

24 143

UNIVERSIDAD

NACIONAL

AUTONOMA

DE MEXICO



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JAVIER RIVERA MARTINEZ

MEXICO, D. F.

1981.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCION.

La utilización de un suelo por parte del Ingeniero dependerá obviamente de las características del mismo. Por otra parte, el tipo de cimentación para una estructura dada, estará sujeta a las condiciones que plantea el suelo sobre el que se encuentra. Tomando en cuenta que en la naturaleza hay un gran número de diferentes tipos de suelos, parece razonable estudiar las implicaciones que tiene cada uno de ellos en el comportamiento de las cimentaciones.

Cabe señalar que la influencia de un suelo en la cimentación depende, de manera fundamental, del tipo de estructura, por lo que el establecer conclusiones con respecto a la influencia de un suelo, sería tan amplio como el número de estructuras con las que trabaja el Ingeniero Civil.

Por lo tanto, las ideas que se manejan en esta tesis son siempre de carácter general, sin entrar al detalle, porque esto, como se mencionaba, depende del tipo estructural diseñado.

De todas maneras, la información referente al origen y formación de un suelo y al comportamiento de ciertas estructuras apoyadas sobre el mismo, resulta de gran utilidad como información preliminar al realizar un estudio de Mecánica de Suelos, para un sitio y obra determinados. El objetivo de esta tesis es utilizar esta información para derivar algunas aplicaciones a la Ingeniería Civil, en los suelos residuales, eólicos y aluviales.

En este trabajo, se ha hecho un esfuerzo por tratar una serie de conceptos cuya exposición se ha organizado en base a las siguientes ideas que son de considerar dentro del campo de la Geotecnia:

Así, en el capítulo 2., se intenta resaltar la importancia --

de la intervención de otras ciencias en problemas que tradicionalmente se atribuían al campo de la Mecánica de Suelos; para el logro de un mejor entendimiento del trabajo de los materiales que constituyen el terreno. También se expone en este capítulo, una discusión sobre el empleo de correlaciones en esta disciplina, que pudiera ser una aportación muy importante, sobre todo en ocasiones en las que no se justifican exploraciones sofisticadas como pueden ser los casos de formaciones de suelos altamente estratificadas donde la estratificación es errática y formada por varios tipos de materiales y el de cimentaciones superficiales de casas-habitación, en que las erogaciones serían altas, consecuencia de estudios muy elaborados sobre el comportamiento de los suelos (entre estos estudios se pueden mencionar las pruebas de placa y las pruebas de pilotes). Y como una idea que puede entrar dentro del utopismo, se presenta un breve resumen descriptivo de las provincias fisiográficas que constituyen a la República Mexicana (según Raisz, E. 1964), con el propósito que se observe la tendencia de encontrar, en menor o mayor grado, los suelos tratados en este trabajo en cada una de ellas.

En los capítulos 3., 4. y 5., se exponen primeramente las teorías de formación de suelos residuales, suelos eólicos y suelos aluviales, respectivamente; así como las características estratigráficas de los mismos, para plantear posteriormente en cada uno de ellos, las observaciones analizadas sobre la exploración, pruebas y propiedades. Se exponen también conclusiones y recomendaciones sobre el tratamiento de los mismos suelos al final de las cuales se anexaron ejemplos breves de casos prácticos con el fin de hacer que el lector logre una mejor comprensión.

En el capítulo 6., son expuestas las conclusiones generales, pudiéndose sentir algunas de ellas redundantes de las conclusiones expuestas en los capítulos anteriores.

También se ha anexado un glosario de los términos que han

sido marcados con asterisco y que se piensa pudieran plantear dudas en cuanto a su significado, cuando se presentan en la lectura de esta tesis. En este glosario se incluye, como complemento la tabla de los tiempos o eras geológicas .

Y por último, se consignan solamente las referencias de los autores a que se ha hecho mención en el texto, ya que toda vez que una gráfica o figura fue tomada, en parte o en su totalidad, el hecho se menciona en el pie de la misma.

2.1 LA GEOLOGIA, LA MECANICA DE SUELOS Y LA NECESIDAD DE SU RELACION.

"Se ha definido a la Geología como la ciencia que trata del origen, historia y estructura de la tierra, tal como aparecen registrados en las rocas y de las fuerzas y procesos que actúan modificando éstas" (Krynine, 1975). De acuerdo a esta definición, son objeto de la Geología todos los estudios referentes a la atmósfera, hidrósfera* y litósfera* de la tierra; pero en la práctica real se limitan los alcances de esta definición.

Al revisar los textos de la Geología al uso, se observa que las materias que constituyen el objeto principal de discusión son las rocas y los minerales y las fuerzas que actúan sobre ellos: "El objeto final de esta revisión es la exploración del interminable historial de acontecimientos geológicos que contienen las rocas, utilizando esencialmente como métodos de estudio la observación, la deducción, el razonamiento y en ciertos casos la exploración subterránea." (Krynine, 1975)

Ahora, la Mecánica de Suelos que es la rama de la ingeniería que estudia el comportamiento físico, cualitativo y cuantitativo de los suelos por medio de sus características índice, de sus propiedades hidráulicas y mecánicas como son las características deformación, compresibilidad, plasticidad, resistencia al esfuerzo cortante, etc., requiere apoyarse cada día más en la Geología, porque al analizar los suelos utiliza muchos métodos indirectos que suponen un comportamiento de los mismos que aunque es de gran utilidad en el diseño de obras civiles, no concibe totalmente el compor

tamiento del suelo "in situ", propiciando algunas deficiencias de concepción que suelen ser absorbidas por factores de seguridad altos que cubren las posibles desviaciones de las teorías e hipótesis de trabajo, así como las inexactitudes que en los diseños teóricos de los procedimientos de construcción puedan causarse con el incremento en el costo de las obras.

Tratando más concretamente el problema, "la Mecánica de -- Suelos generalmente analiza lo que son relativamente pequeñas zonas de suelo, cuyo comportamiento no es necesariamente representativo del comportamiento del depósito o del estrato donde se encuentra; ya que entre otros aspectos, el ingeniero tendrá que trabajar con depósitos del subsuelo que están lejos de ser isótropos y homogéneos de tal manera que el conocimiento de -- ese comportamiento puede ser más completo cuando se consideren las condiciones que pueden analizarse desde el punto de vista de la Geología Aplicada y de un correlacionar las observaciones, conocimientos y deducciones de la misma en forma más íntima con los estudios de Mecánica de Suelos, para lograr un mejor entendimiento del trabajo mecánico de los materiales del subsuelo." (L. Zeevaert, 1977).

2.2 DISCUSION SOBRE EL EMPLEO DE CORRELACIONES
EN MECANICA DE SUELOS Y ALGUNAS IDEAS
APOYADAS EN LA GEOLOGIA. (Deméneghi, 1980).

2.2.1. Antecedentes.

En este trabajo, a continuación se incluye una discusión sobre el empleo de correlaciones en Mecánica de Suelos, que aunque de primera instancia no parece tener mucha relación -- con el objetivo central que sugiere el título de este capítulo, pienso, es importante su consideración, porque puede plantear lineamientos valiosos a seguir en la solución de problemas que presentan al ingeniero civil, los distintos tipos de suelos que son tratados en los capítulos subsecuentes.

Esta discusión, tiene origen en el artículo denominado: - "Sobre el empleo de correlaciones en Mecánica de Suelos", desarrollado por el Ing. Agustín Deméneghi Colina, profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En su artículo el Ing. Deméneghi, presenta de manera tentativa la forma de llevar a cabo correlaciones entre sondeos rápidos y económicos y sondeos más elaborados de propiedades mecánicas, orientada a la solución de la cimentación de estructuras sobre formaciones heterógenas y de obras de importancia menor sobre cualquier tipo de formación.

2.2.2. Planteamiento del problema.

En la ejecución de los estudios de Mecánica de Suelos se presenta en ocasiones condiciones tales que hacen que se re-

quiera una exploración donde no se justifica un trabajo sofisticado que comprenda la exploración con muestreo inalterado, - pruebas de placa, pruebas de pilotes, etc.

La experiencia de campo enseña que estas condiciones pueden presentarse en los suelos tratados en este trabajo, cuando constituyen formaciones geológicas altamente estratificadas, - donde la estratificación es errática y formada por varios tipos de materiales, lo cual es frecuente, como mencionan Terzaghi y Peck (1967), aseverando que "perfiles erráticos de suelo son bastante más comunes que perfiles regulares". En estas condiciones, no conviene realizar una exploración que comprenda pocos sondeos de muestreo inalterado o de otras pruebas como de placa o de pilotes, que resultan en general caras y -- que añaden poca información al problema principal que es el de conocer de la manera más detallada posible el perfil errático del subsuelo. Terzaghi y Peck (1967), comentan que "aumentando la complejidad del perfil del suelo, la utilidad de investigaciones elaboradas de laboratorio disminuye rápidamente. Si el perfil de suelos es errático, los esfuerzos deben concentrarse no en obtener datos precisos relativos a las propiedades físicas de muestras individuales de suelo, sino en obtener información realista sobre el patrón estructural del subsuelo. Intentos para obtener esta información por medio de muestreo inalterado son comunmente inútiles".

Observando estas afirmaciones, se detecta la necesidad de la intervención de la Geología en la Mecánica de Suelos, en -- cuanto que puede aportar conocimientos que permiten investigar más a fondo la constitución y comportamiento de ese patrón estructural del suelo.

Hasta lo aquí expuesto, pudiera pensarse que la intervención de la Geología sería útil sólo cuando se requirieran estudios para obras de gran magnitud o que implicaran cimentaciones profundas, lo cual sería limitar sus alcances dentro de la re-

lación con la Mecánica de Suelos, porque en el estudio de las cimentaciones de estructuras pequeñas o medianas, puede colaborar a hacer más confiables los sondeos que se realizan en los estudios de Mecánica de Suelos, que son de más rápida realización y más baratos que los de pruebas de placa o de muestreo inalterado, cuyo costo de estudio en muchas ocasiones no va de acuerdo con el valor total de la obra.

A la validez de estas ideas se añadan nuevamente las opiniones expresadas por Terzaghi y Peck (1967):

"En trabajos de rutina, tales como el diseño y construcción de cimentaciones para casas de apartamentos de tamaño moderado en distritos con condiciones de cimentación conocidas, no se requieren investigaciones adicionales. Las pruebas de laboratorio pueden limitarse a la determinación de las propiedades índices de muestras alteradas representativas extraídas de los sondeos. Estos ensayos sirven para correlacionar los suelos con otros encontrados previamente en trabajos similares. Por tanto, se hace posible utilizar la experiencia previa. La falta de información de la exploración se compensa con un factor de seguridad liberal".

Hemos visto dos casos en los estudios de mecánica de suelos en los que conviene realizar una exploración del subsuelo relativamente rápida y económica a lo que los conocimientos y estudios geológicos previos pueden colaborar, permitiendo una solución más loable desde el punto de vista práctico de ingeniería. En los incisos que se enumeran a continuación trataremos con detalle qué tipos de sondeos conviene ejecutar en estas condiciones. También hago la observación, que emplearé -- continuamente términos usados en la Geología, con el objeto de que se desarrolle una familiaridad hacia su uso, para que posteriormente se pueda manejar información de carácter geológico en la solución de problemas que tradicionalmente se le plantean a la Mecánica de Suelos.

2.2.3. Sondeos Representativos.

Es claro que en sitios donde el subsuelo sea altamente estratificado o donde se pretenda edificar construcciones pequeñas o medianas, la exploración del subsuelo debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Que sea relativamente rápida y económica, y
- b) Que permita el empleo de correlaciones con las propiedades mecánicas y estudios geológicos de los suelos del lugar.

Siguiendo los lineamientos sugeridos por el Ing. Deméneghi, denominaremos sondeos representativos a los sondeos que cumplen estas condiciones y propiedades representativas a las propiedades del suelo obtenidas por ellos.

En el caso de arenas de grano grueso a medio, como las que se pueden encontrar en los conos aluviales, el sondeo representativo por excelencia es la prueba de penetración estándar, ya que cumple con los requisitos establecidos para un sondeo representativo.

En las gravas, que constituyen aluviones originados por corrientes turbulentas, parece ser que una de las formas de realizar sondeos representativos, consiste en el empleo de "un penetrómetro de diámetro suficientemente grande para que sea ligeramente influenciado por el tamaño de la grava y calibrar el penetrómetro con los resultados de pruebas de penetración estándar realizadas en materiales de tamaño máximo menor". (Peck, 1953; Terzaghi y Peck, 1967)

Para tratar de encontrar un método de exploración representativo de suelos de baja permeabilidad que puede originarse tanto en suelos residuales de naturaleza básica como en depósitos lacustres y las márgenes de algunos ríos, vemos primeramente por qué la prueba de penetración estándar si ha dado buenos resultados en arenas de medias a gruesas y no ha sido tal en las arenas finas, en los limos y en las arcillas de los medios mencionados. Parece ser que la causa de que la penetración estándar funcione en suelos arenosos estriba en que el comportamiento dinámico de ellos es parecido a su comportamiento estático (por lo menos para fines prácticos). Esta similitud es la causa de que el método de penetración estándar haya sido de utilidad para el diseño de cimentaciones en arenas. La semejanza entre el comportamiento dinámico y comportamiento estático en suelos gruesos parece confirmar el hecho de que las fórmulas dinámicas de pilotes pueden ser empleadas para estimar la capacidad de carga de pilotes en ellos; en efecto, Chellis (1962) recomienda el empleo de fórmulas dinámicas en suelos no cohesivos y comenta "estas fórmulas han sido aplicadas a un amplio rango de casos, y los resultados comparados con pruebas de carga y los resultados de otras fórmulas, y han indicado un alto grado de confiabilidad". Es decir, en suelos gruesos, debido a su permeabilidad relativamente alta, su comportamiento dinámico no difiere apreciablemente de su comportamiento estático y las pruebas dinámicas pueden ser usadas para estimar la capacidad de estos suelos, y si a esto aunamos el estudio de la estratificación desde el punto de vista geológico en base a su origen, se pueden lograr mejores apreciaciones, porque probablemente se podrá verificar una tendencia seguida por ese estrato de suelo.

Desafortunadamente, lo anterior no ocurre en suelos finos (limos y arcillas) y parece ser que tampoco en arenas finas de depósitos eólicos. Es probable que debido a su baja permeabilidad, se produzca durante el impacto de una prueba dinámica

un aumento considerable en la presión de poro, lo que reduce notablemente la resistencia de un suelo fino. Además, al no fluir con rapidez el agua, el efecto de la viscosidad del agua complica el fenómeno, lo que vuelve aún más difícil la correlación del comportamiento dinámico con el estático. Por si esto fuera poco, durante el impacto es posible que se produzca un remoldeo de limos y plásticos o de arcillas. En resumen, el comportamiento estático de un suelo de baja permeabilidad no tiene nada que ver con su comportamiento dinámico.

Por lo anterior, en estos suelos constituidos de arenas finas, limos o arcillas, el sondeo representativo debe consistir en una prueba estática, en la que la velocidad de avance del instrumento de exploración sea suficientemente pequeña para que no provoque un aumento brusco considerable de la presión de poro o un incremento del efecto de la viscosidad del agua. Este sondeo estático puede consistir en el empleo de un aparato de tipo cono o una veleta.

Además, dada la rapidez que se alcanza en la exploración con la prueba de penetración estándar, conviene entonces realizar sondeos que integren esta prueba con un procedimiento estático: en arenas finas, limos y arcillas, se avanza, y se muestra con penetración estándar y al alcanzar 60 cm. se introduce el cono o la veleta para medir la resistencia del suelo.

Otra manera de realizar un sondeo representativo puede consistir en llevar a cabo en paralelo las pruebas de penetración estándar y estática: Se realizan estos dos ensayos separados entre sí una distancia pequeña de 1.5 a 2.0 m. Con el primero se muestra y con el segundo se determina la resistencia del suelo.

Por lo que respecta al cono estático, su diámetro conviene

sea menor o igual que el del muestreador estándar, es decir, - el diámetro del cono debe ser no mayor que 5.08 cm. (2 plg). - Para fines prácticos, y con el objeto de establecer correlaciones posteriormente, resulta adecuado utilizar un cono de dimensiones estandarizadas. Se puede entonces emplear un cono de 60° de 3.81 cm. (1.5 plg), que penetre 20 cm. dentro del suelo a una velocidad no mayor de 0.5cm./seg. (ver fig. No.2.2.1).

A la máxima presión alcanzada para penetrar la distancia - especificada se le puede llamar el resultado del cono estándar.

Si se utiliza la veleta como sondeo representativo, el diámetro máximo de ella deberá ser también de 5.08 cm (2 plg).

La forma de establecer correlaciones entre propiedades representativas y propiedades mecánicas y la manera de utilizarlas se discute en los siguientes incisos.

2.2.4. Correlaciones.

Obviamente los sondeos representativos y la formación geológica serán de utilidad siempre y cuando se puedan correlacionar con los resultados de pruebas más elaboradas que midan de una manera más precisa las propiedades mecánicas de los suelos. A todo tipo de prueba que permite determinar en forma relativamente precisa las propiedades mecánicas de un suelo, lo denominaremos sondeo de propiedades mecánicas; los sondeos de propiedades mecánicas son ampliamente utilizados en mecánica de suelos y entre ellos se pueden citar los pozos a cielo abierto -- con extracción de muestras inalteradas, los sondeos de muestreo - inalterado con tubo Shelby o muestreador Denison, las pruebas de placa, las pruebas de carga de pilotes y las pruebas de cono holandés.

Con el objeto de correlacionar los sondeos representativos

FIG. 2.2.1.

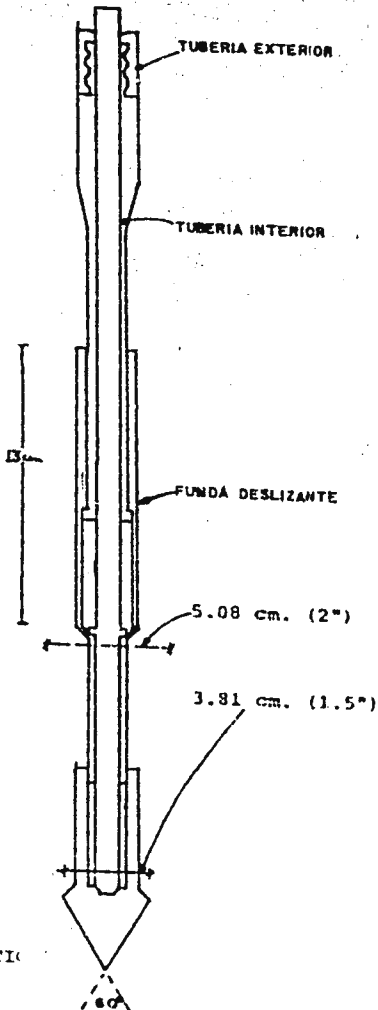
(Modificada de López F., "Exploración y Muestreo Profundo en Suelos", UNAM, 1979)

PENETROMETRO

HOLANDES

LONGITUD DE PENETRACION = 20 cm.

VELOCIDAD DE AVANCE
0.5 cm /seg



CONO ESTANDAR (ESTATICO)

con los de propiedades mecánicas, a un lado del sitio donde se realizó un sondeo de propiedades mecánicas, separado una distancia pequeña (del orden 1.5 a 2.0 m.), se realiza un sondeo representativo, lo cual permitirá calibrar el segundo con el primero. También en este momento se puede observar la naturaleza del suelo e ir dilucidando algunas características que pueden ser valiosas en su estudio al aplicar los conocimientos de Geología que se presentan en los siguientes capítulos, siempre y cuando pertenezcan al tipo de suelos tratados en los mismos.

A. Tipo de suelo.

Las correlaciones que se puedan hacer dependerán del tipo de suelo, por lo que a continuación discutiremos los casos de suelos gruesos y de suelos finos.

A.1 Suelos Gruesos.

Para el diseño de una cimentación sobre un suelo grueso, - las propiedades mecánicas que más interesa conocer son la resistencia al esfuerzo cortante y la compresibilidad del mismo.

Tomando en cuenta que el parámetro que mide la resistencia al esfuerzo cortante en un suelo grueso es el ángulo de fricción interna, se puede entonces determinar éste en función del número de golpes de la prueba de penetración estándar o de la presión del cono estándar.

El ángulo de fricción interna se puede determinar en el laboratorio en pruebas de compresión triaxial o en el campo con pruebas de placa.

De hecho, se dispone ya de varias correlaciones de este tipo, obtenidas para arenas (Peck, 1957; Meyerhof, 1956).

Por lo que respecta a la compresibilidad de un suelo --- grueso, el problema dista mucho de estar resuelto. Hasta la fecha se ha logrado determinar la compacidad de un suelo en función de la prueba de penetración estándar o del cono holandés, pero ha faltado obtener parámetros que midan (aún de manera aproximada) la compresibilidad del suelo. Parece ser -- que la causa principal de esta falta de correlaciones ha sido el empleo de módulos de deformación lineales del suelo, es decir, se ha supuesto una relación lineal entre la deformación unitaria y el esfuerzo aplicado. Estos módulos de deformación lineales son sumamente variables porque tienen base en la litificación errática del suelo, que también puede determinar la compacidad del suelo, el esfuerzo de confinamiento inicial, el incremento del esfuerzo vertical y el incremento de los esfuerzos horizontales.

Por lo anterior, se hace necesario el empleo de teorías - de deformación no lineal, en las cuales la relación entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones unitarias esté dada - por uno o más coeficientes, a los que llamaremos, en forma genérica, parámetros de compresibilidad del suelo. Quizá fuera aconsejable para este fin la adaptación de criterios de cálculo sobre deformación no lineal; como los de Juárez Badillo -- (1965) o de Zeevaert (1973). Se ve por tanto, que hace falta una mayor investigación sobre este tema.

A.2. Suelos finos.

En suelos finos conviene que hagamos una distinción entre suelos parcialmente saturados y suelos tctalmente saturados.

En suelos parcialmente saturados se puede aplicar de manera general lo propuesto para los suelos gruesos, con las dossalvedades siguientes:

1.-El sondeo representativo no deberá ser la prueba de penetración estándar, sino una prueba de tipo estático; parece ser en principio que la prueba que más conviene es la del cono estándar.

2.-En lugar de correlacionar las variables representativas con el ángulo de fricción, habrá de hacerlo directamente con la capacidad de carga última del suelo, para un cierto rango de contenido de agua del suelo.

En los suelos finos totalmente saturados, hay que distinguir entre el comportamiento a corto plazo (Pruebas rápidas) y comportamiento a largo plazo (Pruebas lentas).

Para el comportamiento a corto plazo, se puede obtener la cohesión aparente o la capacidad de carga última del suelo en función de los resultados del cono estándar o de la veleta.

En relación con el comportamiento a largo plazo, se tiene la ventaja de que es posible determinar, en forma aproximada, la relación de vacíos natural del suelo " e_0 ", con solo conocer el contenido natural de agua " w " y la densidad de sólidos " s_s "; en efecto, en suelos totalmente saturados $e_0 = WS_s$

Basta entonces tomar muestras alteradas representativas y determinar en ellas el " w " y el " s_s ", para conocer " e_0 ".

Se puede entonces utilizar la relación de vacíos inicial " e_0 " (o el contenido natural de agua " w ") como propiedad representativa y tratar de correlacionarla con propiedades mecánicas a corto o a largo plazo, distinguiendo si se trata de un suelo normalmente consolidado o de un suelo preconsolidado. Un ejemplo de la variación de una propiedad mecánica (la cohesión aparente obtenida en prueba de compresión no confinada, de la arcilla de la formación Tacubaya*, preconsolidada) en función de " w " (o de " e_0 ") se presenta en la fig. 2.2.2.

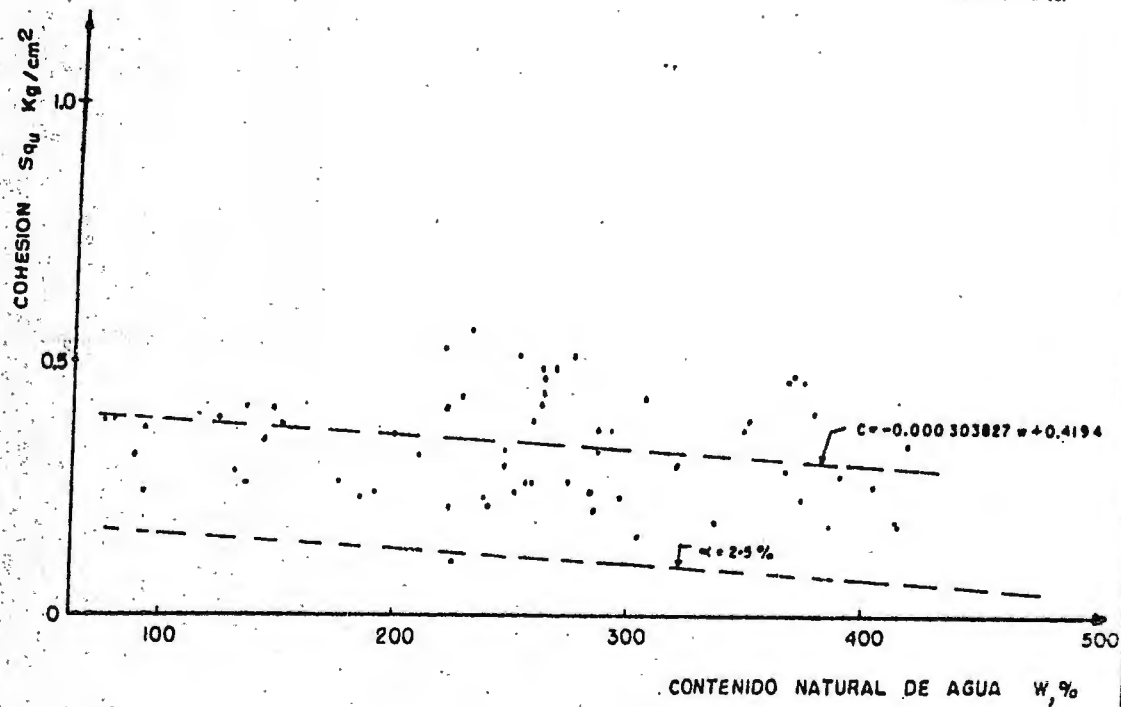


FIG.2.22. CORRELACION ESTADISTICA ENTRE LA COHESION: S_{qu} Y EL CONTENIDO NATURAL DE AGUA w

Por lo que respecta a los parámetros de compresibilidad a largo plazo, Juárez Badillo (1965) comenta que su teoría de deformación no lineal puede ser aplicada a los resultados de pruebas de consolidación unidimensional, para el tramo virgen de la curva de compresibilidad. En esta teoría, la compresibilidad de un suelo fino está dada por un parámetro único, denominado coeficiente de compresibilidad γ , por Juárez Badillo; además, este parámetro lo ha obtenido para la arcilla de la formación Tacubaya del Valle de México, determinando un valor medio de 0.4. En el tramo de expansión parece ser que la compresibilidad no puede ser representada por un coeficiente único, pero quizá para fines aproximados (que pueden ser válidos para los casos involucrados en este trabajo) se podría emplear el coeficiente de expansión γ_p , análogo al de compresibilidad. Debido a posibles variaciones en la ejecución de las pruebas de campo y laboratorio, en la homogeneidad del terreno, etc., conviene realizar un estudio estadístico de los valores de γ y de γ_p , para obtener valores medios, intervalos de confianza, etc.

Conviene agregar un último punto con respecto a los suelos finos: En arcillas fisuradas parcial o totalmente saturadas, no se dispone de ninguna teoría para valuar su capacidad de carga por resistencia al corte, por lo que una de las formas para determinarla es la realización de pruebas de placa, lo que aparentemente no se ha llevado a cabo en suficiente número. Es importante entonces realizar una mayor cantidad de pruebas de placa en estos (y otros) suelos, a manera de obtener su capacidad de carga, tener mayor experiencia en arcillas fisuradas y verterla en correlaciones que sean de utilidad para el ingeniero.

B. Curvas de regresión.

Para la representación de los resultados de las correla--

ciones mencionadas en este trabajo, podemos utilizar el gran-auxilio que nos presta la probabilidad y estadística. En efecto, podemos graficar en el eje de las abscisas la propiedad representativa y en el de las ordenadas el valor de la propiedad mecánica correspondiente. Con esto se puede formar una curva de regresión, la cual puede ser de forma lineal o no lineal.

Es importante mencionar que es conveniente graficar todos los puntos usados para obtener la curva de regresión, para que el ingeniero que la utilice tenga una idea clara de la dispersión de los valores de la propiedad mecánica en función de la variable representativa.

Una vez graficados todos los puntos deberá verse si la curva de regresión correspondiente es una recta, una parábola, una hipérbola, una curva exponencial o logarítmica, etc. Definida la forma de la curva que corresponde al fenómeno, deberá obtenerse su ecuación, mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados. A continuación se puede emplear el criterio de predicción estadística, con el cual se puede determinar un intervalo de confianza para un valor futuro de la propiedad mecánica en función de la propiedad representativa medida, correspondiente a un grado de confianza establecido (Miller y Freund, 1965).

Con el objeto de ilustrar el empleo de las curvas de regresión, veamos el caso de la relación estadística entre la cohesión aparente obtenida en pruebas de compresión no confinada y el contenido natural de agua (o relación de vacíos inicial) de la arcilla volcánica de la formación Tacubaya en el Valle de México. En la fig. 2.2.2, se presentan los puntos determinados en seis diferentes lugares del Valle, en los cuales las arcillas se hallaban todas preconsolidadas.

En dicha figura se puede observar que aun cuando la cohesión es poco sensible a la variación del contenido natural -- de agua "w", para el rango $75 \leq w \leq 475$ %, en general esta propiedad tiende a disminuir ligeramente con "w".

En la fig.2.2.2 están graficados todos los puntos medidos de que se disponía, está indicada la curva de regresión (que corresponde a una recta) y está trazada la curva de predicción correspondiente a un grado de confianza de 97.5%, para una distribución normal de probabilidad. La ecuación de la curva de predicción está dada por:

$$c = 0.4194 - 0.0003038 w - 0.2196 \sqrt{1.014 + \frac{(w-252.8)^2}{620435}}$$

en donde: w = Valor medido del contenido natural de agua.
c = Cohesión aparente predicha para un grado de confianza de 97.5 % .

