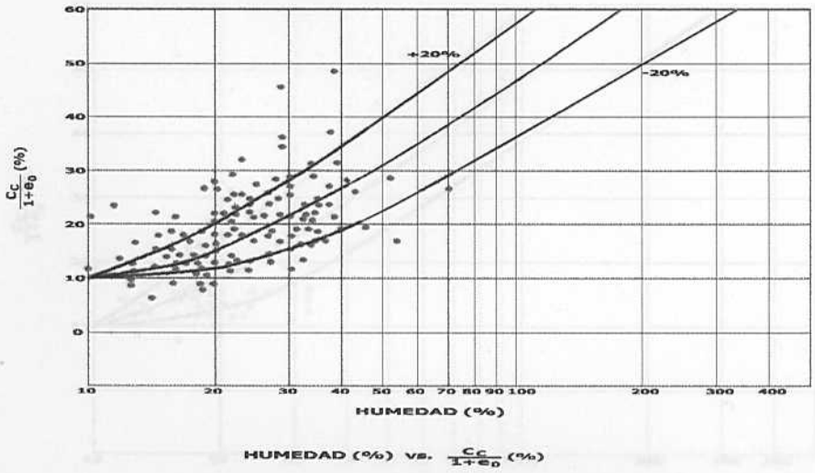
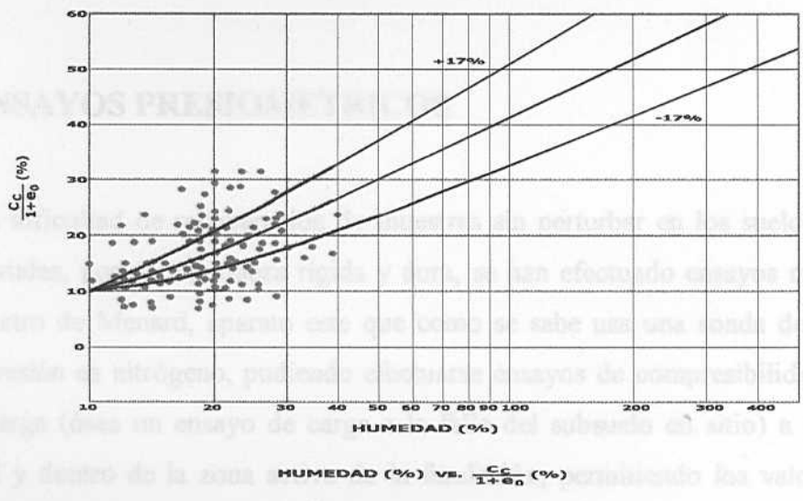
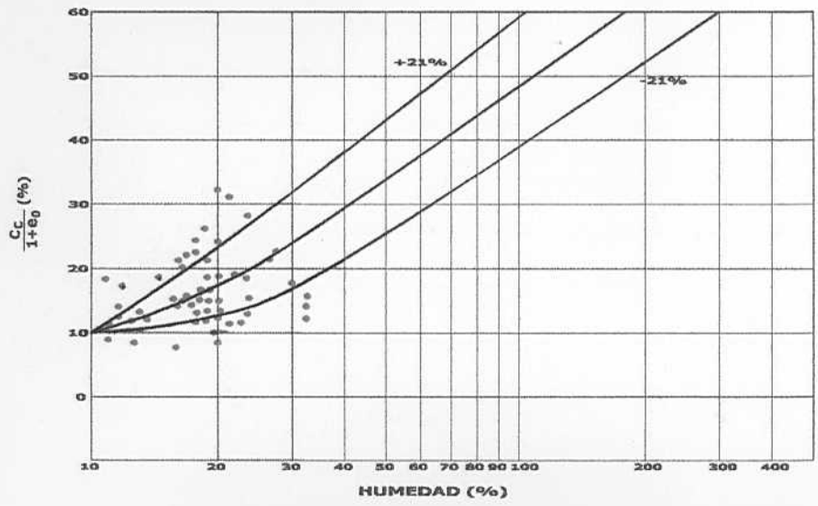