En estas condiciones, si realizamos un sondeo representativo en el que obtenemos un contenido natural de agua medio -- de 100 %, valor promedio en un estrato definido por ciertas -- características geológicas, podemos decir que tenemos una pro -- babilidad de 97.5 % de que el valor de la cohesión aparente -- sea mayor que 0.16 Kg/cm^2 .

Con este resultado creemos que se ve clara la utilidad -- de usar criterios estadísticos para las correlaciones. Falta -- sin embargo, un aspecto a considerar de vital importancia: El -- establecimiento de recomendaciones generales para el empleo -- de las curvas de regresión, las cuales dependerán fundamental -- mente del comportamiento observado de las estructuras apoya -- das sobre los suelos estudiados. El análisis detallado del -- comportamiento de las obras en estas condiciones permitirá de

finir los rangos de utilización de las curvas de regresión.

Las curvas de regresión obtenidas podrán servir también para proporcionar información que permita establecer criterios generales para la exploración del subsuelo y para los análisis de las cimentaciones.

C. Correlaciones universales y correlaciones locales.

Hasta aquí hemos hablado sobre el tipo de correlaciones que conviene usar tanto en suelos gruesos como en suelos finos. Falta agregar otro aspecto importante: Hay correlaciones que pueden ser válidas para algunos tipos de suelos que encontremos en cualquier lugar de la naturaleza; a estas correlaciones las denominaremos correlaciones universales. Por otro lado, se puede intentar establecer correlaciones para estratos bien definidos en ciertas localidades como ciudades, conjuntos habitacionales, complejos industriales, las cuales serán correlaciones locales. A continuación trataremos cada una de estas correlaciones por separado.

C.1 Correlaciones universales.

Por lo que respecta a las correlaciones universales, existen ya varias de ellas: El número de golpes de la prueba de penetración estándar y los resultados del cono holandés se han correlacionado con la compacidad y con el ángulo de fricción interna de un depósito de arena (Peck Et Al, 1957: Meyerhof, 1956). En términos generales, estas correlaciones han arrojado resultados satisfactorios desde el punto de vista de ingeniería. Desde luego, es obvio que la dispersión estadística en este tipo de correlaciones es amplia y las gráficas y tablas que contienen los resultados de estos trabajos son en general conservadores.

Un inconveniente que puede hacerse a estas funciones es que únicamente se publican las recomendaciones y no los valores de las propiedades representativas y mecánicas medidas, es decir no se conoce la dispersión de los valores de la función, lo que hace que en la práctica el ingeniero que las utiliza tenga una vaga idea de que está empleando un factor de seguridad alto. Esto se podría resolver siguiendo las recomendaciones dadas en el inciso 2.2.4.B de este trabajo, relativas al uso de las curvas de regresión.

Para complementar las correlaciones universales, falta establecer la relación entre propiedades representativas y parámetros de compresibilidad para todo tipo de suelo. Faltan también curvas de regresión entre variables representativas y la cohesión aparente o capacidad de carga última del suelo.

Quizá fuera conveniente utilizar para las correlaciones universales una de las poderosas armas con las que cuenta la mecánica de suelos: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Es decir, se pueden obtener correlaciones entre valores representativos y propiedades mecánicas para los diferentes grupos de suelos gruesos que integran el SUCS. Se dispondría entonces para cada grupo de suelos del SUCS, un juego de curvas de regresión entre variables representativas y propiedades mecánicas.

En suelos finos se puede tratar de determinar valores de las propiedades mecánicas en función de las propiedades representativas para suelos del mismo origen geológico y para intervalos dados de los límites de plasticidad. Por ejemplo, la curva de regresión de la fig. 2.22 es válida para valores del límite líquido comprendidos entre 200 y 500 % ; para una arcilla volcánica depositada en un medio lacustre y preconsolidada. Los puntos de esta figura se pueden incorporar a otros puntos de suelos con los mismos intervalos de los límites de plasticidad

y con el mismo origen geológico, para después formar curvas de regresión universales para suelos finos.

C.2 Correlaciones locales.

"La experiencia a mostrado que una relación desarrollada dentro de una región geologicamente bien definida siempre envuelve menor dispersión que la relación correspondiente para todos los depósitos de una cierta clase, indistintamente de su origen geológico y de su proceso de evolución". (Terzaghi y Peck, 1967).

La idea contenida en el párrafo anterior lleva desde luego a la conclusión de realizar correlaciones en localidades donde se encuentren formaciones definidas y regulares, para ajustar los criterios de exploración y de cálculo de la cimentación de estructuras a las características de la formación y al comportamiento observado de las obras.

Un aspecto importante en las correlaciones locales consiste en detectar claramente las formaciones y estratos geológicos bien definidos que se encuentren bajo los lugares a estudiar en este trabajo, el papel de los ingenieros geólogos será de gran utilidad.

En la República Mexicana se ha realizado un gran esfuerzo para estudiar el subsuelo tanto en la ciudad de México, como en las ciudades del Interior. En general, los artículos publicados contienen una zonificación geológica de las ciudades e información sobre propiedades físicas y mecánicas de los suelos en forma gráfica o tablas aisladas o de perfiles a lo largo de ejes sobre centros urbanos. Por lo demás, les falta prácticamente todo lo que hemos comentado en estos incisos.

2.2.5. Recomendaciones.

De acuerdo con lo que hemos tratado en los incisos anteriores, se ve clara la importancia de establecer correlaciones entre propiedades representativas y propiedades mecánicas para la solución de la cimentación de estructuras pequeñas o medianas, o de la cimentación de cualquier obra sobre formaciones heterogéneas.

A los trabajos ya existentes sobre el uso de correlaciones, convendría complementarlos con medidas tendientes a la utilización del cono estándar (estático) para sondeos representativos en suelos finos, a la necesidad de emplear teorías de deformación no lineal tanto en suelos gruesos como en suelos finos, a la conveniencia de anotar todos los puntos medidos y formar con ellos curvas de regresión estadística, estableciendo criterios sobre su uso en base al comportamiento observado de las estructuras, a la posibilidad de formar curvas de regresión universales y locales y a la necesidad de una utilización más extensiva de sondeos de propiedades mecánicas del tipo pruebas de placa, pruebas de carga de pilotes, como holandés, etc. La descripción de estas medidas viene contenida en los incisos anteriores.

Las ideas sobre el empleo de correlaciones en mecánicas de suelos data de hace mucho tiempo, pero en la práctica se ha trabajado poco en el campo de la estadística aplicada. Para la resolución al problema de la obtención de juegos de curvas de regresión, con criterio sobre su uso, se requiere del trabajo en forma conjunta y organizada de los ingenieros dedicados a la mecánica de suelos. Esto se puede llevar a cabo mediante la elaboración de programas de correlaciones específicos para cada ciudad, patrocinados por organismos del gobierno federal y estatal, por los municipios, universidades y compañías particulares.

Otra forma quizá más rápida consiste en que los ingenieros que realizan estudios de mecánica de suelos se pongan de acuerdo y sigan cierta metodología que permita, con un poco de labor de coordinación (Que en México la puede llevar a cabo - la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos), formar las correlaciones entre sondeos representativos y sondeos de propiedades Mecánicas, por esta razón, convenirá que la exploración -- del Subsuelo se llevara a cabo en forma tentativa de la siguiente manera:

a) Durante la exploración del terreno, llevar a cabo - por lo menos un par de sondeos, en el que un sondeo sea representativo y otro de propiedades mecánicas, separados entre sí una distancia del orden de 1.5 a 2.0 m.

b) El sondeo representativo podrá consistir en arenas de grano grueso a medio, en la prueba de penetración estándar, o en la prueba del cono estándar, avanzando en este último caso con penetración estándar.

En arenas finas o suelos finos (limos o arcillas), emplear la prueba del cono estándar o la veleta para obtener las propiedades representativas y avanzar y muestrear con penetración estándar.

Los sondeos de propiedades mecánicas podrán consistir además del muestreo inalterado con tubo Shelby o muestreador Denison, en pruebas de placa, pruebas de carga de pilotes, prueba del cono holandés, etc.

c) Formar juegos de curvas de regresión entre propiedades representativas y propiedades mecánicas, anotando todos los puntos encontrados.

En suelos gruesos se podrá correlacionar el número de golpes de la prueba de penetración estándar o la presión del co-

no estándar con las siguientes propiedades mecánicas :Angulo de fricción interna y parámetros de compresibilidad del suelo.

En suelos finos parcialmente saturados se podrá correlacionar la presión del cono estándar con la capacidad de carga última y con los parámetros de compresibilidad del suelo, para ciertos rangos del contenido natural de agua.

En suelos finos totalmente saturados, se podrán obtener -- los valores medios e intervalos de confianza del o de los parámetros de compresibilidad del suelo. También se podrá correlacionar la prueba del cono estándar o la veleta con la capacidad de carga última del suelo para aplicación rápida de carga y de cohesión aparente del suelo, ésta última en función además del contenido natural de agua.

d) Determinar los juegos de curvas de regresión indicados en el punto anterior para correlaciones universales y para correlaciones locales.

En correlaciones universales, cada juego de curvas le corresponde a un grupo de suelos gruesos del SUCS. Así, se dispondrá de un juego de curvas de regresión para una arena limpia bien graduada (SW) para una arena limosa (SM), para una arena mal graduada poco arcillosa (SP-SC), etc.

En suelos finos se pueden formar juegos de curvas de regresión entre valores representativos y propiedades mecánicas, para diferentes rangos de los límites de plasticidad.

En las correlaciones locales, a cada estrato geológico --- bien definido le corresponderá un juego de correlaciones.

e) Tener especial cuidado en anotar todos los puntos en las curvas (o tablas) de regresión que se formen.

f) Tratar de establecer una cuidadosa relación entre -- las curvas de regresión y el comportamiento observado de las obras de ingeniería civil, la cual será de fundamental impor-- tancia para fijar los criterios para el uso de las curvas, tales como la selección de valores medios, intervalos de confianza, parámetros de predicción, factores de seguridad, etc.

Conviene aclarar que los puntos anteriores son tentativos y se podrán ir modificando de cuerdo con la experiencia que se vaya adquiriendo con estas medidas.

2.3 PLANTEAMIENTO TENTATIVO DE UN POSIBLE
USO DEL CONOCIMIENTO DE LA NATURALEZA
DE LAS PROVINCIAS FISIOGRAFICAS EN LA
GEOTECNIA.

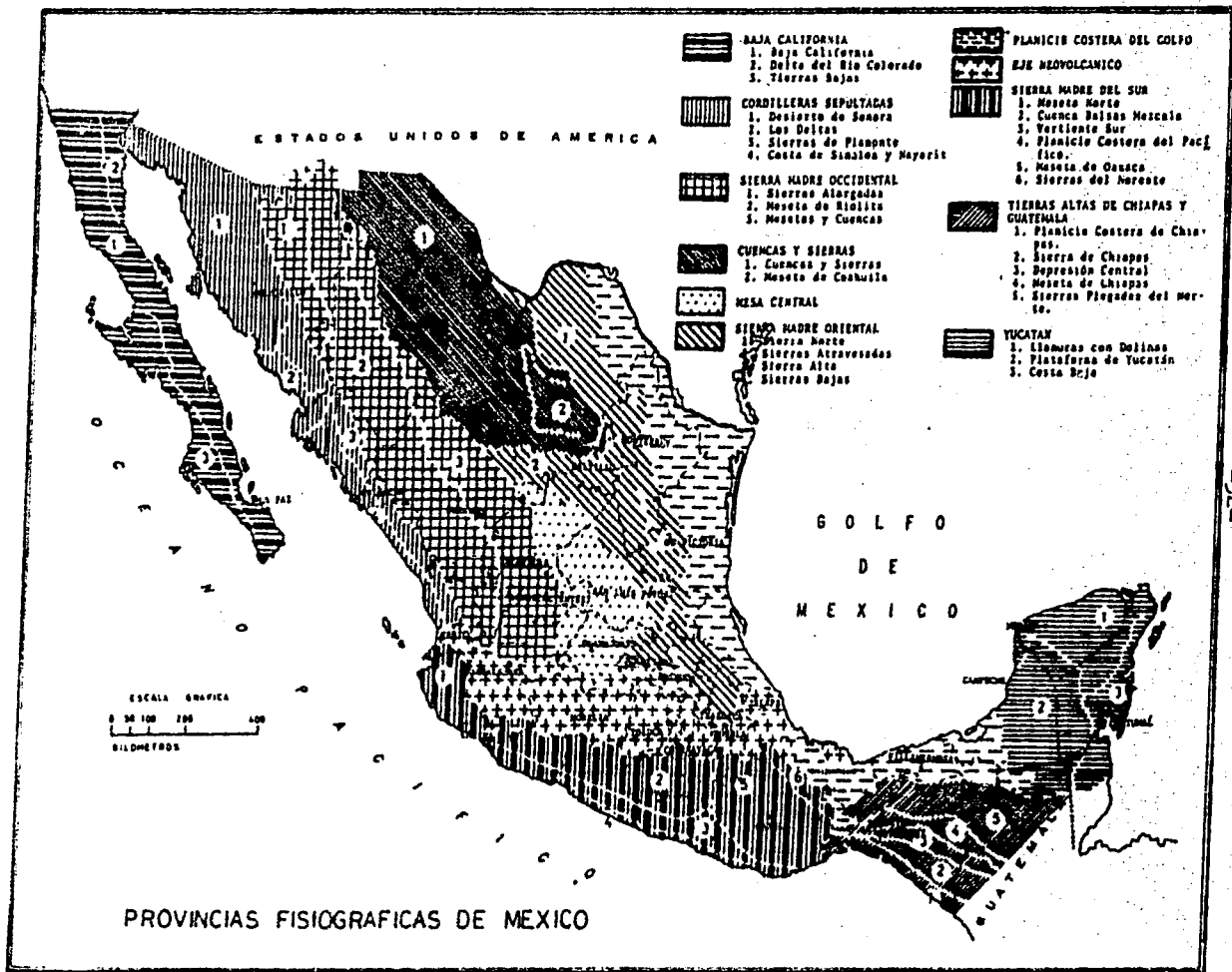
En este inciso a manera de propuesta tentativa se plantea la siguiente idea:

Se ha observado que en base a su naturaleza, cada una de las distintas provincias fisiográficas, pueden estar constituidas por materiales característicos. Por lo que, aunque es muy relativo, se podrían establecer las regiones donde es más factible encontrar los tipos de suelos tratados en este trabajo. La importancia de que se pudiera lograr esto más específicamente, reside en que si se zonifican y se llegara a establecer las propiedades y características de comportamiento de estos suelos bajo parámetros confiables, los ingenieros obtendrían grandes beneficios, porque con estas informaciones en muchos casos solo requerirían de sondeos y pruebas de control para verificar lo ya estudiado en esas regiones, y aunando a esto lo expuesto en el inciso anterior, ya no tendrían que hacer todos los estudios que hasta la fecha se llevan a cabo con el consecuente y muchas veces injustificable incremento del costo de las obras.

Entonces, en esta idea, a continuación menciono las provincias fisiográficas de México (según Raisz, 1964) con una mayor probable tendencia a tener los suelos mencionados, que aunque se ve como algo muy general y tal vez utópico, siento que puede ser una base de los primeros esfuerzos para que continuando los estudios y unificándolos (como se menciona en el inciso anterior) en reuniones nacionales, simposios, etc., se logre una mejor localización de suelos, así como también se consiguiera un buen acervo de datos con el fin de que al hacer es

tudios que incluyan análisis estadísticos, se establezcan parámetros confiables del comportamiento de los mismos.

El mapa que a continuación se presenta, muestra las Provincias Fisiográficas de México, según Raisz.



Provincia Fisiográfica de Baja California.

Está constituida por la totalidad de la Península de Baja California, dividida a su vez en las Subprovincias del Delta del Río Colorado y del Llano de la Magdalena (Tierras bajas). En su zona lo extremo del clima al congelar y descongelar el agua atrapada en los intersticios de las rocas influye de manera definitiva en la rápida intemperización de las mismas, - especialmente en las de textura granular, formando suelos residuales de la alteración mecánica de los granitos principalmente.

Para este trabajo, guarda especial interés la subprovincia del Delta del Río Colorado, porque en la zona de su desembocadura se encuentran numerosas dunas y en la región de Mexicali afloran sedimentos del Cuaternario que se depositaron en un ambiente lagunar (que se supone son de origen fluvio lacustre), observando que hacia el oriente predomina los sedimentos arenosos de origen fluvial (SMMS, 1976) como también los residuales.

Cordilleras Sepultadas.

Esta provincia está dividida en las Subprovincias: Desierto de Sonora, Sierras de Piemonte, los Deltas y Costa Sinaloa Nayarit; se ubica al Noroeste de la República Mexicana y comprende parte de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. Se caracteriza porque hacia el este, las montañas se hacen más elevadas con pendientes muy leves y se extienden a lo largo de toda la costa, desde Sonora hasta Nayarit. Esta región que presenta montañas asimétricas, geológicamente muy complejas, se hace más angosta y menos árida hacia el sur. (SMMS, 1974).

Como es de pensarse, dada la heterogeneidad de la morfología de la provincia, se pueden observar en las distintas regiones gravas, arenas, limos y arcillas en depósitos de piamonte, aluviales, eólicos, residuales, de playa y de barra pertenecientes en su mayoría al Cuaternario; pero, tratando de "cerrar el círculo" que plantea esta situación, se tiene que las Subprovincias del Desierto de Sonora y de los Deltas presentan una faceta más definida, en cuanto a los suelos que en ellas se pueden encontrar, por lo que sólo se tratan éstas a continuación:

Subprovincia del Desierto de Sonora.

"Es una franja de aproximadamente 550 Km. de longitud por 200 Km. de anchura. Se localiza hacia la mitad occidental del estado del mismo nombre. Está constituida por montañas de dirección NNW-SSE, rodeadas de amplios abanicos y planicies aluviales, semejando islas que emergen de los aluviones, esta característica es lo que le da el nombre a la Provincia" (SMMS, 1974).

"Las corrientes en esta porción, forman un modelo dendrítico rectangular parcialmente integrado, con arroyos que se pierden en el aluvión, para volver a aparecer aguas abajo. La mayoría de los ríos principales presenta cursos entrelazados (corrientes trenzadas), manifestando la naturaleza permeable de los suelos así como la granulometría arenosa y gravosa predominante". (SMMS, 1974).

"Hacia la esquina NW de Sonora, en el Desierto de Altar, la morfología de planicies aluviales, se ve algo modificada por la presencia de depósitos eólicos que constituyeron médanos a lo largo de una franja de 130 Km. de longitud por 40 Km. de anchura" (SMMS, 1974).

Subprovincias de los Deltas.

Tiene 150 Km. de Longitud por 50 Km. de anchura, Está formada por los deltas de los ríos Yaquí, Mayo y Fuerte, hacia la esquina sur del estado de Sonora... "Es una fértil llanura, en la -- cual los ríos antes mencionados pierden su caudal por infiltra-- ción a lo largo de sus cauces divagantes; se observan muchos --- meandros abandonados y secciones de arroyos muy onduladas que -- representan los cauces de antiguos ramales que distribuyeron la-- carga de los ríos por sus deltas (Raisz, 1964)."

"Hacia las orillas extremas, los deltas están modificados -- por la acción de las olas y corrientes litorales que han cons--- truido barras arenosas que a veces, propician la formación de pe-- queñas bahías, lagunas, esteros y áreas pantanosas " (SMMS, 1974)

En general se considera la provincia como una zona de baja - sismicidad exceptuando la región costera donde, debido a la cer-- canía con el sistema de la Falla de San Andrés y la zona de sub-- ducción* de la Placa de Cocos, la sismicidad es un poco mayor.

Sierra Madre Occidental.

Dividida en las subprovincias de Meseta de Riolita, Mesetas con Cuencas y Sierras Alargadas. Es un espectacular conjunto -- montañoso de orientación NNW-SSE que se extiende con esta direc-- ción desde la frontera con los Estados Unidos hasta la provin-- cia denominada Eje Neovolcánico (en las cercanías de la ciudad-- de Guadalajara). La limitan al poniente la provinvia de Cordi-- lleras Sepultadas y al oriente las provincias de la Mesa Cen--- tral, Sierras y Cuencas y la subprovincia de las Sierras Atrave-- sadas. Ocupa parte de los Estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco y Nayarit.

Se encuentra formando parte de la zona de sismicidad poco-frecuente (penisísmica) de la Carta Sísmica de la República Mexicana, desarrollada por J. Figueroa. (1959).

Subprovincia de la Meseta de Riolita.

Comprende una masa compacta de altas planicies y cordilleras bisectada profundamente por los ríos que han labrado impresionantes cañones largos y estrechos, con laderas que forman altos cantiles. En el Estado de Chihuahua se le conoce localmente con el nombre de Sierra Tarahumara.

Las principales corrientes que drenan esta parte de la sierra son el Río Papigochic y Bavispe que a su vez son tributarios del sistema Aros-Yaqui que desemboca en el Golfo de California.

En Sonora esta provincia ocupa la mitad oriental del estado, extendiéndose por el este hacia el borde oeste de Chihuahua.

"Hacia la parte occidental de esta provincia, las altas montañas son asimétricas, reducen considerablemente los escarpes en las laderas y, con frecuencia, las vertientes orientales tienen una pendiente menor que las occidentales" (SMMS, 1974).

"Los ríos principales escurren de norte a sur y de sur a norte, paralelamente a los ejes de la sierra, con tributarios casi perpendiculares a ellas. Los meandros de los ríos, así como los cruces de las sierras, son muy forzados, lo que sugiere un control por fallas más o menos reciente". (SMMS, 1974).

Subprovincias de Sierras Alargadas.

Localizada al NNW de la Provincia, abarca una pequeña porción del estado de Sonora. Está formada por cuerpos batolíticos* como el de la Sierra de Moctezuma y Oposura., cuerpos --- graníticos* y riolíticos * como la Sierra de Nacozari, granitos de la Sierra de Las Mesteñas y Batamote, calizas de la Sierra de Cabullona, y riolitas de la Sierra de Cumpas, todas ellas - de formas alargadas y separadas por valles relativamente angostos.

Subprovincia de Mesetas con Cuencas.

Participa de la morfología de las dos provincias donde se encuentra ubicada. (Cuencas y Sierras y Sierra Madre Occidental).

Los valles de esta región están constituidos por materiales terciarios y cuaternarios (tobas, arenas, gravas y limos).

Sus partes altas están constituidas por mesetas con lavas riolíticas e intrusivos graníticos como el de la Sierra del -- Nido. Hacia el Sur, en Aguascalientes y Zacatecas se presentan andesitas* del Cretácico-Terciario.

Sierras y Cuencas.

También la Provincia de Sierras y Cuencas ha sido denominada como altiplanicie Mexicana Septentrional, Mesa Central Septentrional, Llanuras Boreales, Altiplanicie Septentrional, Meseta Central del Norte y Región de los Bolsones. (Tamayo, 1962 Vivó 1948) (Ordoñez, 1936) (Almada 1945: Hawley, J.W., 1969).

Localizada al Centro Norte de la República Mexicana; abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango. Limitada por la provincia de la Sierra Madre Occidental al Poniente y al Oriente y Sur por la provincia de la Sierra Madre Oriental. Se divide en la subprovincia de Sierras y Cuencas y Meseta de Coahuila. En su porción Norte se caracteriza por ser una superficie desértica, en la que emergen aisladas sierras plegadas y falladas que separan amplias llanuras formadas por depósitos marinos-lacustres. Las sierras de Juárez y Muleros están constituidas por rocas sedimentarias (calizas, areniscas, lutitas y arcillas) con algunos afloramientos de rocas ígneas y metamórficas. Las llanuras o bolsones están constituidos principalmente por material sedimentario con muy escasas calizas y lutitas y particularmente por arcillas, gravas y arena, que fueron depositadas en grandes espesores durante el período Terciario y el Reciente.

En la región oriental del estado de Chihuahua existen amplias llanuras donde se forman cuencas internas o bolsones.

Mesa Central.

Localizada al Centro de la República Mexicana, está limitada al Norte y Oriente por la Sierra Madre Oriental, al Sur por el Eje Neovolcánico y al Poniente por la Sierra Madre Occidental. Tiene una altitud media de 2000 metros sobre el nivel del mar, abarca parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato. Topográficamente se presenta como una sucesión de llanuras de distintos niveles, limitadas por nevaduras volcánicas cuyo desagüe es el sistema Lerma-Santiago y está rodeado de relieve alto en general.

Los rellenos de la zona baja de origen aluvio-lacustre,-- alcanzan espesores pequeños y los lagos someros son frecuentes en el área.

Hacia el límite de esta provincia con el eje neovolcánico en el área de Irapuato, se presenta un extenso depósito aluvial en el ancho valle de la Bajada, limitado por formaciones de basalto y de calizas y lutitas al norte y noroeste de esta ciudad. Al este se encuentran areniscas y conglomerados* y al sureste brechas volcánicas (SMMS 1976).

La Llanura del Bajío, está constituida principalmente por una sucesión de suelos aluviales y rocas volcánicas (brechas, tobas y derrames lávicos) de composición variable entre basaltos y riolitas, con predominancia de el andesitas en la parte inferior y de riolitas en la superior.

El Valle de San Luis, también llamado de Tangamanga, está limitado al este por los macizos calizos de la Sierra de Alvarez, al sur por las llanuras o planos lomeríos aluviales del Valle de Villa de Reyes, al oeste por las prominencias riolíticas de las Sierras de San Miguelito, El Manzano y Mezquitic, y al norte por los lomeríos andesíticos del Valle de Aqualulco y por la Sierra de Villa Hidalgo; las calizas corresponden en edad al Cretácico Inferior, en tanto que las formaciones aluviales y volcánicas datan del Pleistoceno y Reciente de Período Cuaternario. Estos depósitos aluviales en el Valle, cubren a las rocas ígneas extrusivas y riolíticas del Cenozoico Medio. (SMMS 1976).

Sierra Madre Oriental.

La Sierra Madre Oriental se localiza en la porción centro oriental de la República Mexicana, se extiende con un rumbo - NNW-SSE desde las cercanías del Big Bend en Texas hasta las -

inmediaciones de Jalapa donde se ve limitada por el Eje Neovolcánico. Abarca parte de los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Puebla y Veracruz.

La cruzan numerosos ríos en los que se encuentran sitios que reúnen características geológicas y morfológicas aceptables para establecer aprovechamientos hidroeléctricos.

Se divide esta provincia en cuatro subprovincias; Sierras del Norte; Sierras Atravesadas, Sierra Alta y las Sierras Bajas. (Raisz, e. 1964).

Subprovincia de las Sierras del Norte.

Localizada al noroeste de la República. Las Sierras que la constituyen forman principalmente amplias estructuras alargadas y muy irregulares. "Hacia el N. y NE de Monterrey, las estructuras suavemente plegadas y quizá normalmente afalladas (Sierra de Picachos, Sierra de Sabinas-Lampazos, Sierra de Peñones, Serranía del Burro), se encuentran en contraste con los elementos intensamente deformados de la provincia de Sierras y Cuencas." (Humphrey, W.E. y Díaz, 1958).

Los valles que separan las cordilleras son generalmente amplios, constituyendo bolsones (Bolsón de Monclova).

Subprovincia de las Sierras Atravesadas.

Esta subprovincia se forma por una serie de sierras alineadas en Dirección E-W (Sierras de Parras de Mayran, La Peña, Viesca, Jiménez y la Campana), que van desde Saltillo hasta Torreón y Nazas donde su alineación vuelve a ser NW-SE (Sierras del Rosario, Mapimí, del Soldado, del Sarnoso y Bermejillo), separadas entre sí por valles de fondo plano y paredes -

muy empinadas (Valle de Agua Nueva, Bolsón de San Carlos, Laguna de Viesca, Laguna de Mayran). Las sierras generalmente están compuestas por sedimentos mesozoicos (Calizas en su mayoría y con menor grado lutitas* y evaporitas*), excepcionalmente afectadas por grandes intrusivos (Sierra del Sarnoso) y atravesadas por numerosos cañones; los valles, constituidos por grandes espesores de sedimentos terciarios y cuaternarios (gravas, arenas y limos), producto de la intemperización de las sierras que los bordean.

La litología del Cuaternario la constituyen los aluviones de espesor desconocido y abanicos aluviales al pie de las sierras y en el fondo de los valles (SMMS, 1976).

Subprovincia de la Sierra Alta.

Forman esta subprovincia cordilleras de caliza que constituyen grandes anticlinales con flancos escarpados, atravesados a su vez por profundos cañones y gargantas. Hacia el sur la altura de las cordilleras disminuye. En algunos lugares se presenta el fenómeno de carsticidad, debido a la disolución de las rocas calcáreas. A todo lo largo de la subprovincia, la transición a las tierras bajas de la costa es repentina, debido a que no existen abanicos en esta parte. (Raisz E., 1964).

Subprovincia de las Sierras Bajas.

Constituida por una serie de sierras paralelas a las de la subprovincia de la Sierra Alta que la limita al oriente, sus rasgos estructurales son semejantes, únicamente su altura es un poco menor ya que su base tiene un promedio de 1800 m. sobre el nivel del mar (Raisz, 1964).

Los valles son un poco más amplios que en la Sierra Alta y se encuentra rellenos de aluviones que bajan de las sierras.

Las rocas que la constituyen son en general las mismas de la subprovincia adyacente con un dominio de calizas y calizas arcillosas y valles rellenos de gravas y arenas; sin embargo esta subprovincia presenta mayor abundancia de rocas volcánicas tales como : riolitas, dacitas, andesitas y basaltos, --- principalmente en las zonas cercanas al Eje Neovolcánico (Estados de Querétaro y San Luis Potosí).

Planicie Costera del Golfo.

Esta provincia se extiende desde la Florida hasta Yucatán y está limitada hacia el litoral del Golfo de México por una serie de lagunas. Al norte y al Sur de Veracruz la planicie costera está cortada respectivamente, por el eje volcánico y por el Macizo de los Tuxtlas encontrándose además limitada al poniente por la Sierra Madre Occidental. La parte plana es en ciertos lugares una faja relativamente angosta (Raisz).

En distintos lugares bordeando el litoral, aparecen los siguientes materiales: todo ellos de edades cuaternarias: Dunas (arenas y arenas limosas); depósitos de playa y de barra (arena y arenas limosas); y depósitos aluviales (arenas y arcillas en alternancia). Tierra adentro alejándose de la costa se observan afloramientos del Terciario que forman lomeríos y ocasionalmente se encuentran formaciones del Cretácico cerca de los límites de esta Provincia con la correspondiente a la Madre Oriental.

En el área sur y sureste de esta provincia predominan las tierras bajas y pantanosas con algunos lomeríos. Se presentan también cauces temporales, albardones naturales y semilunares meandros abandonados y lagunas de poca profundidad, todos rasgos característicos de una llanura de inundación, en su etapa senil dentro del Ciclo Geomorfológico de erosión. También es observable en esta zona la existencia del cordón litoral del-

que se ha hablado producto de los depósitos de mares someros y fluctuaciones en el nivel del mar.

Las rocas que afloran en esta parte de la provincia son -- principalmente de edad Terciario o Reciente, constituidas por arenas de grano grueso y fino interestratificadas con arcillas, lechos fosilíferos, areniscas, conglomerados y depósitos clásticos de grano fino y gravas de orígenes tanto marinos como aluviales, lacustres, palustres y continentales. El ambiente marino, la humedad y el clima favorecen el intemperismo químico que ataca tanto a las rocas jóvenes como a las antiguas.

Como estructuras sepultadas son características de esta área los domos salinos que se presentan semeando columnas aisladas de sal o en forma de masas intrusivas de gran extensión. "Por disolución de la sal o por su explotación, pueden quedar cavidades debajo del casquete, que pueden ocasionar hundimientos de tipo graben* en una gran extensión. La laguna del Tabasqueño, parece ser un ejemplo de hundimiento por disolución. -- Tres grandes fallas de la corteza terrestre que cruzan el territorio del Estado de Veracruz y se internan en el Golfo de México precisamente al norte de Coatzacoalcos, se consideran como estructuras de importancia en la región conocidas como -- las fallas de Zacamboxo y el Clarión, que corren aproximadamente paralelas en el sentido W-E, y la probable falla del Istmo de Tehuantepec que cruza a éste en el sentido S-N. A ella se han asociado los epicentros que ha generado los sismos de mayo res consecuencias en la región. (Vieitez U., 1970).

Eje Neovolcánico.

Forma una amplia franja que cruza toda la República Mexicana de este a oeste, abarcando parte de los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Morelos, Michoacán, Jalisco, Nayarit y Colima y totalidad del estado de México, Tlax

cala y Distrito Federal. Se caracteriza por una altiplanicie - situada a más de 2000 metros sobre el nivel del mar, de la que sobresalen numerosos cerros de varios cientos de metros de altura. La mayoría de estos representan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas y cenizas, cuya composición litológica va desde rocas basálticas a riolíticas. Las emisiones lávicas tienen edades que varían desde el Plioceno hasta el Reciente, observándose gran variedad en su estado de erosión. Entre los cerros volcánicos se abren llanuras y cuencas que están formadas en gran parte por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas. (Raisz).

Las rocas que constituyen en general la región son series volcánicas constituidas de lavas y brechas riolíticas, traquíticas, andesíticas y basálticas, conglomerados, lutitas y tobos y aluviones del Cenozoico y Reciente; lutitas, areniscas, calizas y dolomías* del cretácico y algunas rocas Paleozoicas o Mesozoicas metamórficas cerca del límite de la Provincia con la Sierra Madre del Sur en la región de Valle de Bravo, Angangueo y Tlalpujahua.

En la región centro oriental de esta provincia se encuentra el Valle de Toluca, el valle de México y el Valle de Puebla, el primero de ellos constituye la meseta más elevada en la República con una altitud de 2 650 ms.n.m. Los otros dos descienden en altura a medida que se acercan a la costa del Golfo de México. (SMMS), 1976)

Las grandes cuencas lacustres que ocupaban extensas zonas de los valles de México y Toluca, preexistentes a tres épocas de vulcanismo del Terciario, fueron casi en su totalidad rellenas por productos cineríticos (andesitas y basaltos) procedentes de las citadas series de erupciones volcánicas. Durante períodos de escasa actividad volcánica, en los cuales -

la alteración y erosión de las rocas fueron acompañadas de -- lluvias abundantes, se produjeron rellenos aluviales que aparecen depositados en los valles o en los cauces de los ríos. (S MMS, 1976, Vol. I)

Esta provincia está considerada como una zona sísmica o -- de sismicidad frecuente en la República Mexicana (Figueroa A. 1959).

Sierra Madre del Sur.

Incluye toda la región montañosa al sur del eje neovolcánico desde la porción sur del estado de Nayarit hasta Tehuantepec en el estado de Oaxaca, abarcando parte de los estados de Morelos, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Puebla, Oaxaca y Veracruz. Se ha dividido en seis subprovincias que son la Meseta del Norte, La Cuenca del Balsas-Mezcala, La Vertiente sur, La Mesera de Oaxaca, Sierras del NE y la Planicie Costera del Pacífico.

La sismicidad de esta provincia es alta.

Subprovincia de la Meseta del Norte.

Ubicada en la porción noroccidental de la provincia abarca parte de los estados de Colima, Jalisco y Nayarit. Está -- formada por una serie de sierras cortadas por profundos cañones construidos en su mayoría por rocas metamórficas Paleozoicas e intrusivas Mesozoicas; no faltando partes en las que aparecen sedimentos marinos del cretácico, coronados por depósitos clásticos continentales (conglomerados*, arenas, arcillas localizadas cerca de la ciudad de Colima y Puerto Vallarta).

Subprovincia de la Cuenca Balsas-Mezcala.

Orientada ESE-WNW, se extiende en esta dirección unos 650-Km., al sur por la subprovincia de la Vertiente Sur y al Oriente por la subprovincia de la Meseta de Oaxaca, abarcando parte de los estados de Colima, Michoacán, Guerrero, Morelos, Puebla y Oaxaca.

Su forma en general es alargada un poco más ancha hacia el este cerca de su límite con la Meseta de Oaxaca. (Raisz). Está formada por profundos y sinuosos valles a lo largo de los cuales los ríos Balsas, Mezcala y Tepalcatepec han ido labrando las sierras en algunas partes hasta 3000 m. (Sierra Madre del Sur), dándole a esta cuenca una topografía muy abrupta.

Subprovincia de la Meseta de Oaxaca.

Localizada al oeste de la Provincia, abarca casi todo el estado de Oaxaca y la parte SE del estado de Puebla. Afloran en esta provincia además de las rocas metamórficas de distintas épocas, depósitos clásticos continentales terciarios y cuaternarios (gravas, arenas y arcillas.)

Subprovincias de las Sierras del NE.

Se extiende desde las cercanías de la ciudad de Córdoba -- hasta Tehuantepec, al borde nororiental de la subprovincia de la meseta de Oaxaca. (Raisz).

Las rocas que afloran en esta subprovincia están constituidas por calizas, margas y lutitas del Cretácico, depósitos clásticos continentales (arenas, areniscas, arcillas y cenizas volcánicas) y en el fondo de los ríos depósitos aluviales.

Planicie Costera del Golfo y Yucatán, al poniente por la Provincia de la Sierra Madre del Sur y al Sur por el Océano Pacífico, internándose en la República de Guatemala. Abarca parte de los estados de Oaxaca, Veracruz, Tabasco y casi la totalidad del estado de Chiapas. Está subdividida en cinco Subprovincias: La Planicie Costera, La Sierra de Chiapas. La Depresión Central, los Altos (Meseta de Chiapas y las Sierras Plegadas al Norte.

Morfológicamente constituye una estrecha planicie costera con un gran número de lagunas litorales.

De acuerdo a la carta Sísmica de la República Mexicana, esta provincia queda comprendida en la Zona Sísmica de México, -- con una alta frecuencia en sismos producidos en la región (Esteva M., 1970).

Subprovincia de la Planicie Costera.

Es una estrecha franja que corre paralela a la costa en -- dirección NW-SE, limitada por una gran cantidad de lagunas litorales y esteros. Limitada al N y NE por la Sierra de Chiapas al W por la Subprovincia de la Meseta de Oaxaca, al Sur por -- el Golfo de Tehuantepec y al SE por Guatemala. Destacan en su litoral la Laguna Superior e Inferior y el Mar Muerto, tres la gunas litorales.

Los depósitos que la constituyen son principalmente Cuaternarios de tipo litoral, aluvial y eólico, formados por arenas gravas , limos y arcillas. Hacia el noroeste existen algunos -- "manchones" de rocas volcánicas de tipo andesítico y basáltico de edad Cenozoica (IG, UNAM, 1976).

Planicie Costera del Golfo y Yucatán, al poniente por la Provincia de la Sierra Madre del Sur y al Sur por el Océano Pacífico, internándose en la República de Guatemala. Abarca parte de los estados de Oaxaca, Veracruz, Tabasco y casi la totalidad del estado de Chiapas. Está subdividida en cinco Subprovincias: La Planicie Costera, La Sierra de Chiapas, La Depresión Central, los Altos (Meseta de Chiapas y las Sierras Plegadas al Norte.

Morfológicamente constituye una estrecha planicie costera con un gran número de lagunas litorales.

De acuerdo a la carta Sísmica de la República Mexicana, esta provincia queda comprendida en la Zona Sísmica de México, -- con una alta frecuencia en sismos producidos en la región (Esteva M., 1970).

Subprovincia de la Planicie Costera.

Es una estrecha franja que corre paralela a la costa en -- dirección NW-SE, limitada por una gran cantidad de lagunas litorales y esteros. Limitada al N y NE por la Sierra de Chiapas al W por la Subprovincia de la Meseta de Oaxaca, al Sur por -- el Golfo de Tehuantepec y al SE por Guatemala. Destacan en su litoral la Laguna Superior e Inferior y el Mar Muerto, tres lagunas litorales.

Los depósitos que la constituyen son principalmente Cuaternarios de tipo litoral, aluvial y eólico, formados por arenas gravas, limos y arcillas. Hacia el noroeste existen algunos -- "manchones" de rocas volcánicas de tipo andesítico y basáltico de edad Cenozoica (IG, UNAM, 1976).

Subprovincia de la Sierra de Chiapas.

Se localiza al NNE de la Planicie Costera. Es una gran estructura que se levanta abruptamente de las tierras bajas, --- presentando un alineamiento de NW-SE. Los ríos que la cortan - siguen una orientación aproximadamente perpendicular a esta di-rección, descendiendo hacia el Océano Pacífico o hacia la De-- presión Central (Cuenca del Grijalva) (CFE, 1974).

Subprovincia de la Depresión Central.

Es una faja de terreno practicamente plana que se extiende desde la frontera con la República de Guatemala hacia el NW y termina cerca de los límites con el estado de Oaxaca. Esta de- presión corresponde a un sinclinatorio* donde afloran principal- mente rocas cenozoicas y algunas cretácicas (conglomerados, lu- titas, areniscas, limolitas) que debido a su poca resistencia a la erosión han permitido que con el tiempo el río Grijalva - haya ido modelando un amplio valle, plano en su mayor parte. (- CFE, 1974).

Subprovincia de la Vertiente Sur.

Localizada al sur de la Subprovincia de la Cuenca del Bal- sas-Mezcala, abarca parte de los estados de Michoacán, Guerre- ro y Oaxaca. Está formada por una angosta franja de montañas - que corren paralelas a la costa del Pacífico y que en algunas- ocasiones surgen directamente del Océano interrumpiendo la --- angosta subprovincia de la Llanura del pacífico. (Raisz). Está constituida principalmente de rocas precámbricas metamórficas, y volcánicas del Cenozoico.

Subprovincia de la Planicie Costera del Pacífico.

Es una estrecha franja de tierra localizada al sur de la -

República Mexicana. Va de la desembocadura del río Balsas en el límite entre los estados de Guerrero y Michoacán, hasta la desembocadura del río verde en el estado de Oaxaca.

Está constituida principalmente por rocas cenozoicas (boleos, gravas, arenas gruesas y finas, limos y arcillas), formando depósitos litorales, aluviales y deltaicos y depósitos eólicos en forma de dunas. (SMMS 1976)

Tierras Altas de Chiapas y Guatemala.

Se localiza al sureste de la República Mexicana. Está limitada al Norte por las Provincias de la Planicie Costera del Golfo y Yucatán, al Poniente por la provincia de la Sierra Madre del Sur y al sur por el Océano Pacífico, internándose por la República de Guatemala. Abarca parte de los estados de Oaxaca, Veracruz, Tabasco y casi la totalidad del estado de Chiapas.

En esta provincia se encuentran rocas Paleozoicas constituidas por granitos intrusivos de la Sierra de Chiapas así como de calizas dolomías, lutitas, areniscas, esquistos* y filitas* además de depósitos clásticos del cuaternario, gravas, arenas limos y arcillas en la planicie costera y en los valles de los ríos que corren por la provincia (CFE, 1974, 1975).

Subprovincia de los Altos (Meseta de Chiapas).

Formada por una amplia meseta limitada al norte por las Sierras Plegadas y al sur por la Depresión Central. Los ríos han labrado profundos cañones como el Sumidero al NE de Tuxtla Gutiérrez. Está constituida por rocas sedimentarias cretácicas: calizas, lutitas, limolitas y areniscas; rocas volcánicas del Cenozoico (lavas y tobas andesíticas y basálticas) y-

terrazas del Cuaternario constituidas por conglomerados, tobas y arenas (De Cserna. 1961; IG., UNAM, 1976).

Subprovincia de Sierras Plegadas.

Ubicada al norte de la Provincia hacia el límite de ésta con la Planicie Costera del Golfo y la Provincia de Yucatán. Consiste de un apretado manojó de sierras fuertemente deformadas, tanto como la Sierra Madre Oriental, cuyos pliegues se van suavizando hacia el NE. Desciende bruscamente hacia la Planicie Costera en el estado de Tabasco. Los ríos principales siguen la dirección de las sierras (NW-SE), y los valles que estos forman son en su mayoría estrechos y alargados. (Raisz E)

Su porción oriental está constituida por rocas Mezosoicas (Calizas, lutitas, limolitas y areniscas) y su parte occidental principalmente por rocas terciarias (lutitas, areniscas y conglomerados). (IG UNAM, 1976)

Yucatán.

Esta provincia se ubica en la Península de Yucatán que comprende los estados de Yucatán, Quintana Roo y parte de Campeche. Está dividida en tres subprovincias: La de Llanuras con Dolinas al norte de la península, La Plataforma de Yucatán al SSW de la misma y la costa Baja hacia el SE de la Provincia

El rasgo morfológico más claramente identificable en esta región, es el de una topografía del tipo cárstico que corresponde a la etapa inicial de disección dentro del ciclo geomórfico* de erosión.

"En las calizas existen cavidades y conductos de disolución que varían desde pequeños poros hasta amplias cavernas."

El colapso de los techos de las cavernas ha dado lugar a numerosas depresiones redondeadas (dolinas) grandes y pequeñas. A las formas cársticas que resultan del colapso de la frágil -- corteza de roca caliza, dejando al descubierto el manto de agua subterránea se les denomina localmente cenotes". (Springall; Espinoza; 1972).

En gran número de pequeños cortes de los caminos, en bancos de materiales y en otras excavaciones se observa un material friable y blanquecino, llamado "sahcab" que es una roca calcárea no consolidada. En algunas partes de Campeche, aparece una arcilla plástica y parcialmente seca, denominada localmente "acalché"; la cual se encuentra generalmente sobre formaciones de materiales calcáreos. (Springall G y Espinoza L, 1972).

A lo largo de la costa norte de la península, desde el extremo occidental hasta cabo Catoche, es notable la existencia de un cordón litoral angosto, separado de la tierra firme por ciénegas, marismas y lagunas pantanosas de aguas salobres que forman una angosta franja de tierra. La isla de Cancún corresponde a una barra costera de depósitos postarrecifales, estratificados y derivados de los arrecifes que integran esta porción del continente, así como por depósito de limos y arenas superficiales de espesor raquíptico, que cubren los depósitos marinos (SMMS, 1976).

"Los cordones litorales están constituidos por una superestructura de antiguas dunas de arenas cementadas, contra las que se acumula actualmente arena. Bajo estas formaciones arenosas se presenta un horizonte de roca caliza correspondiente a la prolongación de la plataforma hacia el fondo marino. Esta condición se observa a lo largo de toda la costa de la península" (Springal G. y Espinoza L. 1972).

3. SUELOS RESIDUALES .

3.1 GEOLOGIA DE LOS SUELOS RESIDUALES.

Los suelos residuales son aquellos que se originan cuando los productos del intemperismo de las rocas no son transportados, quedando ligados a la roca que les dio origen denominada "roca madre", pero para fines prácticos se consideran suelos-residuales los originados por una descomposición de la roca - que supera en ese momento la velocidad de arrastre de los --- fragmentos. (Krynine, 1975)

Entre los factores principales que ejercen influencia sobre la velocidad de descomposición se reconocen:

- a) El Clima.- Que tiene como principales agentes la -- la temperatura y la lluvia. (La influencia de tempe-- ratura se manifiesta en la velocidad de las reac--- ciones químicas; la del agua, en la actividad que - logran estas reacciones, cuya intensidad va en fun- ción directa a la cantidad en que se presenta en el medio.)
- b) Vegetación Natural.- La presencia de plantas es una condición propicia para el desarrollo del suelo re- sidual, evitando por medio de troncos y raíces que los productos de descomposición de las rocas sean - arrastrados.
- c) Tiempo.- El desarrollo del suelo depende del espa-- cio de tiempo durante el cual actúan los procesos - de formación. No quiere decirse con esto que los -- suelos de la misma edad sean iguales o parecidos, - sino que el suelo como entidad dinámica modifica -- sus características paralelamente con su edad.

- d) Naturaleza de la Roca Original.- Como es obvio, bajo la acción de un medio ambiente, rocas distintas se alterarán en menor o mayor grado dependiendo de la competencia de su naturaleza para resistir el ata que de los elementos del intemperismo.

Los factores de degradación anteriores, producen dos tipos de intemperismo, es decir, dos formas diferentes de alteración de los materiales rocosos que están expuestos al aire, la humedad y los efectos de la materia orgánica:

- a) Intemperismo químico.
- b) Intemperismo mecánico.

- a) Intemperismo Químico.

Su estudio es importante porque da origen a materiales arcillosos principalmente, y estos materiales constituyen más de la mitad del volúmen de sedimentos expuestos sobre los continentes. Es definido como la descomposición química de la roca y entre los fenómenos más importantes que colaboran a su realización se menciona la lixiviación o remoción continua de los materiales solubles por las aguas que se introducen a través de la regolita o de las aberturas y poros en las rocas; así como la acción del ácido carbónico que se forma al combinarse el agua de lluvia con el bióxido de carbono del aire de los vegetales en descomposición, el cual ataca los feldespatos que forman parte de la roca hasta alterar su estructura. (Pearl, 1971)

- b) Intemperismo mecánico.-

Se entiende como la desintegración o desmenuzamiento

to de las rocas y se ve patente tanto en la acción del crecimiento de las raíces de los árboles, que separan los bloques y partes adyacentes de roca, como en la de los animales horadores, así como en los cambios de temperatura y en el arrastre de partículas por medio del agua.

"Como es de intuirse, tanto el intemperismo químico, como el mecánico, actúan en forma combinada en un proceso continuo y por esto frecuentemente no es posible diferenciar -- las acciones de cada uno". (Pearl, 1971)

Específicamente, este proceso se lleva a cabo en una serie de etapas que inician con la pérdida de cementante de la roca a la cual se le asocia una disminución en su resistencia. Esta primera etapa va seguida de una disolución de los minerales más débiles, haciendola más permeable, es decir -- se incrementa su porosidad, y a mayor porosidad, mayor penetración del intemperismo, el cual progresa con el tiempo -- por las superficies de debilidad de la roca favorecido por la infiltración de agua a través de estas superficies. En -- etapas de alteración más avanzadas hay, además, una reducción progresiva de los granos y una alteración mineralógica. Los minerales más resistentes, como el cuarzo y la calcita, permanecen como granos de arena., los feldespatos*, feldes--patoides* y micas se alteran y convierten en limos y arcí--llas. (Vieitez U., 1978).

Observando la realización de este proceso, se ha podido establecer, que generalmente las rocas sedimentarias dan lugar a suelos residuales muy arcillosos, salvo las rocas con alto contenido de sílice, como las areniscas, que devienen en arenas al igual que las rocas ígneas de naturaleza ácida como los granitos y riolitas .

"Las rocas de naturaleza básica (dioritas, basaltos, --

etc.) al llegar a un alto grado de intemperización dan por lo común arcillas que forman suelos residuales impermeables, de baja resistencia y con un grado de compresibilidad relativamente alto" (Vieitez U., 1978)

También es importante mencionar que los suelos residuales presentan por lo común partículas de todos tamaños, puesto que no han sufrido ningún proceso de selección como los que producen los medios de transporte, de ahí que con frecuencia se encuentre una gran gama de mezclas de suelos y de propiedades físicas y mecánicas que requieren estudios de Mecánica de Suelos y de Geotecnia pormenorizados para definir su comportamiento.

Estratigrafía.

Es evidente que estos suelos son los que revelan con más facilidad el material del cual se derivaron; en ellos es común que se preste lo que se conoce como el perfil o corte de un suelo maduro*, que se debe en gran parte a un intemperismo diferencial*. Los grados de intemperización junto con otras características que se mencionan a continuación han permitido la división de este perfil en una serie de zonas que facilitan su identificación:

Horizonte A:

Es esta la zona superior de donde han pasado los óxidos de hierro al horizonte subyacente u horizonte "B", siendo también en los climas secos la fuente de algunos materiales solubles que pueden ser depositados en el horizonte "B". El proceso mediante el cual estos materiales son arrastrados hacia abajo por el agua del subsuelo, es la lixiviación y es por esto que algunas veces al horizonte "A" se le da el nombre de "zona de lixiviación." La presencia de cantida--

des variables de materia orgánica tiende a dar un color al horizonte "A", que va del gris al negro.

Horizonte "B":

Esta zona descansa directamente sobre el horizonte "C": en ella el intemperismo ha actuado con mayor intensidad que en la zona subyacente, solo aquellos minerales más resistentes a la descomposición (el cuarzo por ejemplo), se pueden reconocer todavía., los otros se han convertido en nuevos minerales o en sales solubles. En los climas húmedos el horizonte "B". contiene una acumulación de material arcilloso y óxidos de hierro arrastrados hacia abajo por las aguas -- que percolan desde la superficie. En los climas secos generalmente se encuentran además de las arcillas y de los óxidos de hierro, depósitos de minerales tales como la calcita que son más solubles. Este mineral pudo también haber sido traído desde arriba, pero parte de él es llevado al horizonte "B", desde abajo, cuando el agua del subsuelo se desplaza hacia arriba, como resultado de una intensa evaporación. A causa de que el material se depósita en el horizonte "B", se conoce a éste como "zona de acumulación" (Leet, 1958).

Horizonte "C".

Esta es una zona de roca parcialmente desintegrada y -- descompuesta. Parte de los minerales de la roca basáltica -- original están presentes todavía, pero otros se han transformado en " materiales nuevos". El horizonte "C", pasa gradualmente hacia abajo a la roca inalterada. (Krynine, 1975).

A menudo se subdividen estos horizontes en otras capas -- a las que se les asignan las letras A₀₀, A₀, A₁, A₂, A₃, B₁

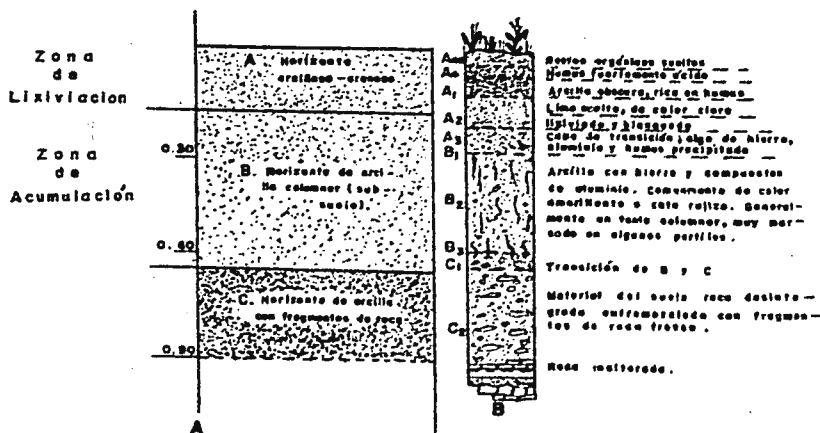


FIG. 3.1.1. A. Croquis de una sección recientemente expuesta de suelodesarrollado sobre lutita y arenisca. Los tres horizontes del perfil de suelo se distinguen con claridad. La escala de la izquierda indica el espesor en metros. (U.S. Soil Conservation Service). B. Perfil ideal de suelo en que se ven todos los horizontes que se desarrollan comúnmente en un clima templado húmedo. Los límites entre una unidad y otra son graduales. A_{oo} y A_o se presentan en los bosques, no siendo comunes en las tierras con pastos. La unidad de transición A₃-B₁ se reconoce común, pero no universalmente, en los perfiles bien desarrollados. La zona de graduación B₃-C₁ generalmente es notable, pero varía en anchura. (Modificado de Longwell y Flint, Geol. Fis., 1971, p. 136).

B₂, B₃, C₁ y C₂ (Ver Fig. 3.1.1.)

A continuación se estudian tres tipos principales de suelo. Dos de ellos son los Pedalferes y los Pedocales, que se desarrollan principalmente en las latitudes medias y el tercero denominado de Lateritas es encontrado en los climas tropicales.

Pedalfer:

Un pedalfer es un suelo en que los óxidos de hierro o las arcillas se han acumulado en el horizonte "B". El nombre se deriva del griego pedon, "suelo", y de los símbolos Al y Fe, del aluminio y del hierro. Por lo general, los materiales solubles tales como el carbonato de calcio o el de magnesio no se encuentran en los pedalferes. Por lo común estos suelos se encuentran en los climas templados y húmedos, generalmente bajo una vegetación de tipo boscoso. En la formación de los pedalferes, ciertos compuestos solubles, particularmente los que contienen sodio, calcio y magnesio, son removidos rápidamente del horizonte A por las aguas de la superficie, que se filtran en el suelo. Estos compuestos solubles siguen hacia abajo, a través del horizonte "B", impartiendo a la zona un carácter arcilloso, con un color café rojizo. En la Fig. 3.1.2., se muestra un esquema de desarrollo de un pedalfer a partir de un granito, en áreas templadas húmedas. A poca profundidad bajo la superficie yace el granito inalterado. Precisamente encima está la roca desmenuzable, parcialmente desintegrada, del horizonte "C", donde pueden identificarse todavía los minerales que constituyen el granito original, aunque los feldespatos hayan empezado a descomponerse, haciéndose nebulosos y los minerales ferrosos hayan sido oxidados parcialmente.

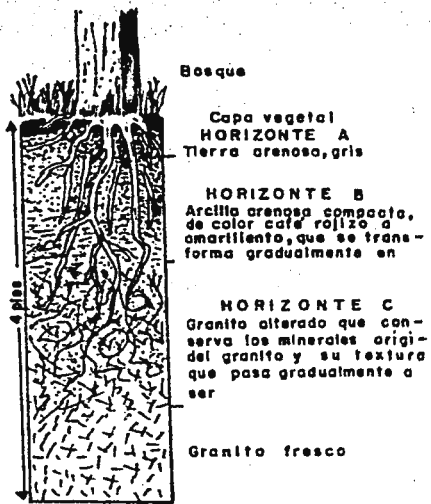


FIG. 1.1.2. Suelo pedalfer desarrollado sobre un granito. Nótese la transición del granito inalterado, hacia arriba, a través del granito parcialmente descompuesto, del horizonte C, al horizonte B, donde no queda vestigio de la estructura original del granito y finalmente al horizonte A, precisamente abajo de la superficie.

Llendo para arriba, hacia el horizonte "B", la zona de a cumulación encontramos que los feldspatos han sido convertidos en arcilla y arena y que el material tiene una textura - areno arcillosa compacta. Los óxidos de hierro o la limolita imparten al suelo un color café o rojizo. Los granos de cuarzo liberados del granito han sufrido poco cambio y es el por qué del encontrar arena en estas zonas.

El horizonte A, de unos cuantos centímetros de espesor, tiene un color que va del gris al ceniza, ya que los compuestos de hierro han sido lixiviados de esta zona y colorean — ahora el horizonte "B", que queda abajo. Por otra parte, la textura de esta zona es arenosa puesto que la mayoría de los materiales más finos han sido desplazados también hacia abajo al horizonte "B", y las sales solubles han sido disueltas en gran parte y arrastradas por el agua. La parte más alta-- del horizonte "A", es una delgada zona de material húmico de color oscuro.

Obsérvese en la Fig. 3.1.3. como se transforman los mine rales originales del granito a medida que avanza el intempe rismo . A la izquierda tenemos el cuarzo, la plagioclasa y - la ortoclasa liberados directamente del granito. "así encontramos que a medida que el intemperismo avanza, aumenta la - cantidad de caolinita a expensas de los minerales originales. El aumento inicial en la cantidad de cuarzo y ortoclasa indi ca simplemente que estos minerales tienden a acumularse en - el suelo a causa de su mayor resistencia a la descomposi--- ción. Los óxidos de hierro aumentan igualmente con el intemperismo a medida que los silicatos de hierro se descomponen" (Leet y Judson, 1968)

Pedocales:

Los pedocales son suelos que contienen una acumulación de

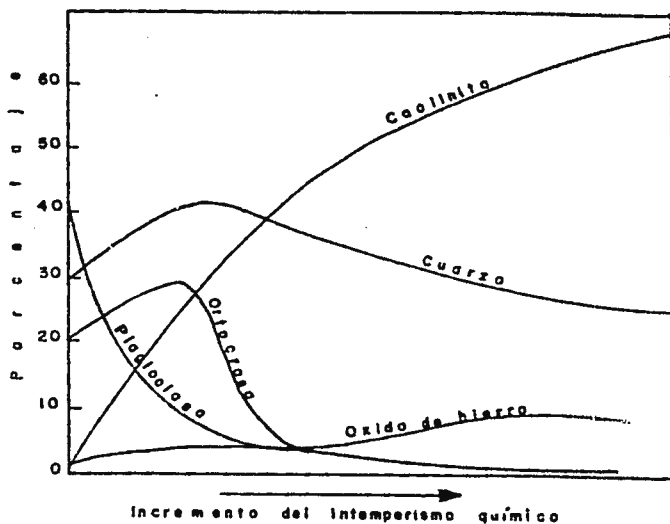


FIG. 3.1.3. Cambios en el porcentaje de minerales cuando el granito se somete a un intemperismo químico creciente. A medida que el intemperismo avanza, disminuye la abundancia de ortoclasa y plagioclasa del granito, dando lugar a un aumento de la arcilla (caolinita). Al mismo tiempo el tanto por ciento de óxido de hierro aumenta a expensas de los silicatos de hierro originales (no presentados). (Redibujado de S. S. Goldich, "A study of Rock Weathering", J. Geol., XLVI, 1938, p. 33).

carbonato de calcio. Su nombre se deriva de una combinación del griego "pedón" suelo, con una abreviación del término - calcio. Los suelos de este grupo principal se encuentran en las zonas donde la temperatura es relativamente alta, la lluvia baja y la vegetación está constituida principalmente por pastos o arbustos.