GRAFICO # 27 Suelos arcillosos de origen coluvial



GRAFICA # 28 Suelos arcillosos de origen residual



HUMEDAD (%) vs. $\frac{Cc}{1+e_0}$ (%)

4.4 ENSAYOS PRESIOMETRICOS

Debido a la dificultad de recuperación de muestras sin perturbar en los suelos arcillosos de origen coluviales, por su naturaleza rígida y dura, se han efectuado ensayos mediante el uso del presiómetro de Menard, aparato este que como se sabe usa una sonda deformable cuya fuente de presión es nitrógeno, pudiendo efectuarse ensayos de compresibilidad y capacidad última de carga (ósea un ensayo de carga a la falla del subsuelo en sitio) a cada metro de profundidad y dentro de la zona activa de la fundación, permitiendo los valores obtenidos, módulo presiométrico y capacidad última de carga efectuar análisis de capacidad de carga y

GLOSARIO GEOLOGICO

- **Paragneis**, gneis formado por sedimentos, posee composición química y estructura variable.
- **Silicato**, mineral formado por una combinación oxigenada de silicio. Forma parte de muchas rocas sedimentarias metamórficas y algunos meteoritos.
- **Lítico**, perteneciente o relativo a la piedra.
- **Microclínico,** mineral, feldespato, se le encuentra en rocas intrusivas.
- **Polimíctico,** dicese del sedimento clástico de composición compleja.
- **Boro**, metaloide de color pardo oscuro, semejante al carbón.
- **Sericita,** mineral, variedad escamosa de muscovita con brillo sedoso.
- **Serie,** subdivisión estratigráfica de sistema, corresponde cronológicamente a edad en historia geológica de la tierra.
- **Moscovita,** mineral, mica potásica.
- **Micaceo,** que contiene mica.
- **Turmalina,** mineral, borosilicato de aluminio, muy complejo.
- **Anfibol,** grupo importante de silicatos difíciles de clasificar.
- **Biotita,** mineral que se encuentra en las rocas en el grupo de las micas.
- **Dolomita,** carbonato doble de magnesio y calcio.
- **Dolomia,** roca sedimentaria constituída principalmente por dolomitas que representa por lo menos el 50% en los carbonatos. Es mas oscura que la caliza por lo general.
- **Cipolino,** mineral. Aplicado a una caliza marmorea de cristales bastante gruesos, atravesados por venas concentricas de mica.
- **Leptinitas,** granulita feldespática algo de grano aspero o grueso.
- **Anfibolita,** roca compuesta de anfibol y algo de feldespato, cuarzo o mica.
- **Piroxenita,** roca eruptiva sin materiales claros, con predominancia de piroxenos y ausencia de micas.
- **Piroxeno,** mineral metasilicato, principalmente de calcio, magnesio con algo de hierro y aluminio de composición próxima a los feldespatos.
- **Margas**, roca sedimentaria compuesta de arcilla y carbonato de calcio en cantidades aproximadamente iguales. Depósito lacustre o palustre de naturaleza calcárea-terrosa.

- **Ortogneis,** gneis derivado de una roca eruptiva.
- **Ortoclasa,** feldespato monoclinico potásico.
- **Cloritas,** mineral grupo de silicatos metamórficos complejos, hidratados que se presentan en pajitas menudas de color verde y brillo anacarado.
- **Caliza,** roca formada por carbonato de cal.
- **Epidótico,** mineral, nombre genérico de un grupo de minerales en su mayoría silicatos de aluminio y calcio.
- **Areniscas,** rocas sedimentarias de origen mecánico en la cual predomina el cuarzo en cantidades muy variables.
- **Boudin,** una serie de segmentos en forma de salchichas.