En la formación de los pedocales el carbonato de calcio y en menor extensión el carbonato de magnesio, se depositan en el perfil del suelo, particularmente en el horizonte "B". Este proceso tiene lugar en áreas donde la temperatura es alta, la lluvia escasa y el nivel superior del suelo cálido y seco la mayor parte del tiempo. El agua se evapora antes de que pueda remover los carbonatos del suelo; en consecuencia, estos compuestos se precipitan como caliche, un depósito blanquizco constituido principalmente por carbonato de calcio. Caliche es una palabra española derivada del latín, -- calix. -- . La lluvia ocasional puede arrastrar los materiales solubles hacia abajo del horizonte "A" al horizonte "B", donde más tarde se precipita, al evaporarse el agua. El material soluble puede también moverse de abajo a arriba -- dentro del suelo. En este caso el agua que está debajo del suelo o en su parte inferior sube hacia la superficie a --- través de pequeñas aberturas capilares. De esta manera, -- cuando el agua de las partes superiores se evapora, los materiales disueltos se precipitan.

Los pedocales tienden a desarrollarse debajo de los -- arbustos y el pasto, los cuales también ayudan a concen--- trar los carbonatos solubles al interceptarlos antes de -- que puedan ser desplazados hacia abajo en el suelo. Cuando las plantas mueren, los carbonatos están ya adicionados al suelo, donde son usados por otras plantas o simplemente se precipitan en el suelo por la elevada evaporación, (Fig. 3. 1.4.)

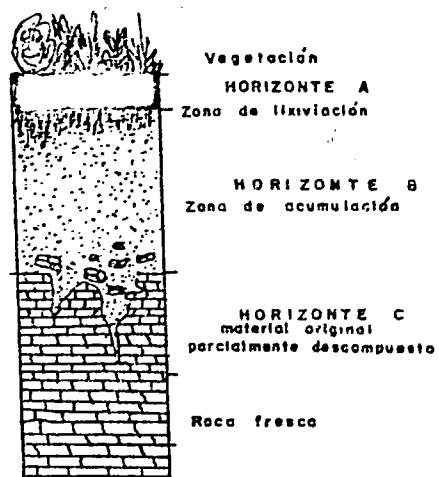


FIG. 3.1.4. El suelo aquí representado se supone derivado de una caliza.

Como la lluvia es ligera en los climas donde se forman pedocales, el intemperismo químico progresa lentamente y la arcilla se produce con menor rapidez que en los climas húmedos. Por esta razón los pedocales contienen un menor porcentaje de arcillas que los pedalferes .

Suelos de Lateritas o tropicales.

El término laterita se aplica a muchos suelos tropicales ricos en aluminio hidratado en óxidos de hierro. El nombre mismo, derivado de una palabra latina que significa "ladrillo", sugiere el color característico producido en estos suelos por el hierro. La formación de lateritas no está bien estudiada. "Los especialistas en suelos todavía no están seguros de que los horizontes A, B, y C, característicos de los pedalferes y de los pedocales, tengan sus contrapartes en las lateritas, aunque estos suelos muestren zonas reconocibles." (Leet 1968). En el desarrollo de las lateritas el hierro y el aluminio se acumulan en lo que se supone es el horizonte B. El aluminio está en la forma de $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, llamado generalmente bauxita, que es una mena del aluminio. Este mineral parece desarrollarse cuando un intemperismo intenso y prolongado elimina la sílice de las arcillas y deja un residuo de óxido de aluminio hidratado que es la bauxita. El término laterita se aplica con mayor propiedad solo a la zona en la que se ha acumulado el hierro y el aluminio. Como hemos visto esta zona puede ser equivalente al horizonte "B", de los otros suelos. Cubriéndola se encuentra con frecuencia otra zona de barro desmenuzado, y debajo de aquella existe otra de color claro, aparentemente lixiviada, que se une al material original. Algunos especialistas en suelos consideran que estas dos zonas son el horizonte "A", y el horizonte "C", respectivamente .

Por ejemplo en la ciudad de Córdoba, Ver., en la cual el subsuelo está formado por aluviones intemperizados el No. de golpes varía de dos a valores mayores de cincuenta en los -- primeros 15 m., abajo de los cuales la resistencia de los -- suelos es relativamente alta. Parece ser entonces que el espesor del material intemperizado es del orden de los 15 m.

En el área de Minatitlán el número de golpes varía de 5- a 50 hasta profundidades de 15 a 20 m., siendo la resistencia muy irregular.

En Villahermosa los suelos residuales muestran resistencias también muy variables, siendo el número de golpes cambiante de 5 a más de 25 hasta profundidades de 27 m. Aparentemente la zona de intemperismo de Villahermosa es de 27 m.

Los resultados anteriores muestran que es posible definir en diferentes regiones la profundidad de la zona intemperizada.

A pesar de que la prueba de penetración estándar no es representativa en suelos finos producto del intemperismo, -- si se observa una gran erraticidad en la resistencia del terreno con esta prueba. Las implicaciones en la ingeniería de cimentaciones de estas evidencias son importantes sobre todo en lo que respecta a los asentamientos diferenciales de las cimentaciones.

Lo anterior confirma la necesidad de que, cuando la Geología indique que el intemperismo pudiera ser irregular se requiera la realización de sondeos representativos en gran número, para zonificar el subsuelo.

Por lo que respecta al contenido natural de agua en la zona de Córdoba varía de 8 a 40%, en Villahermosa de 12 a -

50% y en Minatitlán de 8 a 40%. Podemos concluir entonces que el contenido de agua de los suelos residuales va de valores - bajos de 8% a valores máximos de 65%. Resulta interesante hacer notar que esta propiedad índice no alcanza valores demasiado altos.

Los suelos residuales producto del intemperismo de aluviones como era de esperarse, dan lugar a suelos finos que quedan clasificados dentro del SUCS, ML y CL, MH y muy ocasionalmente CH, entonces se hace notar que el LL en general resulta menor del 100% .

3.2 EXPLORACION, PRUEBAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS RESIDUALES.

Una de las aportaciones que ha dado la experiencia obtenida por exploraciones hechas en suelos de origen residual, es que los fenómenos desintegración mecánica y descomposición química de las rocas no ocurren necesariamente en forma homogénea, presentándose en ocasiones variaciones en las propiedades de los suelos de un lugar a otro de la misma localidad, siendo estas variaciones en ocasiones bastante fuertes. A esta variación de las propiedades contribuye también el hecho de que la roca madre no es necesariamente homogénea antes de que ocurra el intemperismo.

Por lo anterior, en la exploración de campo conviene detectar la heterogeneidad del suelo residual. Desde este punto de vista conviene, cuando la geología indica la posible presencia de zonas heterogéneas, la realización de sondeos representativos que a su vez se calibre con sondeos de propiedades mecánicas, siguiendo los lineamientos indicados en el inciso 2.2.

Desafortunadamente se cuenta con poca información de sondeos de propiedades mecánicas y la mayor cantidad de exploraciones son las referentes al sondeo de penetración estándar. En relación con estos últimos, se observa una tendencia general de una resistencia a la penetración estándar muy variable en los primeros metros del suelo residual tendiendo a ser baja. A profundidades, en las que el intemperismo ya no es tan intenso, se presentan resistencias relativamente altas.

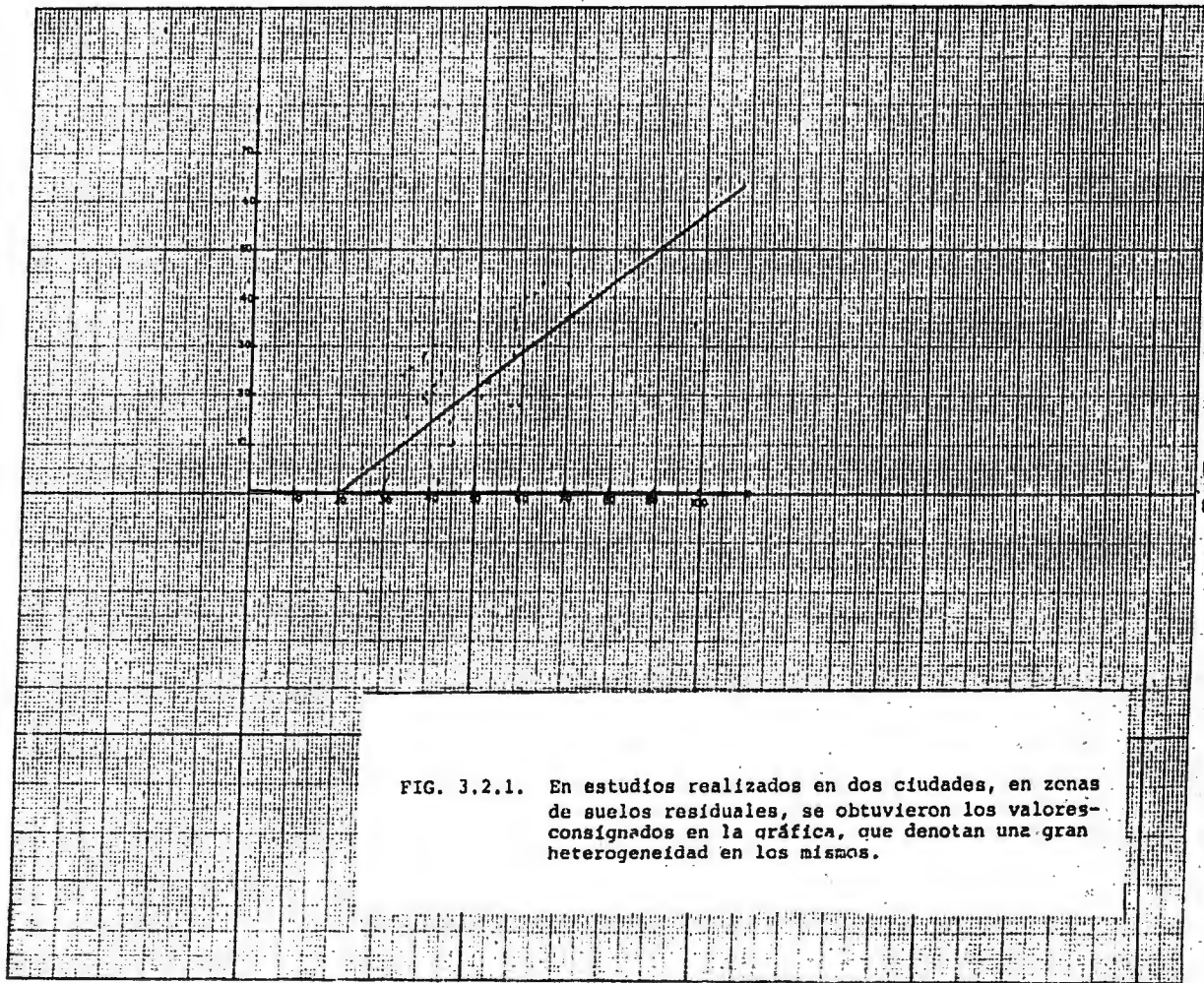


FIG. 3.2.1. En estudios realizados en dos ciudades, en zonas de suelos residuales, se obtuvieron los valores consignados en la gráfica, que denotan una gran heterogeneidad en los mismos.

3.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE SUELOS RESIDUALES.

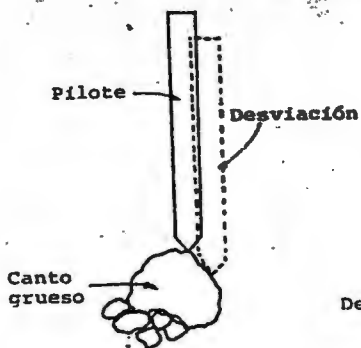
En general, los suelos residuales, constituyen cimentaciones satisfactorias para las pequeñas estructuras, pero no merecen confianza cuando las cargas son grandes .(Design of Small Dams, USBR).

En base a ello se ha observado en algunas ciudades como Minatitlán, Ver., (Zona alta) y Altamira, Tamaulipas, que el problema principal en el diseño de cimentaciones es el de la elección de la capacidad de carga adecuada para los cimientos poco profundos que son zapatas aisladas y corridas o de losas de cimentación con diversas geometrías así como pilotes en algunos casos (Vieitez U., 1970); y es que en los lugares constituidos de morfologías caracterizadas por lomeríos suaves donde el nivel freático es profundo, pueden existir suelos residuales con microestructuras inestables que o colapsan, se contraen o se hinchan al modificar sus condiciones de humedad o al alterar su equilibrio físicoquímico. Los costos de cimentación, de utilización, de mantenimiento o de reparación en estos casos son elevados.

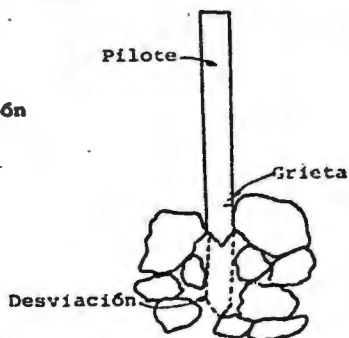
Así, entre los problemas más comunes que pueden presentarse tanto en la construcción como en el trabajo de las cimentaciones sobre estos suelos se tienen las siguientes:

- A. Se ha visto que en los suelos residuales suele aumentar la capacidad conforme se avanza hacia los estratos más profundos. También dado que el intemperismo ataca por lo general en menor grado a las partes de roca más subyacentes, se pueden presentar problemas de estabilidad de algunos pilotes que quedasen apoyados en fragmentos de roca rodeados de detritos que -

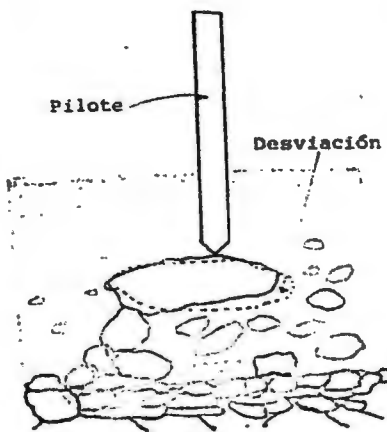
FIG. 3.3.1. Ejemplos de dificultades creadas por cantos que pudieran darse en la formación de suelos residuales:



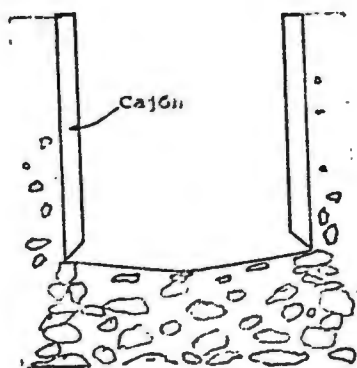
(a) - DESLIZAMIENTO



(b) - TORCIMIENTO



(c) - DESIGUALDAD DE APOYO



(d) - ENTOPPECIMIENTO EN LA HIRCA DE UN CAJÓN.

(Adaptada de C. W. Dunham, "Cimentaciones de Estructuras", 1970)

pueden causar su deslizamiento, torcimiento o su volteo con el tiempo o bajo la acción de efectos dinámicos . Para aclarar esta idea obsérvese la figura 3.3.1.

B. Debido a distintos grados de intemperización de la roca original, se pueden encontrar lugares a cortas distancias susceptibles de sufrir mayores consolidaciones que otros, lo que acarrearían problemas de asentamientos diferenciales como los que se mencionan a continuación:

B.a. Cuando los extremos de una estructura asientan más que en su parte central, es probable que el edificio se cuartee de arriba a abajo , como se indica en la figura 3.3.2., con la gran grieta señalada por "A" .

B.b. Cuando los extremos asientan menos que la parte central, quedará comprimida la parte superior del edificio. Esto probablemente no daría lugar a lesiones importantes a no ser que las deformaciones sean tan grandes que se rompa la estructura por esfuerzo cortante horizontal, o se agriete en su parte inferior a causa de las tensiones como se ve en la figura 3.3.3.

B.c. La diferencia de asientos de los dos extremos de un edificio de considerable longitud puede originar grietas en la parte superior de la superestructura, como se indica por "C" , en la figura 3.3.4.

C. Se ha observado gran peligrosidad en dejar roca meteorizada (o considerable espesor de suelos residuales), en los paramentos de zanjas de paredes poco inclinadas que

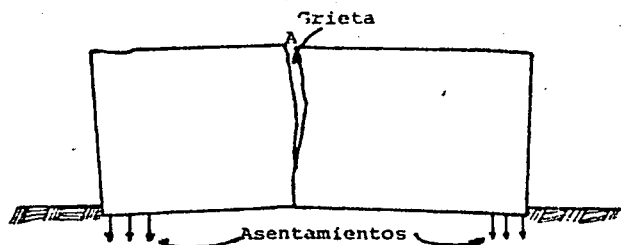


FIG. 3.3.2. ASENTAMIENTO EN LOS EXTREMOS.

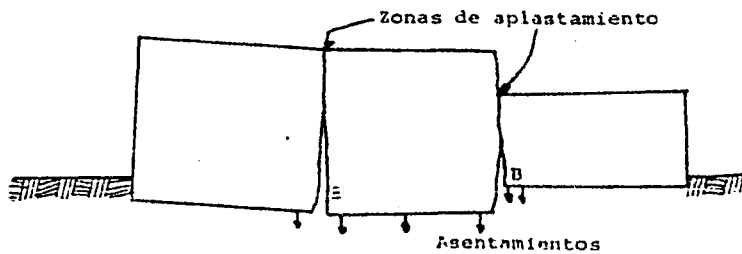


FIG. 3.3.3. ASENTAMIENTO EN EL CENTRO.

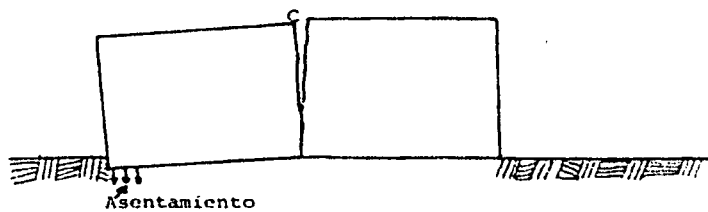


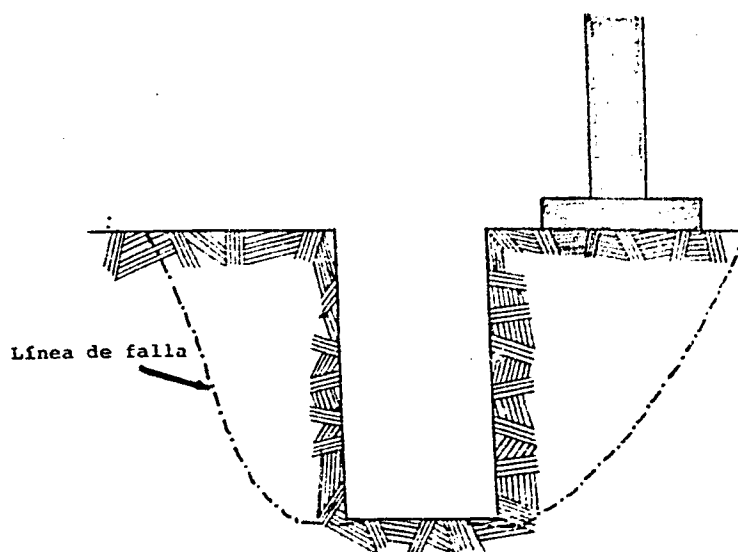
FIG. 3.3.4. ASENTAMIENTO EN UN EXTREMO.

ALGUNOS RESULTADOS PELIGROSOS DEBIDOS A LA DESIGUALDAD DE ASENTAMIENTOS (Adaptadas de Dunham, "Cimentaciones de Estructuras", McGraw-Hill, 1970).

están expuestas a los agentes atmosféricos, pues al avanzar la descomposición se suscitan derrumbes. (Ver fig. 3.3.5.).

- D. Rocas como los esquistos *, las pizarras y las areniscas se desintegran fácilmente generando rápidamente suelos residuales acarreado serios problemas como los expuestos en los incisos anteriores. La -- piedra caliza puede fracasar como cimiento debido a la disolución que se produce a lo largo de las grietas por donde se filtra el agua, propiciando además de asentamientos, deslizamientos. (Dunham, 1970)
- E. Dentro de la zona de meteorización de rocas de tipo insoluble no resulta de ninguna manera inusual que el coeficiente de permeabilidad de la roca descompuesta aumente de valores muy pequeños cerca de la superficie a valores máximos en las cercanías del límite entre la roca descompuesta y la sana. Así -- como la zona de roca descompuesta forma una cubierta relativamente impermeable que descansa sobre una capa permeable. Si el agua entra en la capa permeable a través de una abertura en la cubierta o a través de fisuras abiertas en la roca sana, se pueden desarrollar condiciones artesianas en la zona permeable y la capa superior impermeable puede llegar a deslizarse pendiente abajo aún cuando su inclinación sea muy suave. (Terzaghi y Peck, 1973).
- F. Si en un lugar de suelos residuales, no se realiza un despalle lo suficientemente profundo y/o amplio por una economía mal estudiada y se intenta conseguir ángulos entrantes pronunciados como en "C", -- del croquis mostrado en la figura 3.3.6., esquinas

FIG. 3.3.5.



En ocasiones es necesario hacer zanjas relativamente profundas, en rocas en proceso de intemperización avanzada con el objeto de alojar tuberías. Estas rocas al estar engendrando suelos residuales, pueden fallar por una línea semejante a la que se traza en la figura causando problemas considerables a posibles cimentaciones desplantadas en la cercanía de las migas como se puede deducir al observar el croquis modificado (Adaptado de C. W. Dunham, "Cimentaciones de Estructuras", McGraw-Hill, 1970).

Como en "D", ranuras verticales estrechas, ángulos-verticales agudos y cavidades separadas; se ha visto que pueden debilitar la roca cerca de la esquina "D", por efectos del avance del intemperismo y de posibles cargas dinámicas con lo que dará lugar a que ésta colapse dando lugar a asentamientos diferenciales considerables o deslizamientos (Dunham, 1970).

Un caso semejante sería cuando se intenta construir un muro de contención dejándole apoyado en una ladera rocosa donde no se ha apreciado bien la intemperización de la roca, entonces al preparar bancadas o cortes en la misma, que fueran relativamente cortas como las que se presentan en la figura 3.3.7., es probable que la falla se suscite a lo largo de la línea de trazos A-B (Dunham, 1970)

G. En cuanto a taludes, a medida que pasa el tiempo los que han sido formados por la naturaleza cualquiera -- que sea su composición se achatan, proceso éste que no -- termina hasta que las pendientes adquieran inclinaciones que solo llegan a 15 m., horizontales por 1 m. vertical -- y aún menos. Este hecho indica que los productos de la -- descomposición de roca se desplazan de manera más o menos continua y desciende hacia el fondo de la pendiente donde se acumulan y son arrastrados por erosión.

El desplazamiento de estos minerales insolubles de granó muy fino que forman la parte de la roca madre descompuesta, se produce exclusivamente por fluencia plástica lenta, y por debajo de la capa que fluye; por este fenómeno el suelo residual suele poseer una considerable cohesión, de modo que se pueden efectuar en general cortes estables para excavaciones provisionales con taludes de hasta 1 ho-

FIG. 3.3.6. En la figura se muestra una bancada CD, realizada para economizar la excavación y también la construcción.

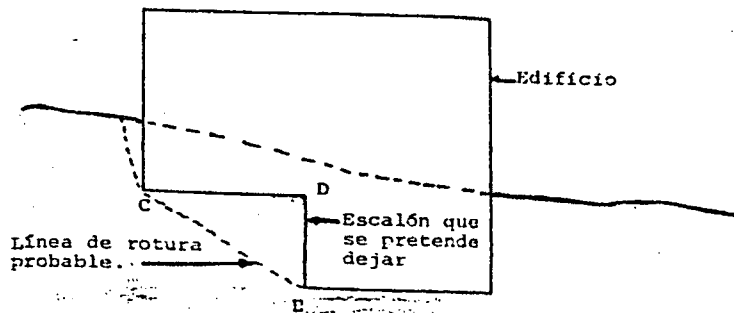
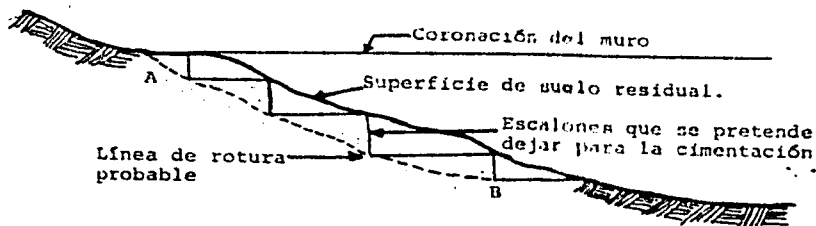


FIG.3.3.7. Escalones para el apoyo de un muro.



(Adaptaciones de C. W. Dunham, "Cimentaciones de Estructuras", McGraw-Hill, 1970)

horizontal : 5 vertical (Terzaghi y Peck, 1973).

Por contraste, como se mencionaba, las transiciones graduales desde la roca descompuesta a la intacta son características de las rocas ígneas intrusivas como el granito, y de las rocas con alto grado metamórfico como el gneiss, que contienen un bajo porcentaje de constituyentes micáceos y un alto porcentaje de materiales químicamente inestables como el feldespato. El desplazamiento de los desechos insolubles se produce como para las rocas solubles, sólo por fluencia plástica lenta. Las pendientes con una inclinación de 3 en vertical por 2 en horizontal no resulta de ninguna manera inusuales, aún en cortes profundos. Ocasionalmente se produce deslizamiento en puntos donde el talud corta a través de zonas cizalladas descompuestas o bien la orientación y la situación de las diaclasas mayores son especialmente desfavorables. Los lugares donde éstos se pueden producir raramente se conocen por anticipado y evitarlos reduciendo la inclinación de todo el talud resulta demasiado costoso (Terzaghi y Peck, 1973).

Se ha visto que las propiedades de los suelos residuales pueden variar dentro de distancias cortas, cualquiera que sea su dirección, debido a una acción errática en el grado de meteorización de la roca. Por ello, apoyándose en los resultados de perforaciones y ensayos resulta imposible predecir con algún nivel de seguridad las consecuencias de cortes practicados en laderas naturales, de los efectos que el escurrecimiento del agua desde una fuente artificial puede ejercer o bien del grado de estabilidad de taludes en excavaciones.

"La Mecánica de Suelos solo provee el conocimiento necesario para la correcta interpretación de lo que pueda observarse en el terreno antes y durante la construcción para anticipar el comportamiento de los materiales de un modo general con el fin de tomar toda la ventaja que se pueda, a la que pudiera ayudar la revisión de todo conocimiento de estudios precedentes sobre esta zona" (Terzaghi y Peck, 1973).

Con esto, se tiene que para afrontar el problema se han tomado medidas como las que se mencionan a continuación:

A. En construcciones sobre suelos residuales donde los asentamientos diferenciales permisibles por el proyecto deben ser casi nulos, es imprescindible hacer varios sondeos con obtención de muestras para conocer las características generales del subsuelo y poder también determinar las propiedades mecánicas de los estratos más importantes. El realizar pruebas de penetración al hincar a golpes el muestreador de pared gruesa, así como la toma de muestras inalteradas de penetración, al hincar a golpes el muestreador de pared gruesa, así como la toma de muestras inalteradas con muestreador Denison (dada la alta consistencia de algunos estratos subyacentes) pueden

aportar datos valiosos como se ha mencionado anteriormente.

En el laboratorio es recomendable obtener la resistencia al corte, la compresibilidad y los límites de Atterberg*.

Como ejemplo de este proceso se puede mencionar los estudios realizados para la cimentación de la unidad de potencia de la planta termoeléctrica en Altamira, Tamaulipas donde -- los suelos aparentemente son arcillas residuales de aluviones o de sedimentos marinos antiguos, donde se reportó :

-Una capa superficial de 0.8 a 1.2 m., de espesor de arcilla negra muy plástica y blanda.

-Debajo de esta capa y hasta 15 m. de profundidad, - arcillas café claro y café amarillento, fisuradas, de dureza media a alta.

-No se localizó nivel freático.

La restricción de mínimos asentamientos diferenciales se debe a los acoplamientos turbina - generador por lo que la - Unidad de Potencia debe satisfacer esa condición.

La arcilla negra superficial es relativamente blanda y - compresible y sus propiedades varían notablemente de un punto a otro, por lo que no proporciona la estabilidad volumétrica requerida. Se consideraron entonces tres alternativas de solución:

a) Losa rígida en la que apoyarán todos los elementos de la Unidad de Potencia.

b) Cimentaciones de cada elemento a base de pilotes
y

c) Retiro total de la arcilla superficial y relleno de ese espacio con material granular seleccionado, compacto por capas con un riguroso control de calidad.

Las dos primeras alternativas requerirían un cambio radical en el proyecto estructural, el cual, por ahorrar tiempo, se había concebido como proyecto tipo sencillo, en el que cada elemento se apoyara aisladamente por superficie.

El cambio representaba un retraso importante e inadmisiblemente para la iniciación de las obras, que eran urgentes. Por otra parte, la solución de pilotes ofrecía dudas en cuanto a la capacidad de carga de los mismos. Dado el tipo de arcillas (duras y fisuradas) de los primeros 15 m. de profundidad, habría sido necesario realizar varias pruebas de carga tardadas y costosas. Además, habría sido necesario estructurar los pisos para evitar desniveles y fracturas en los mismos por cambios volumétricos de arcilla superficial.

Se decidió adoptar la solución C) que permitía utilizar el proyecto estructural original (Ver Fig. 3.3.8).

Un desarrollo urbano, que no tiene tan severas exigencias en cuanto a movimientos diferenciales, ubicado en este suelo quizá no hubiera requerido la excavación total de la arcilla pero si su conocimiento preciso en cuanto a cambios volumétricos por sobre carga y por desecación para decidir si las unidades más pesadas debieran apoyarse sobre losa corrida y si los pisos y pavimentos debiesen contar con una estructura capas de soportar los eventuales cambios de volumen.

B. Otro ejemplo donde se presentan cambios volumétricos más espectaculares corresponde a arcillas residuales expansivas que se encuentran en Cd. Mante, Tamaulipas, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Son arcillas producto de la intemperización de las pizarras* que las subyacen tienen una resistencia a la compresión simple en estado natural (parcialmente saturadas) muy alta (20kg/cm^2) pe-

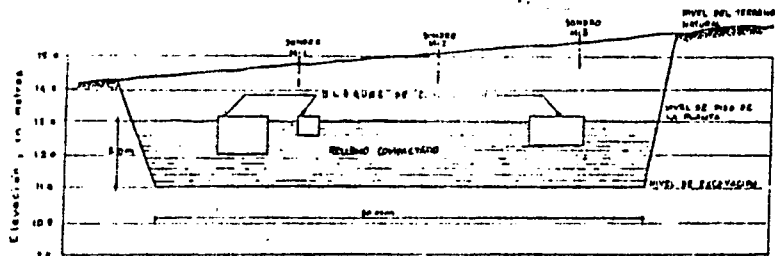


FIG. 3.3.9 Planta Termoeléctrica
Altavira. Tamps.

SOLUCION DE LA CIMENTACION

(Vieitez U., SHMS, 1978, p. III-36)

ro al absorber agua y saturarse, la pierden totalmente y se hinchan, en expansión libre, hasta 17 % de su altura original son arcillas preconsolidadas de alta plasticidad .

Las pizarras que las subyacen tienen resistencias a la - compresión simple superiores a 20 Kg/cm^2 , pero se hacen quebradizas y se intemperizan rápidamente cuando se exponen al aire (Ver fig. 3. 3. 9.) .

En estas circunstancias, y en el caso de obras urbanas, puede optarse por retirar la arcilla residual, que por lo - general tiene un espesor no mayor de 2 m. , repellar o recu- brir la pizarra para que no se intemperice y apoyar directa- mente sobre ella o sobre un relleno de material granular -- seleccionado y compactado que sustituye a la arcilla, o bien transmitir, mediante zapatas aisladas, suficiente presión - de contacto a la arcilla para contrarrestar la de hinchamien- to. Los pisos deberán ser armados y dejar espacio suficiente de respiro para que la arcilla se hinche. Alrededor de las construcciones se construirán banquetas protectoras de unos 2 m. de ancho con dentellón que interrumpa la migración de agua, y se diseñará un efectivo sistema de drenaje y todas las tuberías que transportan agua o vapor tendrán que estar perfectamente aisladas y a prueba de fugas.

Todas ellas son soluciones costosas, pero unas y otras son indispensables si se quiere evitar daños posteriores - que arruinen las estructuras o que les impongan un costoso

mantenimiento (Vieitez U., 1978).

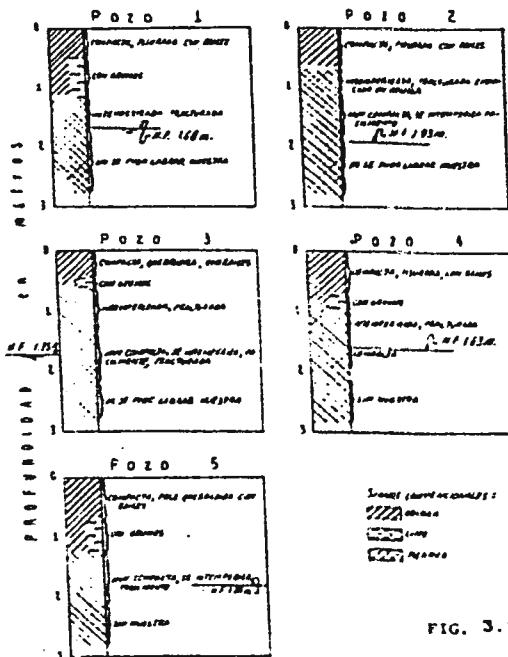


FIG. 3.3.9.
 Hospital de Ciudad Mante, Tamps.
 Pozos 1 a 5
 CORTEES GEOLOGICOS Y CLASIFICACION
 (Vieitez U., SMMS, 1978, p. III-37)

4. SUELOS DE ORIGEN EOLICO .

4.1. GEOLOGIA DE SUELOS DE ORIGEN EOLICO.

El viento producido por el movimiento de la atmósfera, -- que suscita las variaciones de presión por diferencias de -- temperatura, realiza un transporte de partículas de roca. En este transporte de partículas se pueden identificar dos zonas de movimiento:

1.- La zona inferior, que consta de granos de arena y se extiende solo unos cuantos centímetros sobre el terreno.-

2.- La zona superior, que consta de partículas de limos y arcillas; ésta se extiende mucho más arriba que la anterior, a menudo a alturas que sobrepasan los 3 Km. (Longwell, - 1971).

Analizando el movimiento de una partícula de roca arrastrada por el aire, se ve que está sujeta a dos fuerzas: (a) La de la velocidad del remolino y (b) La de la velocidad de caída de la partícula como consecuencia de la gravedad. Si (a) excede a (b) la partícula tenderá a elevarse y si (b) excede a (a) la partícula tenderá a caer. (Ver Fig. 4.1.1.) Se ha observado que una velocidad del viento de 17.5 km/h (5 m/seg) es aproximadamente el mínimo necesario para mover los granos de arena que yacen sueltos sobre el terreno, y que las velocidades del viento en los remolinos ascendentes, por lo común no exceden de un quinto de la velocidad media del viento, por lo tanto en un viento que se mueva a 5 m/seg, los remolinos ascendentes podrían alcanzar una velocidad de un quinto de este valor o sea 1 m./seg. En la fig. 4.1.1. se muestra la velocidad de caída de las partículas contra el diámetro (y por lo tanto en forma indirecta el peso). La curva indica que a ---- 1 m/seg., la velocidad de un remolino ascendente, cualquier partícula con un diámetro inferior a 0.2 mm podría elevarse,

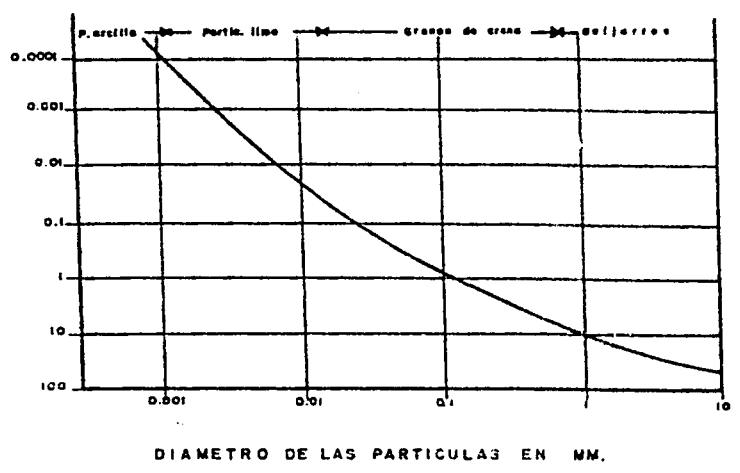


FIG. 4.1.1. Curva que muestra la relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad de caída (William Morrow, 1942, p. 1).

mientras que las partículas mayores deberían caer.

Esta teoría está confirmada por la observación. En los depósitos de sedimento hechos por el viento encontramos que la separación entre partículas medias de arena y las partículas más finas se mantiene en los depósitos en la misma forma que durante el transporte en el viento.

Si se miden los diámetros de los granos en un depósito de arena arrastrada por el viento, pasando una muestra por mallas en el laboratorio, se encontrará que todos o casi todos los granos varían entre 0.02 y 2 mm. Las partículas más finas fueron suficientemente ligeras para ser elevadas a mayor altura en el aire, arrastradas más lejos y depositadas en otros lugares.

El movimiento de los granos de arena (o sea de la zona inferior), según los estudios de modelos (Longwell, 1971) es en forma de saltación*. Es decir, un grano de arena va al aire solo por rebote o choque debido al impacto de otro grano. (En una región desértica por lo general no brincan más de 45 cm.) (Ver fig. 4.2). En el impacto de salpicadura (A), el grano de arena que salta choca con uno o más granos y los proyecta al aire a menores velocidades y a alturas más bajas. En este caso se presenta con más frecuencia cuando todos los granos son casi del mismo tamaño. En los impactos de rebote (B), los granos de arena chocan con guijarros y otras superficies amplias y rebotan a mayor velocidad y mayores alturas. El ángulo de ascenso depende de la inclinación de la superficie de choque.

El movimiento de la partícula de arcilla y limo es causado por las corrientes ascendentes dentro de la turbulencia general y son arrastradas en verdadera suspensión. Cuando logran asentarse en el terreno, forman superficies muy tersas -

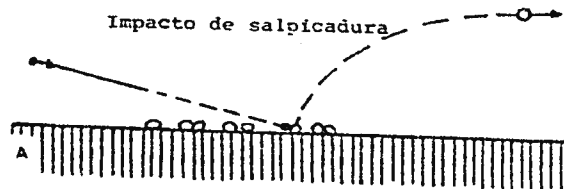
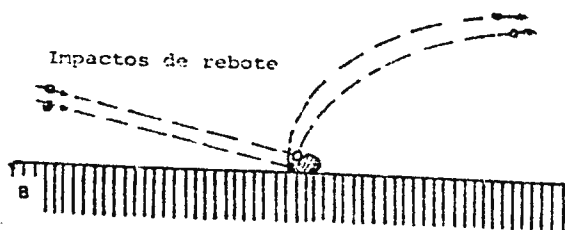


FIG.4.1.2. En el impacto de salpicadura, A, el grano de arena que salta choca con uno o más granos y los proyecta al aire a menores velocidades a alturas más bajas. Este caso se presenta con más frecuencia cuando todos los granos son casi del mismo tamaño.



En los impactos de rebote, B, los granos de arena chocan con guijarros u otras superficies amplias y rebotan a mayor velocidad y a mayores alturas. El ángulo de ascenso depende de la inclinación de la superficie de choque.

de manera que ni aún un viento fuerte puede mover las partículas finas, ya que se forma una capa de aire muerto, debido a esta tersura (que no crea turbulencia) (Ver fig. 4.1.3.).

Un factor adicional en la estabilidad relativa de una superficie de sedimentos finos es la tendencia de las partículas adherirse entre sí (coherencia), debido a las películas de humedad absorbida sobre sus superficies.

Por lo hasta aquí expuesto, se ve que la presencia de sedimento en la atmósfera implica erosión del viento, la cual puede ser de dos clases. La primera, es el arranque y remoción de partículas de rocas sueltas (sedimentos incoherentes y secos) que proporcionan la mayor parte de la carga del mismo, denominada deflación (del latín *deflare*, "quitar soplando"). La segunda clase es la abrasión, o desgaste de esas partículas al chocar contra las rocas, donde los mismos granos son pulimentados y redondeados (Bolivar, 1978).

La deflación es característica de regiones sin vegetación y solo actúa sobre material capaz de ser arrancado por el viento. Las grandes áreas de la deflación son los desiertos; otras son las playas de mares y grandes lagos y de mayor significación desde el punto de vista económico, los campos arados y desnudos de las regiones agrícolas durante las épocas de sequía. La evidencia más típica de esta clase de trabajo realizado por el viento consiste en las cuencas de deflación, que alcanzan menos de 1 km, de longitud y unos cuantos metros de profundidad (hasta cerca de 50 M.). (ver fig. 4.1.4.)

Las arenas movedizas se acumulan hacia sotavento*, especialmente a lo largo de las cercas y otros obstáculos.

La deflación está limitada sólo por el nivel freático, el cual humedece la superficie, estimula la vegetación y contra-
resta la erosión del viento. Este fenómeno en los sedimentos-

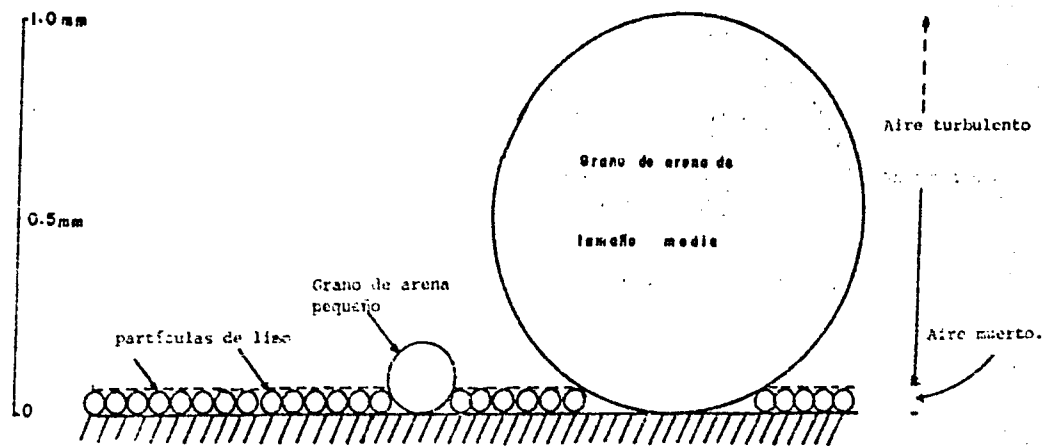


FIG.4.1.3. Las partículas de limo forman una superficie lisa que no crea turbulencia y que es, por lo tanto, estable. Los granos de arena, aun los más pequeños, provocan la turbulencia y son en consecuencia inestables.

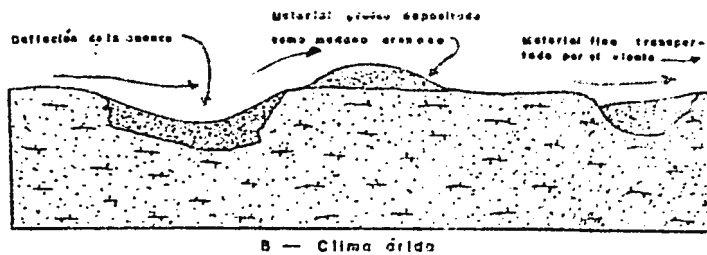
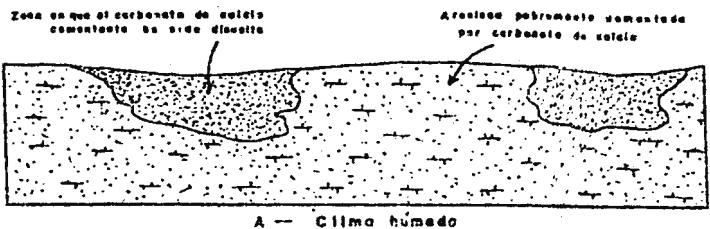


FIG. 4.1.4. La erosión del viento ha creado cuencas de deflación, pero sólo después de que el cemento cíclico de la -- arenisca fue destruido por las aguas que percolan hacia abajo (Leat y Judson, Geol. Fis., 1960, p. 237).

de aluvión (que consta de limo, arena y guijarros) crea su propia cubierta protectora o coraza contra la deflación. (ver fig. 4.1.5.)

Por el momento se ha tratado el tipo de erosión eólica, pero que hay respecto a las formaciones a las que da origen la depositación de los sedimentos transportados por el viento. En la naturaleza se pueden observar comunmente dos clases; las constituidas por arenas como las rizaduras y los médanos y las originadas por limos, arenas finas y arcillas denominadas loess.

Rizaduras.

Sobre cualquier pequeña irregularidad de las superficies de suelo arenoso, los granos de arena que saltan, chocan contra el lado de barlovento* en mayor número que en el lado de sotavento (Ver fig. 4.1.6)

En la pequeña depresión ABC, se acumulan más granos sobre el lado BC que encara al viento, que sobre el lado AB. Esto acentúa la irregularidad, eleva C y desarrolla una nueva pendiente CD, más allá de la cual puede ocurrir una nueva acumulación y así sucesivamente. De esta manera se forma rápidamente una serie de rizaduras orientadas en ángulo recto con la dirección del viento. Su espaciamiento (generalmente de unos cuantos centímetros) depende de la velocidad del viento y del diámetro de los granos, lo cual determina la longitud de los saltos. La altura de una serie de rizos aumenta hasta que alcanza un nivel en el cual la velocidad del viento, que crece hacia arriba, es suficiente para quitar tantos granos como los que añade. En consecuencia, para determinada velocidad y tamaño de grano los rizos alcanzan una altura y un espaciamiento uniforme, que se transforma con cada cambio del viento.

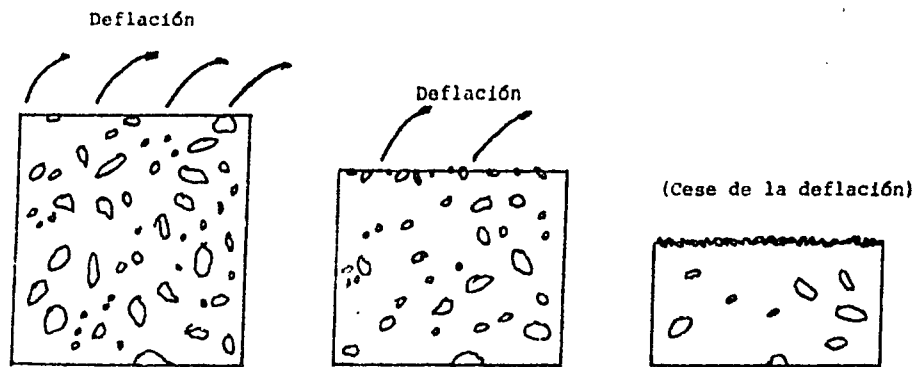


FIG. 4.1.5. Tres pasos del desarrollo de una cubierta que protege de la deflación subsecuente. (Según Longwell y Flint, "Geología Física", 1971, p.291).

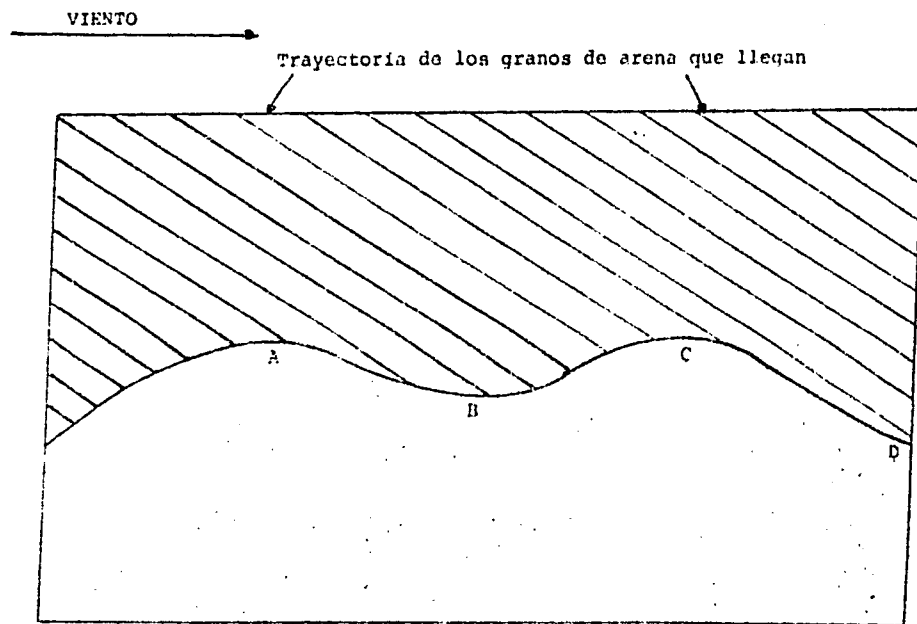


FIG. 4.1.6. Teoría de desarrollo de rizaduras producidas por el viento (Según Sagnold, 1971).

La presencia común de rizos indica que sobre los depósitos de arena desprovistos de vegetación y sujetos a la acción del viento las superficies planas son generalmente inestables.

Médanos.

Un médano o duna es un montículo o camellón de arena depositado por el viento. Los médanos se producen en dos medios principalmente: (1) En los desiertos, en donde los médanos es tan desnudos y la relación entre el viento y la arena se desarrolla libremente y (2) En las costas, en donde la vegetación desarrollada en el clima húmedo, interfiere esa libre relación.

Dentro del primer medio se pueden observar también áreas rocosas, cuya superficie está formada por roca viva que será pulverizada por deflación y pulimentada por abrasión; áreas pedregosas, con superficie de cascajo o de cantos rodados y áreas con loess y arenas de las estepas marginales.

Los granos de arena que se mueven sobre la pendiente de barlovento de una duna desnuda ruedan o brincan hacia arriba. En la cima son barridos hacia adelante dentro de la bolsa de aire tranquilo y caen sobre el lado de sotavento de la duna o médano (Ver Fig. 4.1.7.)

La mayor parte de ellos caen cerca de la cima formando la pendiente de sotavento y acentuándola hasta que alcanza el ángulo de reposo (generalmente de 30° a 40°) que representa el equilibrio entre la atracción de la gravedad y la fuerza de fricción de los granos. Cualquier cantidad de arena que se añada posteriormente causa pequeños deslizamientos, que contribuyen a mantener la pendiente recta y muy cerca del ángulo de reposo. En razón de este deslizamiento, la cara recta del lado

de sotavento de un médano se denomina cara de deslizamiento.-
(Ver fig.4.1.7.)

La altura a la cual puede crecer un médano está determinada por el aumento ascendente en la velocidad del viento, el cual a cierto nivel llegará a ser lo bastante grande para -- arrebatarse los granos de arena de la parte alta del médano tan pronto como arriben ahí al remontar la pendiente del lado de barlovento. Entonces, la transferencia de la arena del lado de barlovento a sotavento en una duna desnuda puede provocar la lenta migración de toda la duna en la dirección del viento.
(Ver fig. 4.1.8).

Cabe mencionar que la migración de las dunas, particularmente a lo largo de las costas, cerca de las playas, ha llegado a sepultar casas y ha amenazado la existencia de otras obras y lugares de interés económico.

Otros de los aspectos que hay que mencionar respecto a --- las formaciones de origen eólico es su tipo de estratificación las formas de las estructuras y la composición y forma de sus granos para poder entender un poco más de su comportamiento.

Debido a variaciones en la dirección y velocidad del viento ninguna duna muestra un arreglo tan uniforme. La erosión se altera con el depósito, y las capas frontales se inclinan en varias direcciones produciendo la estratificación cruzada*. No obstante este tipo de estratificación, siempre hay una predominancia de dirección y velocidad de los vientos que determina el echado de la mayoría de las capas y por lo tanto la forma de las dunas. De acuerdo a esto último se han podido reconocer cinco grupos:

1.- Dunas de Playa.

A lo largo de las costas de mares y grandes lagos, las playas proporcionan una fuente de arena abundante que se renueva continuamente por la acción de las olas. Sobre la costa los ---

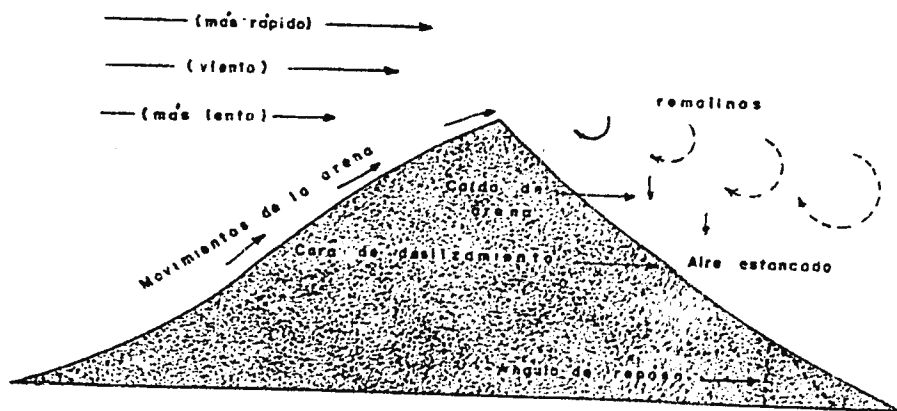


FIG. 4.1.7. Desarrollo de las pendientes Barlovento (la de la izquierda) y sotavento (la de la derecha), de un médano ideal sin vegetación. (Longwell, Lima, 1971).

(Fuera de escala)

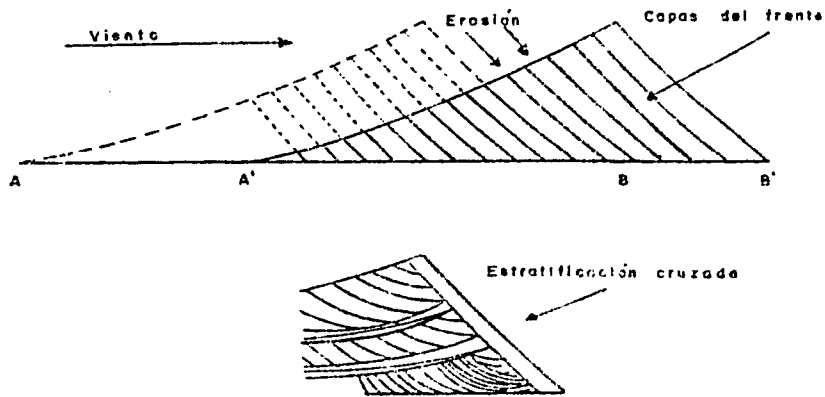


FIG. 4.1.6. Desarrollo de estratificación en un médano migratorio. Capas del frente (arriba) hechas por un viento ideal - con dirección y velocidad uniformes. Estratificación cruzada (abajo) causada por variaciones en dirección y en velocidad (Leet y Judson, Geol. Fis., 1968, p. 295).

vientos deflacionan la arena de la playa y la acumulan en dunas la mayor parte de las cuales son de tamaño pequeño, formadas al rededor de obstaculos menores y sin "caras de deslizamiento"

2. Dunas Transversas o Transversales.

Son las que forman lomas o camellones transversales (en ángulo recto) a la dirección del viento. Se forman en donde el abastecimiento de arena es abundante y la vegetación no interfiere su crecimiento. Tienen cara de deslizamiento bien marcadas.

3.- Barjanes.

Son dunas en forma de luna creciente, cuyos cuernos apuntan en la dirección que lleva el viento. Se forman principalmente en las áreas desérticas y parecen requerir un suelo duro y plano, viento de dirección constante y abastecimiento de arena un tanto limitada. siempre están desnudas, migran intencionalmente y sus lados de sotavento son caras de deslizamiento. - Aunque muchos barjanes tienen hasta 30 m. de altura, los pequeños no pasan de un metro de alto y 6 m. de diámetro de cuerno a cuerno.

4. Dunas en Forma de U.

Son aquellas que tienen la forma de dicha letra con el extremo abierto de la U encarando al viento. La relación entre la forma y la dirección del viento es por lo tanto exactamente opuesta a la de un barján, y la cara abrupta de deslizamiento está por su puesto, sobre el lado convexo. Las dunas en forma de U no se forman por lo general en áreas desérticas; frecuentemente tienen manchas de vegetación encima. Algunas de ellas parecen formarse durante el crecimiento de un "blowout"*, por la acumulación de arena alrededor de su lado de sotavento y-

en las márgenes laterales.

5. Dunas Longitudinales.

Son largas y rectas, paralelas a la dirección del viento. Se desarrollan en áreas desérticas donde la arena escasea y -- donde los vientos son fuertes.

De la composición y forma de los granos de arena se puede decir que virtualmente todas las dunas están formadas por granos de este tamaño y puesto que el cuarzo es el mineral más -- común en los sedimentos de dicho tamaño es natural que la ma-- yor parte de las dunas este constituidas por arena de cuarzo. Sin embargo no hay que descartar por donde son abundantes o--- tros minerales los médanos pueden estar formados por ellos.

En cuanto a la forma de los granos, se tiene que estos se redondean más rápidamente en el viento que en el agua, por-- que el aire siendo menos denso amortigua menos los impactos.- Estos desgastan los bordes y las esquinas hasta producir formas redondeadas (Longwell, 1971).

Loess.

Los depósitos de loess cubren extensas zonas en las re--- giones de llanuras de la zona templada (Desing of Small Dams USBR, 1976). Tienen la notable particularidad de mantenerse - con taludes verticales, aunque no hay que olvidar que esa es- tabilidad puede perderse facilmente al mojarse. Los minerales que componen el loess son principalmente cuarzo, feldespato, - micas y calcita. Generalmente las partículas son frescas mos- trando poca evidencia de intemperismo químico salvo una lígera oxidación que ha tenido lugar desde el depósito y que le im- parten un tinte amarillento a todo el conjunto.

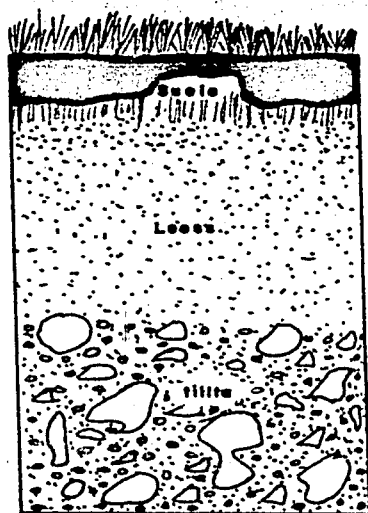


FIG.4.1.9. La tilita sin intemperizar está cubierta por loess sobre el cual se ha desarrollado una zona de suelo. La ausencia de zona de intemperismo entre la tilita y el loess revela con frecuencia un depósito rápido inmediatamente después de la desaparición del hielo glacial y antes de que los procesos del intemperismo pudieran afectar la tilita. El intemperismo y la actividad orgánica capaces de producir un suelo no se inician sino hasta que el depósito de loess se hace más lento o cesa. (Leet y Judson, Geol. Fis. 1968, p. 237).

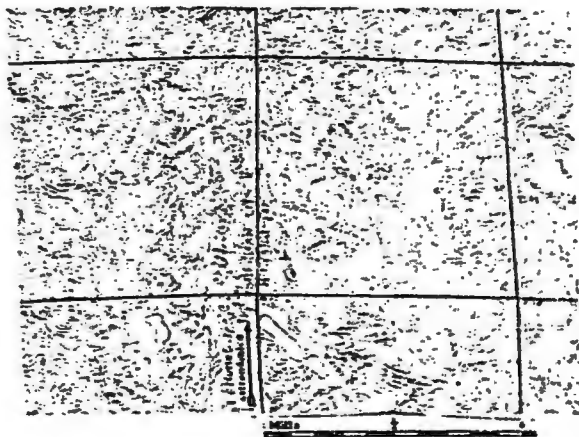


FIG. 4.1.10. Topografía de loess identificado por los zanjones de limo de curvas suaves; generalmente paralelos, sistemas de drenaje en ángulo recto, faldas muy inclinadas, zanjones y corrientes de fondo plano. (Bureau of Reclamation U.S. Department of Interior, "Design of Small Dams", Ed. Continental, 1960).

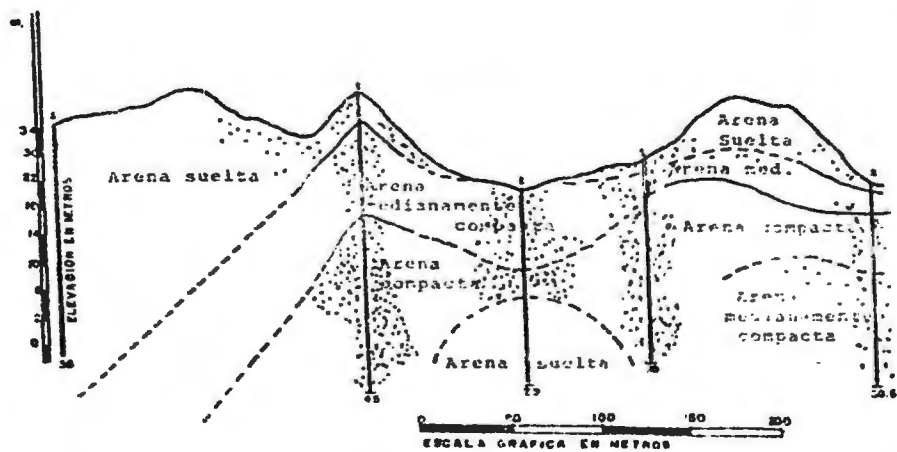
Aunque algún loess está estratificado, en la mayoría de -- los casos no lo está, aparentemente porque el tamaño del grano es demasiado pequeño para producir distintas capas y quizá también por que las raíces de las plantas, las lombrices y otros organismos revuelven el sedimento en cuanto se deposita.

El loess se puede formar en el lado de sotavento de los de siertos y una vez depositado es estable y lo afecta muy poco la acción de los vientos subsecuentes .

Estratigrafía de Suelos Eólicos.

Como se veía en el inciso 4.1., la intensidad y dirección del ataque del viento influyen en la densidad relativa de las arenas expuestas a él. Cabe pues esperar en las arenas de dunas de las partes altas de las costas del Golfo de México, por ejemplo, distribuciones complejas y heterogéneas y compacidades relativas diferentes. Los sondeos realizados en zonas como las partes altas de las ciudades de Coatzacoalcos, Veracruz y Pajaritos en el estado de Veracruz, donde yacen suelos de origen eólico han mostrado arenas finas y medias, cuarzosas poco limosas, y en algunos pozos se encontraron bolsas de arcilla y limo arcilloso a partir de quince metros de profundidad. A continuación se muestra una figura de un perfil que se ha deducido en base a los sondeos realizados donde se pueden apreciar las estructuraciones diferentes en cuanto a las compacidades relativas que suelen adquirir por su forma de, depositación, partículas de suelo en los diferentes estratos a diferentes profundidades (Ver fig. 4.1.11).

FIG. 4.1.11.



Area de Pajaritos, Ver. . Zona alta, constituida por sedanos.
(Perfil de Suelos según estudios del Ing. Velez U, SMMS, 1976)

S: Sondeo .

4.2. EXPLORACION, PRUEBAS Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS EOLICOS.

Al observar el proceso de formación de los suelos eólicos se apreciaba el hecho de que los depósitos recientes, no suelen tener grandes profundidades (20 a 30 m.), como se pudo ver en las estructuras de dunas o médanos. También se establecía una granulometría con tendencias a la uniformidad en cuanto al tamaño y selección de partículas.

Así, entendiendo estos procesos se pudiera tal vez determinar una buena correlación de la Mecánica de Suelos con la Geología, si se lograra fijar parámetros confiables con poca dispersión de los valores que se obtienen en los estudios de las propiedades mecánicas y de las propiedades índice de estos suelos.

En la realización de este trabajo se analizaron muy pocos estudios, y aunque esto hace bastante desconfiables los datos consignados a continuación, sí se intuye a nivel teórico una relación entre las características geológicas descritas en el primer subtema de este capítulo y estos datos facilitados por la Mecánica de Suelos:

- Se observó que el contenido de agua oxila entre -- dos por ciento y veinticinco por ciento, que son valores bajos, lo que se comprende por la naturaleza de estos suelos -- (los valores cercanos al 25% fueron obtenidos en arenas yacientes bajo el nivel freático), que como se mencionaba al hablar de su proceso de formación, se tiene una depositación de partículas arenosas mal graduadas, lo que impide la retención del agua, como sucedería en suelos arcillosos.

- En la prueba de penetración estándar, los valores -

que se observaron estuvieron entre dos y veinte golpes para penetrar 30 cm. La cantidad de golpes tendiente al límite bajo se presentó en los estratos más cercanos a la superficie del terreno., tal cantidad se requería incrementar al ir profundizando en los estratos de estos suelos que en varios casos al llegar alrededor de los 25 m. se incrementaba a más de 50 golpes, lo que se debió en algunos casos, a que se había llegado a otro tipo de formaciones, como se comprobó en esporádicos estudios que llegaron a más de 25 m. entre los que se pueden mencionar los de la zona alta de la ciudad de Coatzacoalcos, Ver. (Luis Montañez, 1976)

- La cohesión en las pruebas analizadas dio valores alrededor de 0.2 kg./cm^2 , cuyo valor se antoja lógico al observar que por lo general al tener una granulometría mal graduada y al ser los constituyentes predominantemente arenas no hay elementos propiciadores de la cohesión más que el peso de los estratos superiores y la atmósfera y a manera de comparación, se observaba en los suelos fluviales que el peso de las aguas, la precipitación de sales, las bajas velocidades en los valles y otros factores como la floculación*, cerca de las desembocaduras al mar que propicia la sedimentación de finos, pueden dar origen a estratos más firmes y de mayor espesor que las formaciones eólicas, claro está que el factor tiempo tiene que ver determinadamente en el proceso formativo de dichos espesores y firmezas.

Otras pruebas se efectuaron en muy contadas ocasiones, por lo que sus valores difícilmente pueden ser discutidos.

4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE SUELOS DE ORIGEN EOLICO.

De las evidencias estudiadas se podría concluir que en general el comportamiento de las cimentaciones superficiales de estructuras pequeñas a medianas ha sido bastante satisfactoria, aunque no se han observado varias recomendaciones que a continuación se exponen y que pueden resultar importantes en un momento dado, por lo que en futuras construcciones es conveniente tenerlas en cuenta.

El primer punto a considerar es la condición de equilibrio móvil. "No deberá edificarse en zonas de dunas que pueden sufrir modificaciones morfológicas sustanciales durante el período de vida útil de las estructuras a edificar" (Vieitez U., 1978). Estas modificaciones pueden tener causas naturales o artificiales, como podría mencionarse la variación en las dimensiones y ubicación de las dunas por cambios en el suministro de arena o por alteraciones en la vegetación de la playa o en la forma y áreas expuestas de la misma.

En algunos casos pueden ser necesarios estudios de los vientos dominantes, de los ciclónicos y de la disposición y desarrollo de las dunas, para garantizar la seguridad e integridad de un desarrollo urbano o turístico, que se vaya a ubicar en zonas de suelos de este origen.

Una serie de sondeos de penetración dinámica o estática, realizado con el cuidado de aislar la fricción lateral para que no interfiera en los resultados y con obtención de muestras alteradas, distribuidas estratégicamente en el predio en cuestión, pueden dar un buen esquema del subsuelo. Tal esquema debería detallarse con información adicional si la variabi

lidad de las condiciones es muy grande o si la importancia de las estructuras a construir lo requiere.

Se ha mencionado que los estudios realizados en estos sue los frecuentemente el nivel freático está bajo , por lo que Es recomendable siempre; la ejecución de pozos a cielo abierto (por lo general adermados), por que en ellos se pueden hacer observaciones y ensayos directos, muy valioso dada la dificultad de obtener muestras inalteradas de arenas en perforaciones (Vieitez U., 1978).

En ciertos casos podrá justificarse llevar la exploración y efectuar los ensayos a cielo abierto bajo el nivel de aguas freáticas, previo control de éstas por bombeo desde pozos localizados al rededor y fuera de la excavación; pero es evidente que el bombeo y el ademe adicional que en estos casos se requiere encarecen y dificultan notablemente el trabajo.

Conviene hacer un sondeo bajo cada apoyo donde las descargas de las estructuras sean elevadas y el subsuelo manifieste variabilidad apreciable de compacidad es decir se tratara con esto, de detectar en la forma más fidenigna posible, la distribución espacial de los depósitos y la variación de sus propiedades mecánicas, las cuales se ven influidas como ya se ha dicho por la densidad relativa, la granulometría y el contenido de finos, así como eventualmente por la presencia de materiales cementantes. En algunos casos será importante saber la posición del nivel freático, su variación estacional y la influencia que en él pueden tener las fluctuaciones que se produzcan en los cuerpos de agua que existen en la zona.

Se ha observado que el agua capilar proporciona una cohesión aparente a las arenas, de manera que en taludes puede ser más estable una arena húmeda que una seca.

El hecho de que una arena confinada muestre un aumento -- tanto en resistencia como en rigidez, hace que los asentamientos diferenciales bajo cargas pequeñas sean muy bajas.

Un problema que se puede presentar en una cimentación superficial a base de losa de cimentación es el peligro de -- que se descubra ésta, por la movilidad del depósito eólico; -- por lo tanto, debe protegerse la zona adyacente a la estructura de posible erosión, con vegetación, zampeado, asfalto, se lo cemento, etc. (Deméneghi, 1981).

Otro aspecto que podría preocupar en cimentaciones superficiales sería el efecto debido al sismo. Fundamentalmente se pueden presentar dos casos :

A. Licuación de Arenas Finas.

B. Densificación del Suelo.

Por lo que toca al primer caso, es interesante señalar la observación del ingeniero Vieitez Utesa, de que En la ciudad de Coatzacoalcos las arenas sueltas y uniformes se encuentran muy por encima del nivel freático por lo que al ocurrir algún sismo de consideración podrán sufrir reajustes importantes -- pero no se le licuarán .

Por estar parcialmente saturadas y en el caso de que el grado de saturación sea muy bajo (menor del 80 %) pueden ---- sufrir el colapso de su estructura y reducir su volumen en -- forma importante si llegan a saturarse, estando sujetas a -- carga .

Resulta de interés señalar que no se han reportado casos de licuación de depósitos eólicos, lo que puede conducir a -- la conclusión preliminar de que es poco probable de que se --

presente este fenómeno, siendo deseable se continúe la investigación en este sentido (Deméneghi, 1981)

Respecto al segundo caso, en el uso de losas de cimentación se tiene la necesidad de juntas constructivas, dado que puede haber asentamientos diferenciales por densificación de la arena (Deméneghi, 1981),.

En el caso de zapatas aisladas ó corridas; "La capacidad de carga de arenas aumenta notablemente con el confinamiento, por lo que debe procurarse que las cimentaciones a base de zapatas se desplanten siempre a cierta profundidad que se fijará de acuerdo a las condiciones locales, aunque ningún caso debería ser menor que un metro" (Vieitez U. 1979).

En ocasiones, conviene desplantar la cimentación bajo arenas de muy suelta a suelta, sobre depósitos de compacidad mediana, para lo cual se necesita en algunos casos, hacer escabaciones de hasta 4 m. Esto tiene como inconveniente el tener que ademar las paredes de las cepas.

El empleo de pavimentos en zonas urbanas en los depósitos de médano a mostrado un comportamiento bastante satisfactorio en aquellos casos en los cuales se ha compactado la parte superficial del suelo (Deméneghi, 1981)

En estos suelos la estabilidad de taludes en la excavaciones por encima del nivel freático se favorece si se mantiene un mínimo de humedad capilar en las caras expuestas del depósito, es decir, si se evita que la arena se seque.

Un estudio económico podría ayudar a decidir si es más -- conveniente apoyar los cimientos en arenas densas, localizadas a veces a profundidades importantes o compactar los depósitos sueltos más superficiales (Las arenas se densifican por vibra

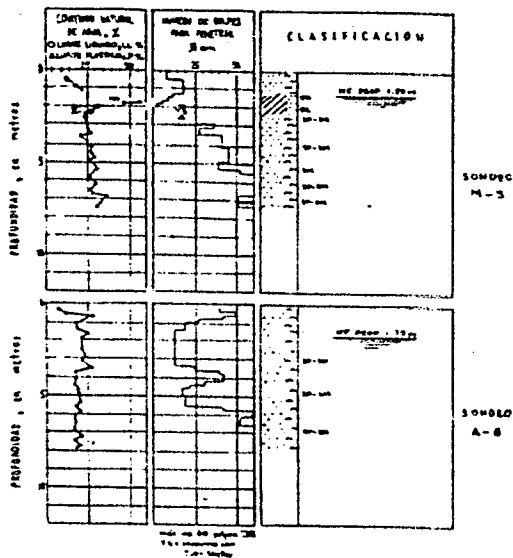
ción y hay diversos procedimientos para lograrlo, el hincado de pilotes o barras, la vibrocompactación y la vibroflotación son los más comunes; la elección del método depende del volumen y de la profundidad por tratar. "A mayor volumen y profundidad, más rentables son los métodos más mecanizados" (Vieitez U., 1979)

De las experiencias del profesor Vieitez (1979), se presenta a continuación un caso que puede aclarar algunos de los conceptos descritos, donde se expone el proceso de realización de las excavaciones para una parte del sistema de drenaje en la ciudad de Veracruz, Ver., donde fué utilizado un sistema de bombeo de pozos punta para realizar en seco dichas excavaciones que alojan las tuberías de los colectores.

Para estudiar el problema y diseñar la solución se efectuaron sondeos a cada 500 m., de 8 m., de profundidad, de los que se obtuvieron muestras alteradas para clasificar los materiales y determinar sus granulometrías y sus permeabilidades. Algunas muestras inalteradas se extrajeron para tener una referencia más precisa y de las permeabilidades horizontales y verticales y para conocer las propiedades mecánicas de una capa de arcilla blanca que aparecía en algunos sondeos.

Se trata en general de arenas de playa y de duna mal graduadas, finas poco limosas, de compacidad baja a media, con permeabilidades de 1.0 a 4.0×10^{-3} cm/seg. horizontal y en algunos tramos a profundidades entre 2.0 y 5.0 m., es a veces orgánica y a veces limosa poco plástica, con contenidos de agua entre 140 y 380 % y resistencia a la compresión simple de 0.4 a 0.9 k/cm² (Ver fig. 4.3.1. y 4.3.2.)

El nivel freático apareció entre 0.5 y 3.0 m., de profundidad. Para invadir lo menos posible el ancho de la calle, las excavaciones se hicieron con taludes verticales, para lo



LEGENDA
 [Pattern] ARCILLA
 [Pattern] ARCILLA
 [Pattern] LIMO
 [Pattern] ARENA
 [Pattern] GRASA

FIG. 4.3.1. Sistema de drenaje en Veracruz, Ver.

Presentación gráfica de los ensayos de dos sondeos.

(Vieitez U., SMMS, 1978)

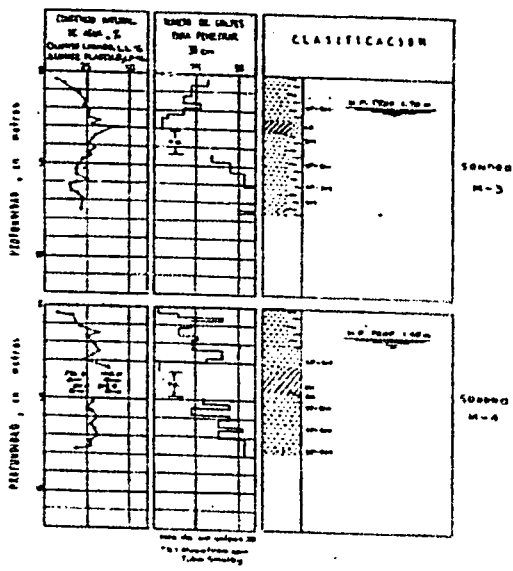


FIG. 4.3.2. Sistema de drenaje en Veracruz, Ver.

Presentación gráfica de los ensayos de dos sondes.
 (Vicitez U., SMMS, 1978)

cual fué necesario hincar vigetas de acero de 4 pulgadas separadas 1.50 m., entre las que se colocó tupido de tablonces de madera.

El nivel freático se abatió con sistemas de pozos punta - autohincables, separados entre 3.0 y 6.0 m., según la permeabilidad del tramo.

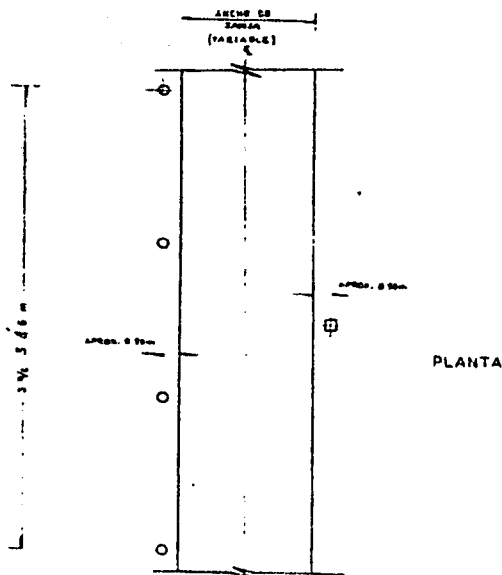
Se colocaban en una sola hilera, es decir, de un solo lado de la excavación y por fuera de ésta, y se hincaban a profundidad suficiente para que el cono de abatimiento quedará - 1 m., por debajo del fondo de la excavación. Cada bomba (--- bomba de vacío) cubría un tramo de unos 30 m., y se exigía que se abatiera el nivel freático siempre 10 m. adelante de la excavación (Ver fig. 4.3.3.)

Se excavaba hasta 50 cm. por debajo del nivel de troque-- les correspondiente, se colocaban tablonces de madera entre -- las vigetas y se troquelaba con madrinas y torqueles o sólo - con troqueles precargados con 10 toneladas c/u. (Ver fig. -- 4.3.4.)

En los tramos en que hubo arcilla se exigió más rapidez - en la excavación, para que el abatimiento no causara consoli dación del estrato y asentamientos en la calle. En realidad - los asentamientos no fueron significativos pero la presencia - de la arcilla restó eficiencia al bombeo y hubo que reforzarlo o que romper o perforar la capa para dar continuidad a -- los estratos permeables.

Este sistema de abatimiento y excavación bien organizado - resultó tan rápido y efectivo que no se ocasionaron trastor-- nos de importancia en las vecindades.

De no ser por el bombeo, difícilmente podría haberse exca - vado, ya que la permeabilidad de las arenas hubiera permitido



SIMBOLOGIA.

- ◆ POZOS DE BOMBEO
- ESTACION PIEZOMETRICA CON ELEMENTOS INSTALADOS A 12,45 y 6.7m DE PROFUNDIDAD

FIG. 4.3.3. Sistema de drenaje en Veracruz, Ver.
Localización de -- pozos y piezómetros.
(Vejitez U., SMMS, 1978)

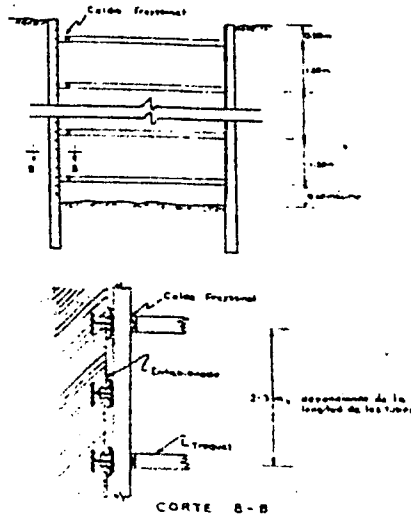


FIG. 4.3.4. Sistema de drenaje en Veracruz, Ver.

Ademe mixto, croquis de instalación.

(Vieitez U., SMMS, 1978)

SONDEO	PROF. MEDIA	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	GRAVA	ARENA	FINOS	CLASIFICACION SU.C.S.
		mm	mm	mm			%	%	%	
A-10	2.30	0.075	0.15	0.3	4.00	1.31	—	88.1	7.0	SP - SM SP - SM FM
	3.00	0.075	0.15	0.3	2.12	1.12	—	88.8	6.2	
	3.70	—	0.15	0.3	—	—	—	86.5	13.5	

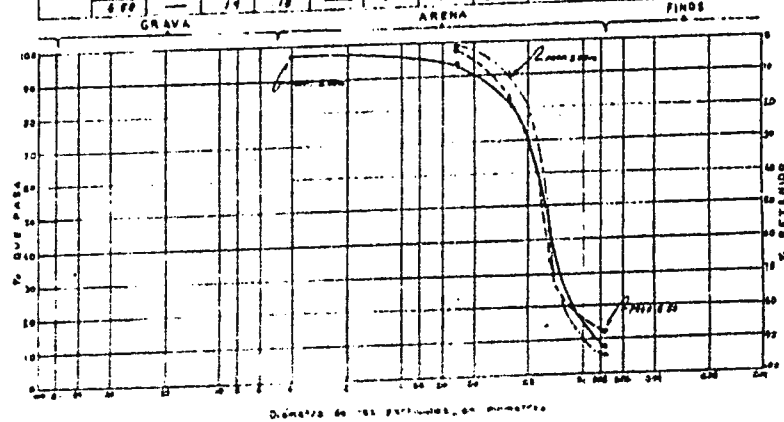


FIG. 4.3.5. Sistema de drenaje en Veracruz, Ver.

(Ampliación)

Análisis granulométrico de un sondeo.

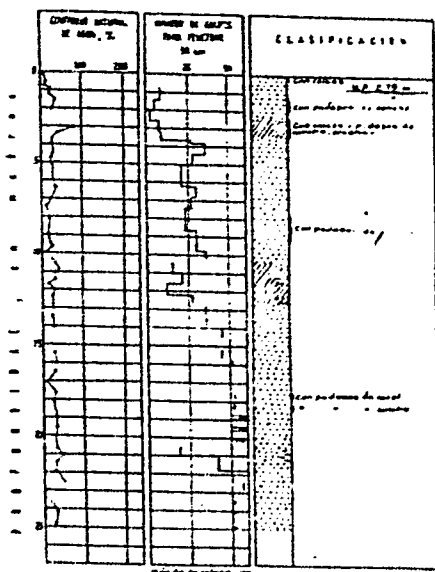
la infiltración del agua y no habría dejado de trabajar en seco. Por otra parte un bombeo de hachique o desde sumideros o cárcamos desde el interior de la excavación quizá hubiese manejado en las filtraciones, pero las fuerzas generadas por éstas con seguridad habrían provocado erosión y arrastre de las arenas, que no son de alta compacidad ni están cementadas. (Ver fig. 4.3.5.)

Dadas las dimensiones de la zanja fué posible dar cuenta de ambos problemas con una sola hilera de pozos colocados a proximidad de uno de los lados de la excavación. Al contar -- con el tablestacado de viguetas y tupido, se pudo ejecutar -- la zanja con paredes verticales para ocupar el mínimo ancho -- posible.

Otro ejemplo representativo de soluciones de cimentación en subsuelos arenosos es el de la terminal de autobuses en la misma ciudad donde los sondeos descubrieron depósitos de arena fina hasta la máxima profundidad explorada que fué de 25 m., A partir del número "N" de golpes para hacer penetrar el muestreador de pared gruesa con el que se obtuvieron muestras del subsuelo se deduce que las arenas superficiales son muy sueltas, las localizadas entre 4 y 13 m., son de mediana compacidad y a partir de esta última profundidad son en general muy compactas, con algunos estratos de compacidad media.

Hay estratos de arcilla arenosa intercalados; los más importantes se localizan entre dos y cuatro metros con materia orgánica (contenido de agua de 80 %) y entre 10. y 12 m., - (Ver fig. 4.3.6. y 4.3.7.)

El nivel freático se encontró a 0.8 m., de profundidad. La arena suelta y la arcilla arenosa orgánica superficiales condicionan la solución de cimientos someros, la primera por su eventual densificación y, en el peor de los casos, licua-



Sección geotécnica

- arena
- arena
- arena
- arena
- arena

NOTA:

- Arco del acueducto 66 cm
- Alfaro de caño 11 cm

FIG. 4.3.6. Terminal camionera en la ciudad de Veracruz, Ver.

Presentación gráfica de los ensayos de un pozo.

(Vicitez U., SHMS, 1978)

CLASIFICACION DE ARENAS	RELACION DE ARENAS	CONTENIDO DE AGUA	GRANULOMETRIA		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE FLUIDEZ	GRANULOMETRIA FINA	GRANULOMETRIA TOTAL	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE FLUIDEZ	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE FLUIDEZ	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE FLUIDEZ	
			NO. 10	NO. 20															NO. 40
2.80	2.87	2.80	62.1	64.9	34.1	105.1	---	---	---	---	---	---	2.136	0.37	---	---	---	---	---

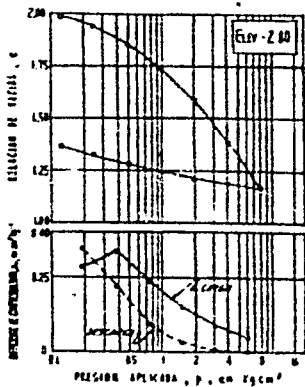


FIG. 4.3.7. Terminal camionera en la ciudad de Veracruz, Ver.

Ensayes de Compresibilidad de los materiales de un pozo.

(Vicitez U., SHMS, 1978)

ción por efectos dinámicos la segunda por su compresibilidad, que da lugar a asentamientos diferentes de un punto a otro por ser diferente su espesor y características. Habría que compactar por vibración cerca de 3 m., de arena, y además, desplantar las estructuras sobre losas corridas rígidas para reducir la presión de contacto a valores que produzcan una consolidación reducida de la arcilla y asentamientos consiguientes compatibles con el comportamiento estructural y funcional de las estructuras. Desplantar en zapatas aisladas o corridas apoyadas a cerca de 4 m., de profundidad en los estratos de arenas medianamente densa es atractivo porque se obtiene una amplia capacidad de carga y asentamientos poco significativos, pero obliga a hacer excavaciones profundas bajo el nivel freático, para que sean estables y se pueda trabajar en ellas en seco es necesario bombear desde pozos situados al rededor de cada excavación.

Los inconvenientes arriba anunciados hacen competitiva una solución de cimentación profunda a base de pilotes (cada columna descansa sobre un dado que a su vez se apoya en pilotes). -- Los pilotes de 0.30 m., de diámetro, apoyados a 13 m., de profundidad, dan una capacidad de 25 toneladas por pieza.

A 4 m., de profundidad se pueden aceptar capacidades de 15 toneladas por metro cuadrado para zapatas de 1 m., de ancho. Para obtener asentamientos menores de 5 cm., es necesario no sobrecargar la arcilla orgánica con más de 2 toneladas por metro cuadrado en las cimentaciones someras .

Para no desarrollar demasiada fricción en el fuste al hincar los pilotes prefabricados a través de los estratos de mediana compacidad habrá que hacer perforaciones previas estabilizadas con lodo bentonítico o colar los pilotes en el sitio dentro de perforaciones así estabilizadas .

5. SUELOS DE ORIGEN ALUVIAL .

5.1. GEOLOGIA DE SUELOS DE ORIGEN ALUVIAL.

Geologicamente, se ha considerado a las corrientes naturales como cuerpos de agua que acarrean partículas, fluyendo a altitudes menores a lo largo de cursos definidos. La importancia de su mención en este trabajo reside en que el transporte y sedimentación en medios terrestres de esas partículas, da origen a los suelos denominados aluviales o de aluvión y a rocas de carácter sedimentario cuando estos suelos logran consolidarse. Los sedimentos que no se depositan son transportados al mar donde probablemente den origen a rocas formadoras de plataformas continentales*.

En realidad, las corrientes fluviales consisten en uno de los más trascendentes fenómenos en la formación de las rocas de la corteza terrestre, así como la modificación de su relieve estructurando valles, cañones, llanuras, etc; que son elementos morfológicos que atañen grandemente al hombre.

Formación de Valles.

Como consecuencia de las irregularidades topográficas, las aguas que transcurren por la superficie crean en primer lugar arroyuelos, los cuales aumentan gradualmente su caudal. En las estaciones lluviosas estos arroyuelos se transforman en torrentes, y estos últimos transportan a menudo grandes cantidades de agua que se mueven con gran velocidad, y de esta manera excava por erosión profundas gargantas y cañones. Con el tiempo las irregularidades y depresiones del terreno así formadas, se convierten en valles con laderas suaves. Desde el punto de vista ingenieril un valle está caracterizado por su perfil longitudinal y por sus cortes transversales. El perfil longitudinal de un valle es el que se obtiene a lo largo del

eje de su cauce (o thalweg*) (Krynine).

Como consecuencia de la prolongada y continua acción de las aguas superficiales de escorrentía, la erosión contribuye durante todo el período de duración de la vida del valle a su crecimiento o ampliación. Su alargamiento se completa, en su mayor parte, por erosión en la zona de su cabecera, o sea por la destrucción de masas de roca y suelo aguas arriba, en su parte alta. Esta acción de retroceso de la cabecera va acompañada por la destrucción gradual de las grandes pendientes de las laderas encajantes y por el transporte, aguas abajo, del material de erosión. Movimiento de retroceso que se detiene, sin embargo, cuando se alcanza una divisoria, es decir un punto singular de reversión del cauce mayor, porque entonces el agua empieza a fluir en dos direcciones opuestas. Hay también otros obstáculos, tales como rocas duras de difícil erosión, que pueden detener el crecimiento progresivo, en retroceso del valle.

Al mismo tiempo que ensancha y alarga su cauce, en retroceso, el arroyo, torrente o curso de agua, profundiza también su cauce, en desgaste hacia abajo, por lo menos localmente. Con el transcurso del tiempo el piso del valle llegará a profundizar hasta el nivel de aguas subterráneas. En tal caso las reservas hidráulicas del curso de agua dependerán no solamente de las escorrentías y aportaciones en el área de drenaje, sino también de las contribuciones aportadas por las aguas subterráneas. De esta manera se forman los cursos de agua permanentes que fluyen tanto durante las estaciones secas como en las húmedas. Los arroyos intermitentes se secan periódicamente, pero poseen otro curso de agua subterráneo, bajo el lecho de las aguas superficiales. Los cursos de agua efímeros, la llevan solamente después de la caída de lluvias o fusión de nieves y no tienen relación con las aguas subterráneas.

En general, cada valle es mucho más ancho que el curso de agua que transcurre por él, excepto durante los períodos de inundación. La anchura del valle varía según la mayor o menor facilidad que ofrecen a la erosión los materiales que constituyen las laderas del valle. La cota mínima del valle o nivel de base está regulado por el nivel de las aguas del cuerpo acuífero (mar o lago) en que desemboca. Sólo la extremidad = más baja del valle alcanza el nivel de aguas; el resto queda siempre más alto , exceptuadas quizá, algunas depresiones locales.

Erosión Realizada por las Corrientes.

La erosión de una corriente implica acción hidráulica, abrasión, solución y transporte; puesto que todas se desarrollan en el cauce, están íntimamente relacionadas entre sí y todas evolucionan constantemente. La primera consiste en levantar y mover partículas sueltas por la fuerza inherente al flujo de agua. La abrasión es el rozamiento mecánico de unas rocas contra otras, o de unas partículas con otras, como se mencionaba en el capítulo de los suelos eólicos. En la mayoría de las corrientes el material del cauce y la carga en suspensión disminuyen de diámetro de las cabeceras hacia la desembocadura. Tal cosa se debe en parte a la abrasión y en parte a la clasificación gradual y al depósito de partículas más gruesas a medida que el gradiente*, el cauce y otros factores se modifican gradualmente a lo largo de la corriente (Ver fig. 5.1.1.)

La solución tiene lugar en el disolver por el agua, parte o la totalidad de las piedras que transporta, así como también, materia de las rocas que constituyen el lecho del río. Pero cabe la aclaración de que sólo una pequeña porción de la materia en solución en el agua de la corriente es disuelta -- por ella, ya que la mayor parte se disuelve por las aguas subterráneas que circulan por debajo de los tributarios* de la -

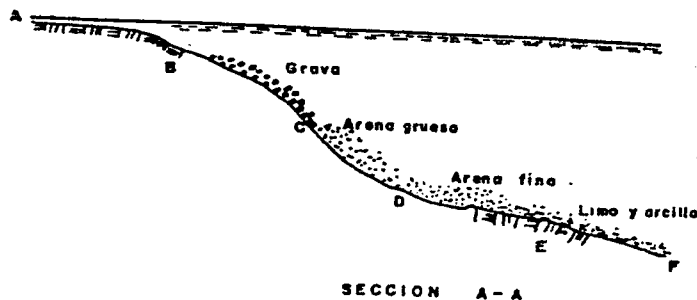
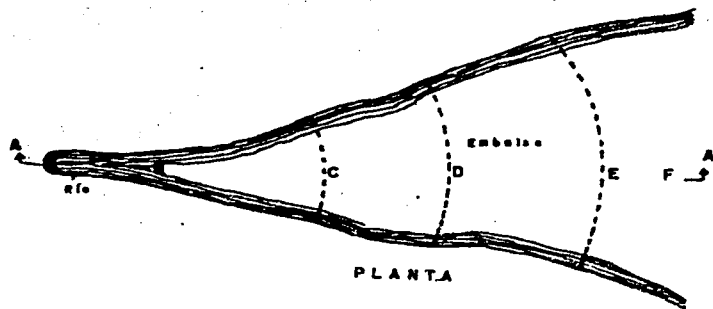


FIG. 5.1.1. Ilustración sobre la sedimentación a que da lugar un río que acarrea materiales dentro de un embalse. (Según C. W. Dunham, Cimentaciones de Estructuras, 1970 p. 30).

corriente principal, que más tarde llegan a ésta como aguas -- percolantes (ver fig. 5.1.2.) Sea como fuere, estos materiales constituyen elementos que se transportan y distinguen una de -- las dos formas de acarreo que se realiza en el agua, que es el acarreo en solución. A la otra forma se le ha denominado acarreo mecánico y puede observarse tanto en los materiales en suspensión, como en el movimiento de los materiales del fondo -- del lecho de los ríos .

Los materiales en suspensión son generalmente de arcilla - o limo o de ambos. Su cantidad es mensurable, y acerca de este punto se dispone de información adecuada, muestra de ello es - que se ha observado que tanto la forma como el peso específico de una partícula influyen también en la altura a la cual ésta se eleva . El peso específico es un factor determinante en el transporte y depósito de partículas de sustancias metálicas -- muy pesadas, tales como el oro; la forma es importante en los minerales hojosos como las micas, pero en la mayoría de las -- partículas que transportan las corrientes el diámetro es el -- factor principal porque el peso específico de la mayoría de - las partículas arrastradas fluctúa entre 2.6 y 2.7 y es, por tanto, casi constante .

También se ha observado que el tiempo que una partícula -- permanece en suspensión depende de dos fuerzas:

1. La Velocidad de caída que la partícula tendría - en agua tranquila (determinada por la atracción de la gravedad), a la que se opone la resistencia del fluido, y
2. La intensidad de la turbulencia.

Mientras el poder de elevación de la turbulencia sea mayor que la tendencia de la partícula a caer, dicha partícula permanecerá en movimiento por encima del fondo de la corriente.

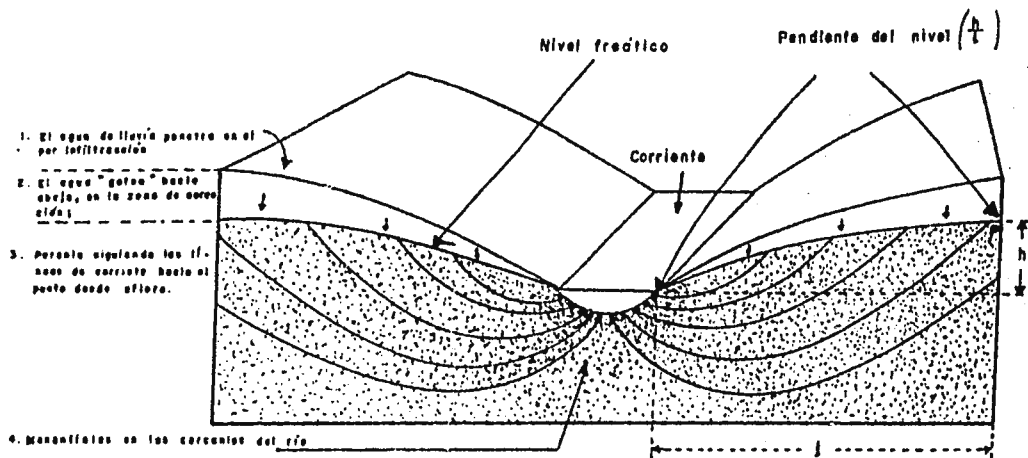


FIG. 5.1.2. Movimiento del agua subterránea en un material uniformemente permeable. Las flechas curvas largas representan únicamente unas pocas de muchas vías subparalelas posibles. La pendiente del nivel freático en cualquier punto, por ejemplo P, está determinada por la altura (h), por encima del punto de emergencia en la corriente superficial, dividida por la distancia (l) hasta dicho punto (Según M. K. Hubbert, Jour. Geol., vol. 48, 1940, p. 930.).

Mientras el poder de elevación de la turbulencia sea mayor que la tendencia de la partícula a caer, dicha partícula permanecerá en movimiento por encima del fondo de la corriente.

La carga sobre el lecho de la corriente consta generalmente de arena o grava o de ambos materiales. Su cantidad es difícil de medir porque cualquier instrumento de muestreo que se haga descender hasta el fondo de la corriente producirá remolinos e inmediatamente cambiará la distribución de la energía y de las partículas de roca en las inmediaciones. Por este motivo se tiene poca información acerca de la cantidad de carga sobre el lecho en relación con la carga en suspensión, pero la poca que se tiene sugiere que en algunas corrientes la carga sobre el fondo es igual o menor que la carga en suspensión. Los guijarros y las partículas rocosas más grandes se deslizan o ruedan a lo largo del fondo. Los granos de arena se elevan por encima de él; debido a la acción de los remolinos brincan a nuevas posiciones donde reposan (Ver. Fig. 5.1.3 y 5.1.4) - los movimientos que se indican están simplificados respecto a su condición real).

Cuanto más pequeña es la partícula, mayor es la elevación y más largo el salto, pero los granos de arena rara vez saltan más de uno o dos centímetros. Los brinco de las partículas de roca en una corriente de agua o de aire se designan con el nombre de saltos, y como se mencionaban en el capítulo anterior, al fenómeno saltación.

El deslizamiento, el rodado y los saltos son transicionales dentro del movimiento de las partículas en suspensión; de hecho, los diversos tipos de movimientos se entremezclan. Además, las partículas de determinado tamaño se mueven de diversas maneras en tiempos diferentes, en función de la energía que la corriente usaría al cambiar las condiciones de descarga. Para aclarar esto, se puede citar que durante las inundaciones los granos de arena fina pueden constituir parte

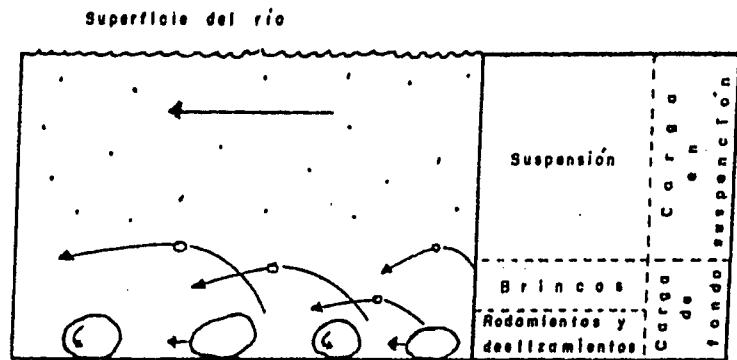


FIG. 5.1.3. Tipos de movimiento de las partículas de roca que lleva una corriente; distribución vertical de la carga de fondo y de la carga en suspensión. (Longwell y Flint, Geología Física, 1971, p. 177).

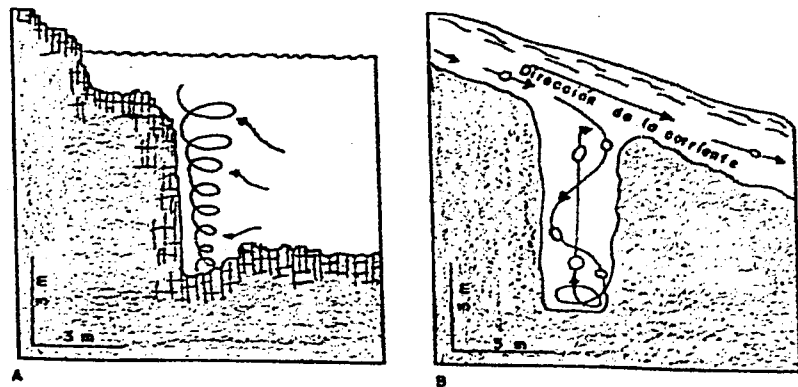


FIG. 5.1.4. Erosión del fondo rocoso de los ríos causada por remolinos verticales, en la figura A se observa el arranque hidráulico de fragmentos de roca causado por un remolino ascendente. La corriente fluye perpendicularmente al plano del diagrama. En B, se observa una excavación profunda (Marmita de gigantes) perforada por un remolino descendente. Las trayectorias espirales de los guijarros transportados por el remolino se infieren de observaciones en modelos de corrientes en el laboratorio (según Olof Angeby, Lund Studies in Geog., Ser. A, No. 2, 1951, p. 24) .

de la carga en suspensión, mientras que en tiempo de estiaje, solo se mueven a lo largo del lecho de la corriente. Este fenómeno se ve en estudios experimentales donde al doblar la velocidad del flujo aumenta notablemente el diámetro de las partículas de roca que pueden ser movidas. Este incremento de la energía o velocidad de una corriente puede ser aportada por ríos tributarios que tal vez también colaborarían con una buena cantidad de sedimentos a la misma, que constituirían parte de las formaciones del tipo de suelos, objeto de este capítulo (Bolivar, 1978) (Ver fig. 5.1.5)

"Estos fenómenos se llevan a cabo en cada río que discu--rre a lo largo de un valle, ~~pero~~ erosionando los materiales que constituyen su lecho y, como consecuencia de las escorrentías tributarias, que contribuyen a la erosión de los muros enca--jantes del valle" (Krynine, 1975)

Los ríos y los valles a lo largo de los cuales transcurren pueden ser juveniles maduros y viejos. A cada una de éstas ---tres etapas en la vida de un río o valle corresponden cambios graduales en su perfil longitudinal, su corte transversal y -su trasado o curso.

En su etapa juvenil el perfil longitudinal es irregular y contiene rápidos, cascadas e incluso lagos, como consecuencia de obstrucciones locales, tales como corrimientos de tierra, y su corte transversal tiende a la forma de "V" (ver -fig. 5.1.6), La planta o trazado de un río o valle juveniles es algo angular o en zigzag. Conforme avanza la erosión, el -río alcanza la madurez. Desaparecen gradualmente las irregularidades y adquiere la forma de una curva suavemente sinusoi--dal. También el perfil longitudinal reduce su gradiente, el -cual decrece en forma gradual hacia la desembocadura del río (Ver fig. 5.1.7). El valle es amplio cuando alcanza su etapa -de madurez., sus flancos son más tendidos que durante su ju--ventud y a menudo aparecen cubiertos por taludes.

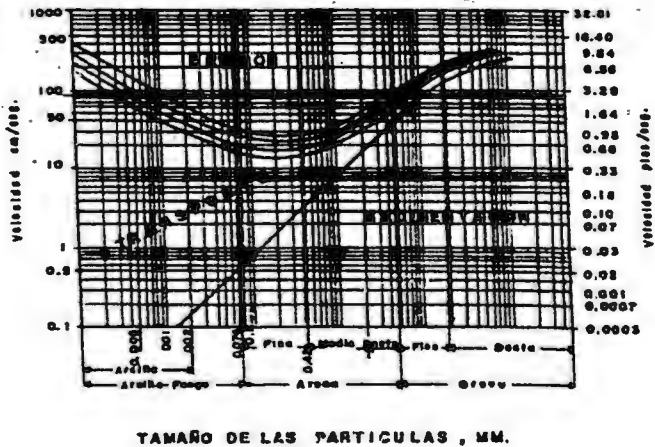


FIG. 5.1.5. Relación del tamaño de la partícula con la velocidad necesaria para su erosión, transporte y depósito (Dimitri P. - Brynne y W. R. Judd, Princ. de Geol. y Geot. para Ing. . . 1975, p. 523).

Inundaciones periódicas contribuyen al ensanchamiento gradual del valle hasta que éste llega a convertirse en una amplia penillanura. (peni= "casi" en griego, de aquí que penillanura quiera decir "casi una llanura".) Entre las inundaciones el viejo río dibuja meandros, cambia su trazado, pero se desarrolla siempre dentro de determinada banda de meandros su curso mayor está situado en la parte central de la penillanura. Al desplazarse de una a otra localización, un río meandriforme puede dejar abandonados lagos en yugo, o aguas muertas (un ejemplo de río meandriforme es el Coatzacoalcos en el estado de Veracruz).

Por lo decrito en estos párrafos, pudiera pensarse limitadamente a la acción de un solo río en un solo valle; lo cual daría una concepción errónea de la evolución de la modificación del relieve debido a las aguas, es decir, en la realidad la erosión afecta una región entera en la que varios ríos son los principales agentes erosivos. El esquema del torrente se compone entonces de los cursos de agua principales y de sus tributarios. En el caso de un río considerado aisladamente, la región de que se trate pasa también por las etapas de juventud, madurez y senectud, y sin embargo los diferentes cursos de agua pueden afectar diversas etapas de su vida, distintas las unas de las otras. Por ejemplo: un curso de agua tributario puede ser juvenil mientras que el curso mayor

puede haber alcanzado su madurez. (la fig. 5.1.8 a, representa en forma esquemática el corte transversal de una región en la que el proceso de erosión se presenta en su etapa juvenil. Amplias divisorias señaladas por D, en la fig. 5.1.8a separan valles en "V". Conforme avanza la erosión las divisorias se hacen más estrechas y más agudas y afiladas, de manera que gradualmente se convierten en crestas que separan los cursos de agua (R en la fig. 5.1.8 b) El relieve " r_a " o diferencia media entre las altitudes de la región, aumenta en forma gradual (de " r_a " a " r_b " en la fig. 5.1.8b,) En planta, se aprecia como los cursos de agua desarrollan al mismo tiempo for

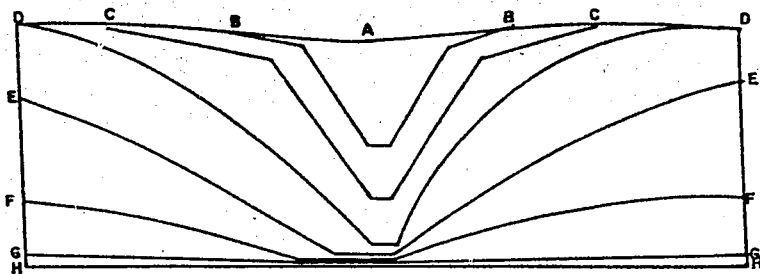


FIG. 5.1.6. Cambios graduales en el corte transversal de un valle: A=corte original, BB=corte juvenil, CC=ltima etapa de su época juvenil DD=madurez temprana, FF=madurez tardía, GG=senectud, HH=nivel de base (De P. H. Lahee, "Field Geology", McGraw-Hill, 1941).

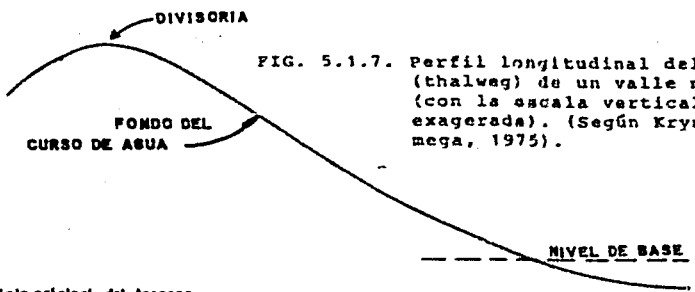


FIG. 5.1.7. Perfil longitudinal del curso (thalweg) de un valle maduro (con la escala vertical muy exagerada). (Según Krynine, Omega, 1975).

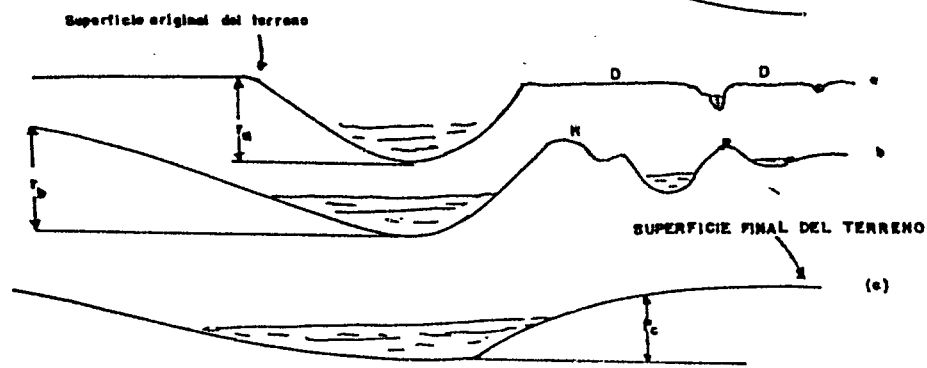
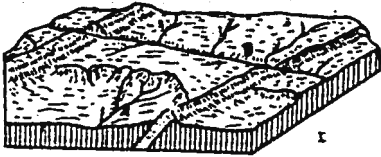


FIG. 5.1.8. Erosión regional: a) juventud, b) madurez, c) senectud (la letra "r" indica "relieve"). (Krynine, "Principios de Geología y Geotecnica para Ingenieros", Omega, 1975).

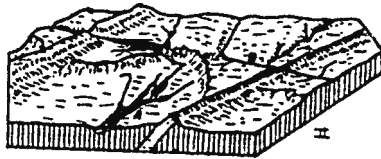
mas digitadas, es decir, como los dedos abiertos de una mano - y dendríticas* o ramificadas* En la próxima etapa o estadio que aparece representada en la fig. 5.1.8c, el relieve decrece otra vez (desde "r_b" a "r_c") y toda la región aparece rebajada a una pendiente de ladera común y uniforme. Esta es la etapa de madurez. En la senectud toda la región propende a - convertirse en una penillanura con una cantidad limitada de corrientes mayores. En el transcurso de los tiempos geológicos* una misma región puede ofrecer varias veces, de tiempo - en tiempo, el desarrollo de tales penillanuras. Se inicia un nuevo proceso de peniplanización cada vez que la penillanura - antigua experimenta elevación en masa como consecuencia del -- diastrofismo*.

A causa de las diferentes circunstancias que caracterizan la fluencia, tales como diferencias de gradiente o en los materiales del lecho, los cursos vecinos no erosionan siempre - sus respectivos valles al mismo ritmo. En consecuencia, el barranco de mayor intensidad de erosión hace retroceder la divisoria "D" o la cresta "R" (Fig. 5.1.8.) en dirección a su vecino más débil. De esta manera las separaciones experimentan erosión vertical, al mismo tiempo que son desplazadas lateralmente por los cursos de agua. La divisoria entre los dos torrentes puede llegar a desaparecer por completo, de modo que lleguen a juntarse las aguas de ambos cursos de agua vecinos; entonces la cabecera del torrente más débil (o de uno de los tributarios) llega a ser desviada a la zona de alimentación - del torrente más activo. "Fenómeno que se conoce con el nombre de Captura Fluvial" (Krynine, 1975).

Los detalles de la erosión y de las formas intermedias modeladas por las que pasa la región antes de alcanzar su estadio final como penillanura difieren considerablemente según - las diversas circunstancias ambientales. (Fig. 5.1.10), entre las cuales, es especialmente determinante el clima. Pueden -- presentarse también interrupciones al desarrollo normal de -- los procesos de erosión por otras causas, que pueden ser gené



Los tributarios de A avanzan gracias al retroceso erosivo de su cabecera, hacia el curso de agua B .



Este último es capturado y desviado hasta el cauce del curso captador A .



El valle se extiende y se hace más profundo.

FIG. 5.1.9. Captura Fluvial.

(De W. H. Emmons y colaboradores, "Geology: Principles and Processes", McGraw-Hill, 1949).

radas por fenómenos como el diastrofismo*.

Deposición .

Continuando en la observación del proceso de formación de suelos aluviales, se puede establecer a la depositación como la etapa subsecuente. Es común que los sedimentos al llegar a esta etapa sean de formas redondeadas y con frecuencia se clasifican por tamaños, por lo que los depósitos pueden estratificarse o formar lentes. Los estratos, separadamente pueden ser delgados o gruesos, pero el material en cada estrato tendrá poca variación en el tamaño de sus granos. Los tres tipos principales de suelos aluviales, que acusan la velocidad del agua de depósito se identifican como:

- a) Arrastres torrenciales
- b) Rellenos de los valles y cauces
- c) Lechos de los lagos

a) Arrastres torrenciales.

Las formas fisiográficas de este tipo de depósitos, son los abanicos o conos aluviales. Varían en tamaño y en carácter desde pequeñas formaciones con fuertes taludes de fragmentos gruesos de roca, a llanuras de suave pendiente de aluviones de grano fino con superficies de varios kilómetros cuadrados. Los depósitos se forman por el abatimiento brusco de la pendiente que se produce en la unión del terreno montañoso con los valles adyacentes o llanuras. (ver. fig. 5.1.11 y 5.1.12)

El material grueso se deposita primero por lo que se encuentra en los taludes con mayor pendiente al principio del abanico, mientras que los materiales más finos van a dar a --

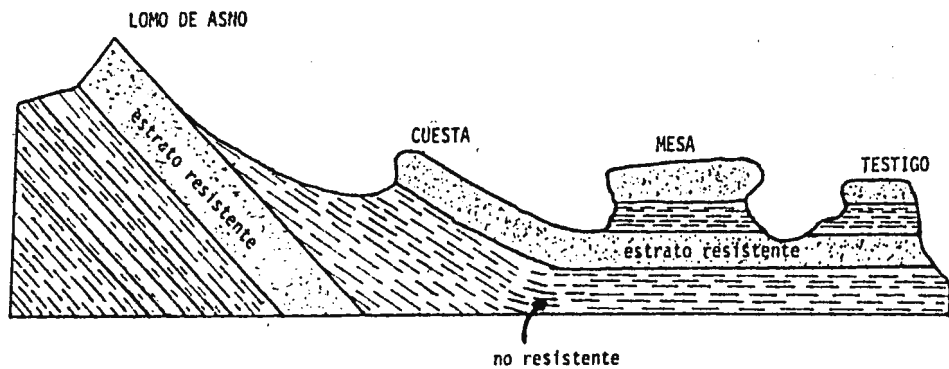
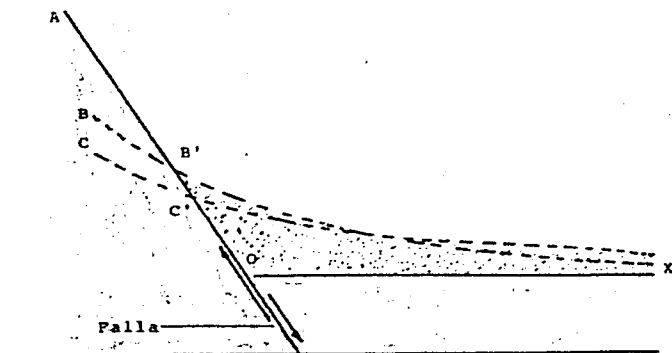


FIG. 5.1.10. Formas de paisaje originadas por erosión (W. H. Emmons, "Geology: Principles and Processes", McGraw-Hill, 1949).

FIG. 5.1.11.



Sección vertical que muestra el crecimiento de un abanico. La roca del fondo está sombreada; el aluvión está marcado con puntos entre AOX, que es el perfil de la superficie antes del depósito del abanico. La línea BB'X, representa el perfil del río en una etapa inicial de formación del abanico. La línea CC'X, corresponde al perfil en una etapa posterior, después de que la corriente ha cortado la parte superior del abanico BB'X, e incrementado su radio, mientras iba estableciendo un perfil cóncavo continuo. (Según Longwell y Flint, "Geología Física", Limusa, 1971).

las orillas del mismo. En los climas áridos donde predomina - el intemperismo mecánico sobre el químico, los abanicos están compuestos principalmente de fragmentos de roca, grava arena- y limo. En los climas húmedos en los que las formas geológicas tienen taludes menos pronunciados, se supone que el mate- --- rial contenga mucha más arena, limo y arcilla. Las arenas y gravas de estos depósitos son de partículas subredondeadas y subangulares, que acusan acarrees a distancias relativamente cortas y en los depósitos apenas se denota estratificación.

b) Depósitos de Llanuras de Inundación.

Los depósitos de los valles son por lo general más finos, más estratificados y más clasificados que los arrastres to- --- rrenciales. El grado de variación de estos últimos depende -- principalmente del volumen y de la pendiente de la corriente. La superficie de estos depósitos fluviales es casi plana. La naturaleza de los materiales en el depósito se puede deducir- de las características de la corriente. Las corrientes ramifi- cadas generalmente indican la presencia del limo, arena, y gra- va mientras que las corrientes sinuosas en los valles anchos- se asocian comunmente a los suelos de grano fino (limos y ar- cillas.

Entre los tipos de depósitos que se pueden considerar im- portantes se pueden mencionar: los deltas, las terrazas, los - diques naturales, los depósitos de corrientes trenzadas y -- los depósitos en meandros .

Deltas.

Un delta es un cuerpo de sedimento depositado por una co- rriente que fluye dentro de un cuerpo de agua "estancada", -- tal como la de un lago o de un océano, porque la corriente -- pierde energía al ponerse en contacto con la estaticidad de -

sus aguas.

Se le denomina delta, porque la carga se va depositando semejando la forma de la letra griega Δ . Existen varias clases de deltas pero la que es más fácil de reconocer y probablemente la más común se presenta en la figura 5.1.13.

Esta difiere de un abanico aluvial por las dos razones -- siguientes: (1) La pérdida de la energía de la corriente es más bien gradual que repentina; por lo tanto, los sedimentos se depositan más lentamente y con una disposición más ordenada y (2) El nivel del mar o del lago establece un límite aproximado al crecimiento vertical del depósito, cuya cima es más plana que el perfil de un abanico.

Las partículas de la carga del fondo se depositan primero, según un orden decreciente de peso., después se asientan los sedimentos en suspensión. Una capa depositada de una sola vez (como la que se formaría en una sola avenida), queda -- clasificada, graduada de gruesa en la desembocadura, hasta -- fina mar adentro. El depósito de muchas capas sucesivas llega a formar un gran banco que crece hacia afuera como el terraplén de una carretera que se construye volcando materiales (por esto el volumen principal del delta suele estar constituido por material grueso, inclinado hacia el frente con un ángulo de reposo del orden de los 35°) (Pearl, 1971) .

La parte gruesa y dependiente abrupta de cada capa de un delta recibe el nombre de capa frontal; si se le sigue mar adentro se ve que el mismo estrato se adelgaza rápidamente y es de textura más fina, cubriendo el fondo sobre una superficie amplia. Esta parte delgada, de textura fina y de pendiente suave que corresponde a cada estrato del delta se llama -- capa de fondo.

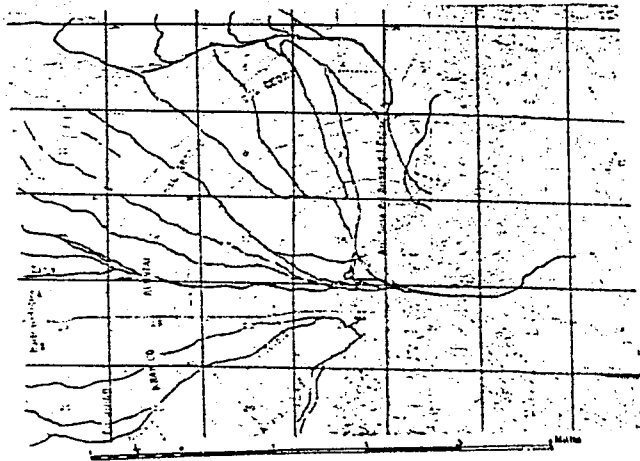


FIG. 5.1.12. Topografía de un abanico aluvial (Banco probable de arena y grava) (Bureau of Reclamation U.S. Department of the Interior, "Design of Small Dams", Ed. Continental, 1966).

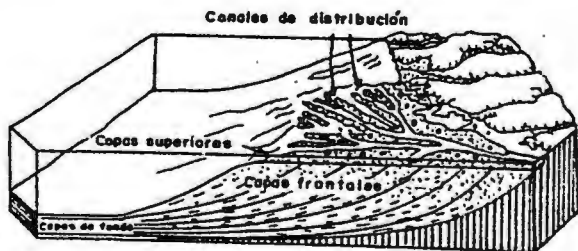


FIG. 5.1.13. Pequeño delta ideal. Las capas frontales consisten de arena que gradúa hacia afuera (o sea mar adentro) a limo y arcilla en las capas de fondo. La pendiente formada por las capas frontales más altas se aprecia a través del agua. Cuanto menos profunda es el agua mar adentro, menos definida es la estratificación (Longwell y Flint, Geol. Fis., 1971, p. 188).

A medida que se depositan capas sucesivas, las capas frontales de textura gruesa traslapan una a una sobre las capas de fondo produciendo la disposición que se aprecia en la fig. 5.1.13, la corriente gradualmente se extiende mar adentro sobre el delta en crecimiento, erosiona la cima de las capas frontales durante las avenidas y en otras épocas deposita parte de su carga de fondo a lo largo de su canal. Estos últimos depósitos constituyen las capas superiores del delta yaciendo encima de las capas frontales. Durante las épocas de crecientes la corriente se sale de su cauce y forma canales de distribución accesorios a través de los cuales el agua penetra en el mar independientemente, multiplicándose, así las capas frontales. Los canales de distribución accesorios radiales colaboran grandemente a darle su forma característica a esta deposición. Puede parecer sorprendente que la carga en suspensión, gran parte de la cual ha sido transportada cientos de kilómetros a través del cauce de un gran río sin haberse depositado, se asiente repentinamente para formar parte de un delta determinado, en lugar de permanecer en suspensión lo suficiente como para ser arrastrada lejos de la tierra; pero las sales disueltas en el agua del mar coagulan o floculan las partículas finas en agregados lo suficientemente grandes para ser asentadas sobre el fondo con rapidez.

Terrazas.

Las terrazas representan la etapa incipiente del desarrollo del valle dentro de las que quedará el río encerrado después. Los restos de estos depósitos se reconocen por lo plano de su parte superior y sus faldas inclinadas que generalmente se prolongan en un tramo largo del valle. El examen de las faldas de los cerros, erosionadas facilita la clasificación de los depósitos y la extensión de la red de drenaje en el frente, ayuda a la determinación de la humedad. Los materiales permeables casi no tienen canales laterales de erosión

mientras que las arcillas impermeables tienen surcos finos lateralmente. Las arenas y gravas de terrazas fueron depositadas en el pasado geológico. Las arenas y gravas de estas formaciones generalmente ocurren en mantos y están bien graduados (ver fig. 5.1.14. y 5.1.15)

Diques Naturales.

Son unos bordes bajos y amplios constituidos por aluvión fino que se extiende a lo largo de las márgenes de la corriente. Pueden alcanzar alturas del orden de 5 a 8 m., están constituidos por sedimento que se hace más fino a medida que se aparta del río y se convierte gradualmente en una delgada cubierta de limo y arcilla. Sobre el resto de la planicie de inundación los diques naturales se forman y reciben más material únicamente durante inundaciones de tal altura que convierten a la planicie de inundación en un lago suficientemente profundo para que los diques queden sumergidos. En el agua que fluye hacia los lados desde el cauce sumergido sobre la planicie de inundación, igualmente sumergida la profundidad, la velocidad y la turbulencia disminuyen violentamente en las márgenes del cauce. Esto trae consigo el depósito brusco y rápido de las partes gruesas de la carga en suspensión (generalmente arena fina y limo) a lo largo de las orillas del cauce. Más allá del cauce, el limo fino y la arcilla se asientan en las aguas tranquilas. En algunos lugares los valles y otros obstáculos dieron lugar a que el limo y la arena fina se acumularan en espesores hasta de 1.5 m. Bajo condiciones ordinarias el limo depositado por las inundaciones beneficia las tierras agrícolas (Ver fig. 5.1.16.)

Depósitos de Corrientes trenzadas.

Una corriente trenzada es la que fluye a través de dos o más cauces interconectados rodeando islas de aluvión. La mayor

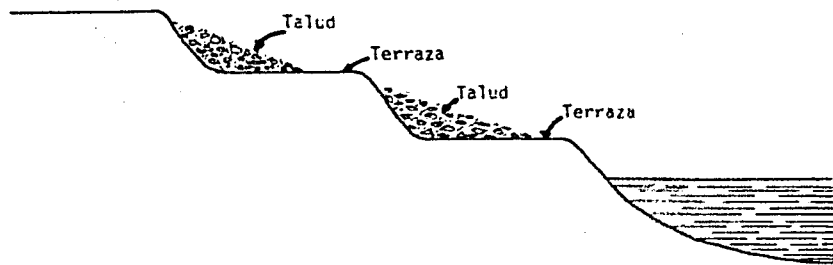


FIG. S.1.14. Terrazas y Taludes (Krynine, "Principios de Geología y Geotecnia Para Ingenieros", Omega, 1975).

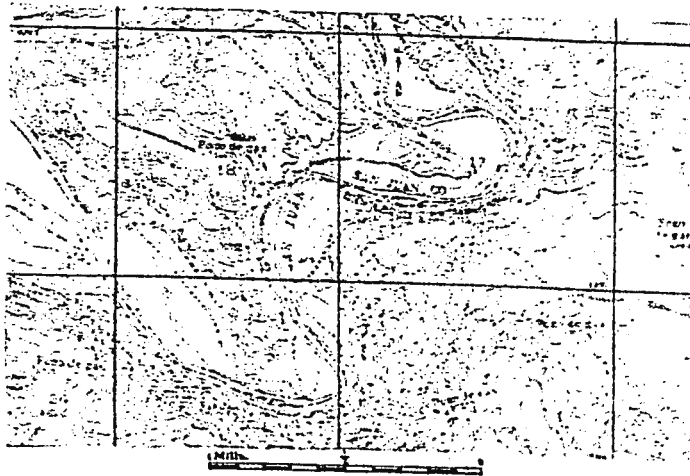


FIG. 5.1.15. Topografía de un depósito fluvial mostrando el aluvión del río y tres niveles de terrazas de grava (Bureau of Reclamation U.S. Department of the Interior, "Design of Small Dams", Ed. Continental, 1966).

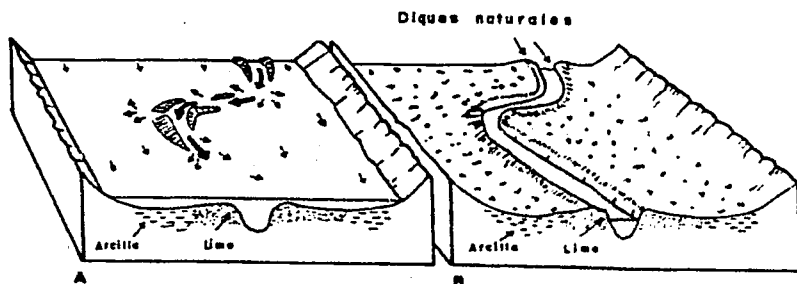


FIG. 5.1.16 Planicie de inundación con diques naturales. A. Durante una gran inundación gran parte del fondo del valle se convierte en un lago. El agua con alta velocidad (flechas grandes) fluye por el cauce y parte del agua escurre con velocidades decrecientes (flechas más pequeñas) en las amplias afeas someras adyacentes, depositando sedimento que forma diques naturales. Las porciones más altas de esos diques o bordos, que crecen únicamente durante las avenidas más grandes, forman islas. B. En tiempos de estiaje los diques se mantienen como camellones bajos a lo largo de los lados del cauce; fuera de ellos hay terrenos pantanosos. La escala vertical está muy exagerada. (Longwell y Flint, Geol. Fis., 1971, p. 185).

parte de estas corrientes transportan material grueso tal como la arena o grava. Un proceso que conduce a la formación de una corriente trenzada consiste en el depósito, cerca del centro de su cauce de una barra inicial de aluvión grueso el cual no puede ser transportado bajo las condiciones que prevalece comúnmente; pronto la barra se convierte en una isla con un cauce a cada lado y de manera similar se desarrollan otras nuevas islas llegando a formarse finalmente una red de canales múltiples semejantes a una trenza .

Depósitos en Meandros.

Los meandros son las curvas o recovecos en el cauce de una corriente. Aunque no se requiere carga para que puedan desarrollarse meandros, se ha observado que muchas corrientes meandri-formes llevan una carga abundante y depositan sedimentos de acuerdo con un patrón definido. Este consiste en la formación de barras en forma de media luna construídas a la orilla de la curva interior convexa del cauce. También se les conoce como bancos. El crecimiento de una barra fluvial se puede ver en los experimentos realizados en modelos como el que se presenta en la fig. 5.1.17.

Las secciones transversales en esta, indican que la línea de mayor velocidad (V) y la situación de los puntos de mayor turbulencia (T) son más grandes a lo largo del banco concavo. La arena erosionada en este banco se deposita y forma una barra a lo largo de la siguiente margen convexa aguas abajo, en donde la velocidad y la turbulencia son menores. Aunque el crecimiento de las barras no es necesario para desarrollar los meandros, posiblemente acelera el crecimiento de un patrón de meandros estable. En fin, con meandros o sin ellos la corriente que fluye en un valle con aluvión realiza mucho trabajo erosivo al socavar las riberas.

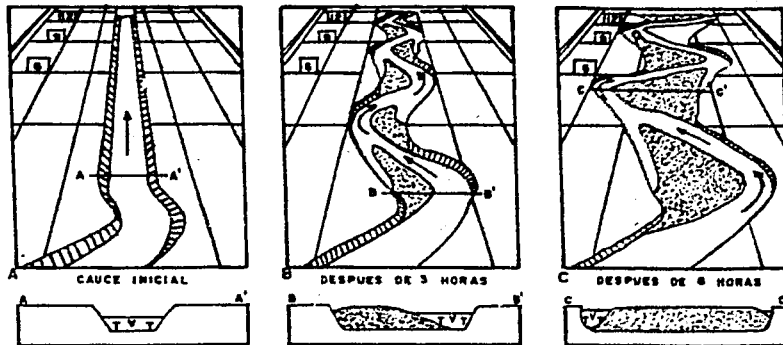


FIG. 5.1.17 Desarrollo de bancos de un modelo de río. A. Cauce inicial en arena en un declive amplio de 15 m. de largo (los números indican la distancia en metros desde el punto de observación). El canal fue construido desde el principio con una irregularidad -- (que se ve al frente en la primera figura). El agua fluye en la dirección indicada por las flechas. La sección A-A' se indica abajo. Las letras T indican las zonas de turbulencia y las V las zonas de mayor velocidad. B. El río comienza a desarrollar meandros. Después de tres horas se erosionan bancos cóncavos exteriores y la arena se deposita a lo largo de los bancos convexos interiores siguiendo la corriente. La sección transversal B-B' muestra un canal asimétrico y bancos (que se ven cuando baja el nivel del agua). C. Después de seis horas los meandros se agrandan y con ellos crecen también los bancos. Estos indican que la excavación de los bancos aporta una gran carga que la corriente se encarga de transportar (Según J. P. Friedkin, U.S. Waterways Experiment Station).

Estratos de los Lagos.

Los sedimentos de los lagos o depósitos lacustres, ciénegas, pantanos y turberas son el resultado de la sedimentación en aguas tranquilas. Excepto cerca de las orillas de los depósitos, en las que las influencias fluviales son importantes, es muy probable que sean los materiales limos de grano fino y arcilla. La estratificación es frecuentemente tan fina que los materiales tienen una apariencia maciza. Los depósitos lacustres se reconocen por sus superficies planas rodeadas de terreno alto. Los materiales que contienen son probablemente impermeables, compresibles y de baja resistencia al corte (Ver figura 5.1.18)

Turbas.

La turba es el resultado de la acumulación de vegetales macro y microscópicos descompuestos en un ambiente acuático bajo la acción de hongos y bacterias; puede ser de diferentes tipos según la naturaleza de las plantas originales y el grado de descomposición; así, hay turbas fibrosas, turbas nícticas*, etc (ver fig. 5.1.19). Cada tipo de turba tiene una estructura, una textura y un olor característico, así como un contenido de agua particular que puede variar entre 100 y 2000 % .

Las turbas litorales se forman en los fondos lagunares suficientemente desalados en los estuarios y en las bahías cerradas por un cordón litoral detrás del cual se disponen en capas alternadas, turbas y arenas marinas. En la llanura litoral también pueden encontrarse turbas en zonas en donde la velocidad del agua corriente es baja o nula, como en los meandros abandonados cerca de la desembocadura de los grandes ríos que desaguan en el Golfo de México (Ver fig. 5.1.20)

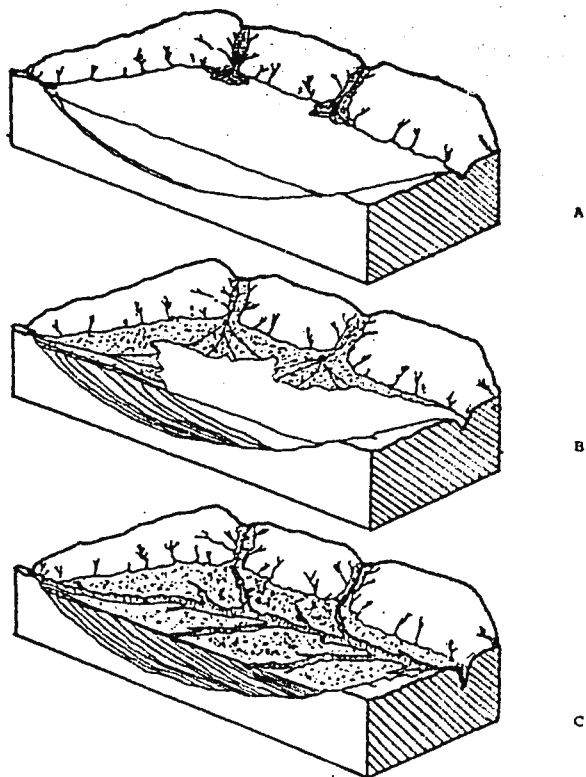


FIG. 5.1.18. Diversas etapas de la historia de un lago.
A. El sistema fluvial queda represado por una ligera comba hacia arriba en el extremo derecho del bloque, formando una cuenca y un lago con desagüe a través del arqueamiento. Los ríos forman deltas; la línea de costa es erosionada por las olas.
B. Los deltas crecen y sobresalen, relleno gradualmente la cuenca. La salida del desagüe se profundiza por erosión.
C. La erosión de esa salida drena gradualmente el lago; las corrientes surcan los sedimentos del lago, creando terrazas amplias. En esta cuenca los sedimentos son partículas de roca (arena, limo y arcilla) acarreados por las corrientes. (Longwell-Flint, "Geología Física", 1956).

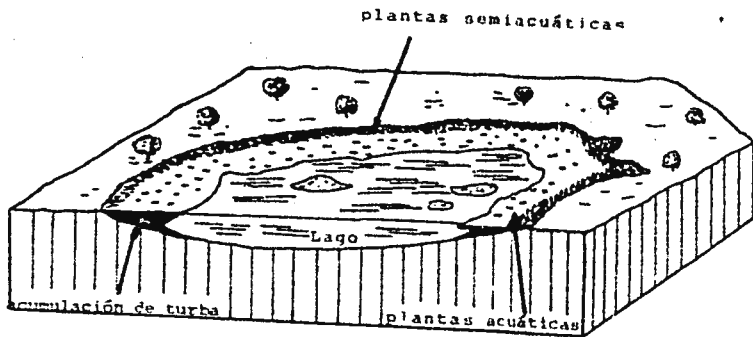
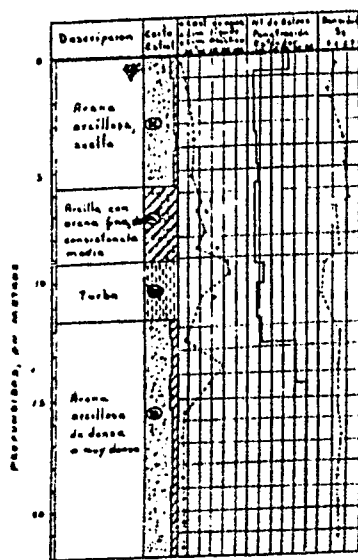
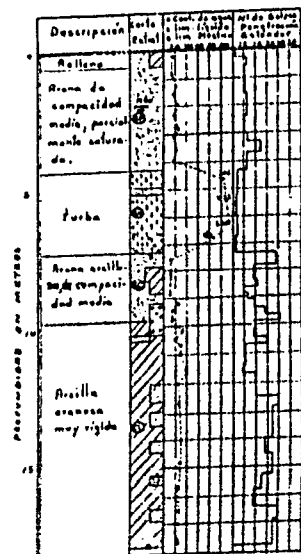


FIG. 5.1.19. Relleno de un pequeño lago, con turba. La vegetación se extiende gradualmente de las costas hacia el centro del lago. Algunas se van al fondo, pero una capa flotante de especies vegetales vivientes ocupa la superficie. Finalmente el lago queda completamente ocupado por turba. El lago no es esencial para la turba, la cual también se acumula en los pantanos sin que éstos hayan sido precedidos por lagos. Longwell y Flint. "Geología Física", - Limusa, 1971).



Sondae SM-1161

Zonas bajas con turba



Sondae SC-1

FIG. 5.120

Las características de la turba son :

- Muy bajo peso volumétrico (entre 0.1 y 0.9 T/m³).
- Muy alto contenido de agua (100 a 600 %), por lo general.
- Contenido de materia orgánica superior al 10% y a veces hasta de 80 % .
- Resistencia al corte no drenada que puede alcanzar - 2.5 T/m² en las turbas fibrosas y no sobrepasar - - 1.0 T/m² en las turbas blandas altamente descompuestas.

Los asentamientos resultantes de la alta compresibilidad de las turbas no siguen las leyes de la consolidación de Terzaghi, porque la componente de consolidación primaria es muy corta y, en cambio, la de consolidación secundaria es preponderante; de ahí que las curvas de relación de vacíos contra presión sean difíciles de definir, lo mismo que la carga de preconsolidación (aunque en general se trata de materiales normalmente consolidados) (Vieitez U., 1978)

La permeabilidad es varias veces mayor en el sentido horizontal que en el vertical, sobre todo en turbas fibrosas; lo que da lugar a que la consolidación primaria sea rápida. Al comprimirse la turba bajo una sobrecarga su permeabilidad horizontal decrece. En cimentaciones sobre turbas, lo primero que debe verificarse es si el proceso de descomposición está en curso o se ha completado. Una turba en descomposición todavía activa puede sufrir deterioro o degradación posterior y las características que se hayan determinado durante los estudios previos pueden sufrir detrimento importante con el tiempo, por lo que las cimentaciones diseñadas de acuerdo con esas características acabarán por presentar un comportamiento no previsto.

En el caso de turbas en vías de descomposición lo mejor es -- evitarla o retirarla.

Las capas de turba suelen ser de poco espesor (del orden de un metro) aunque excepcionalmente se encuentran espesores mayores, hasta de 10 m.; es común encontrarlas intercaladas - entre depósitos de arenas, de fango o de limos de arcillas.

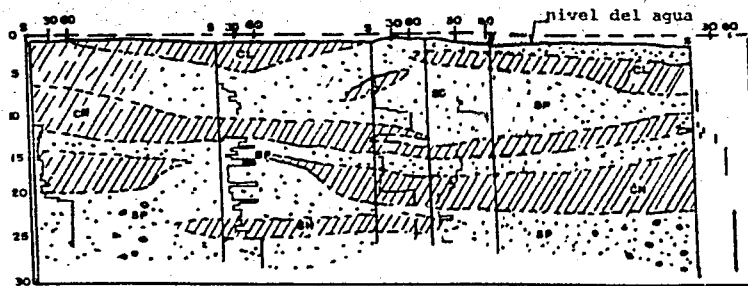
Estratigrafía.

Con el objeto de mostrar la erraticidad y heterogeneidad - de los suelos aluviales a continuación se muestran los perfiles que se consideraron representativos de cada una de ciertas zonas donde se realizaron varios sondeos de Mecánica de Suelos, y que por medio de correlaciones en cada una de ellas se dedujeron al ir identificando los estratos de materiales - semejantes a lo largo de un trazo imaginario que unía a los - puntos donde se efectuaron las perforaciones:

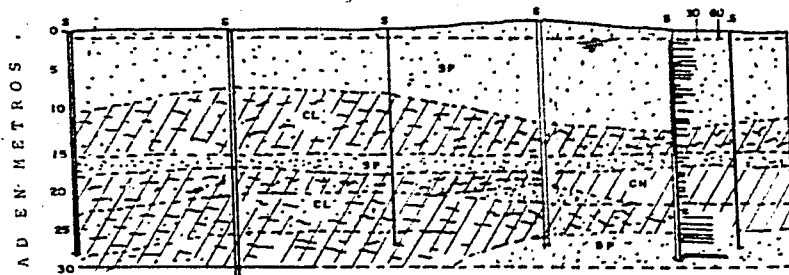
En estudios realizados en Pajaritos, Ver., se identificaron a las orillas del río Coatzacoalcos y cerca de la laguna de -- Pajaritos, en general en los primeros 5 a 10 m. depósitos de arenas medias, finas uniformes, limpias y muy sueltas, y depósitos de arenas arcillosas, arcillas arenosas, limos arenosos, y arcillas, todos muy blandos que se pueden considerar como de depósitos de aguas someras (ver. fig. 5.1.21.) (Vieitez U., 1978)

En el área de Coatzacoalcos la parte superficial de la zona estudiada estaba constituida de arenas uniformes muy sueltas a medianas, con un espesor de 2 a 4 m., a las que subyacen arenas poco limosas, limos arenosos de baja plasticidad, arenas limpias medias a finas de compactidad mediana a compacta, y arcillas limosas de plasticidad media a alta con una apreciable cantidad de materia orgánica y a profundidad del orden de 18 m.

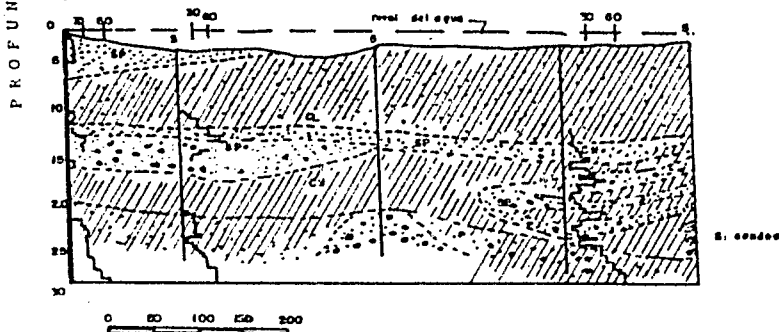
FIG. 5.1.21.



Area de Pajaritos, Ver.. zona baja. Perfil de suelos deducida del área de la dársena de ciaboga.



Area de Pajaritos, Ver.. Zona baja. Perfil de suelos a lo largo de la península.



Area de Pajaritos, Ver.. Perfil de suelos en el canal de navegación.

(Vieltez U. , SMMS, V Reunión Nacional, 1970) .

se encuentran arenas limpias y arenas poco limosas con bolsas de arcilla. Esta secuencia se encuentra en los sondeos hechos a lo largo de la margen izquierda del río Coatzacoalcos, en la parte comprendida en la carretera a Villahermosa, Tab., y la calle conocida como "Camino Transísmico" y se presenta en el perfil de la fig. 5.1.22 (Vieitez U. 1970)

En la ciudad de Tijuana se realizaron una buena cantidad de sondeos con el objeto de recabar datos para el proyecto de canalización del río Tijuana, de los cuales se dedujeron los perfiles mostrados en las figuras 5.1.23, 5.1.24 y 5.1.25 .
(Enrique Santoyo y Luis Montañez, 1976)

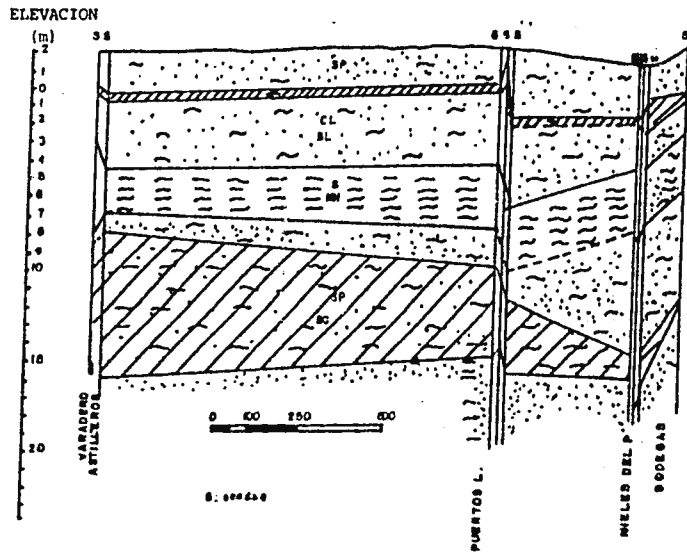


FIG. 5.1.22. Perfil del subsuelo a lo largo de la margen izquierda, -
 entre la carretera a Villahermosa y calle canino Trans-
 itsmico. (Tomado de Weitzer G., SMG, V Reunión Nacional,
 1970).

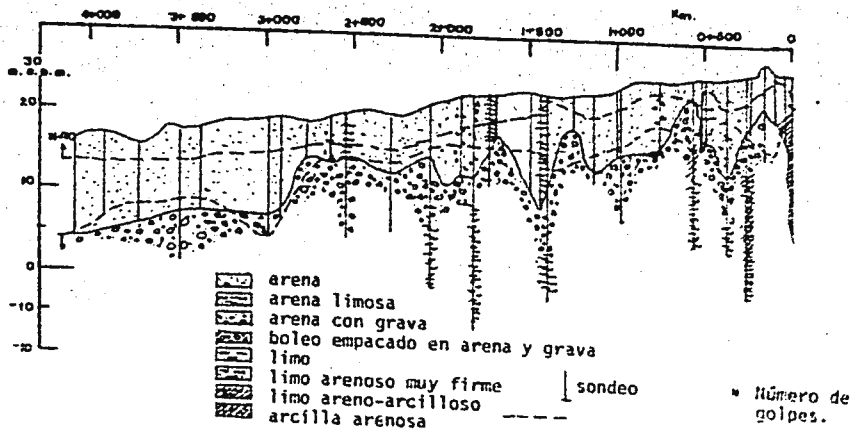


FIG. 5.1.23. Perfil de la canalización del río Tijuana.
 (E. Santoyo y L. Montañez, SMSE, VIII Reunión Nacional,
 1976).

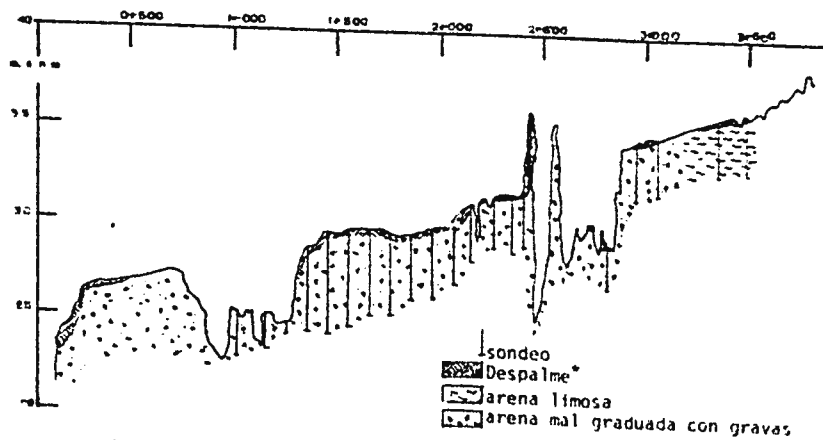


FIG. 5.1.24. Perfil de la canalización del río Tijuana.
 (E. Santoyo y L. Montañez, SMSE, VIII Reunión Nacional,
 1976).

* No se clasifica el suelo.

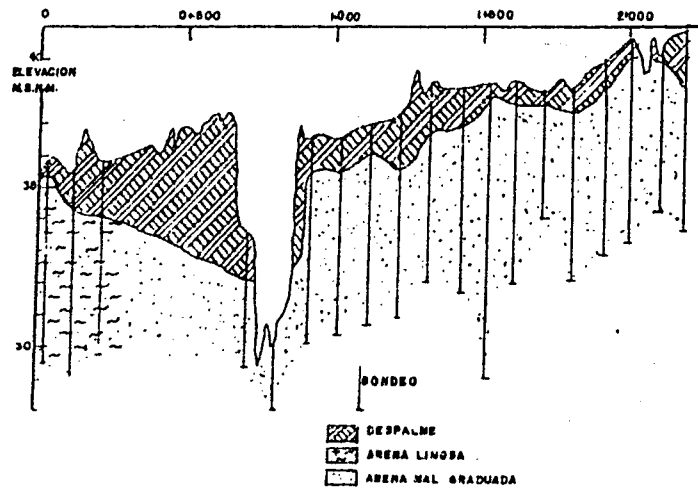


FIG. 5.1.25. Perfil de la canalización del río Tijuana. (E. Santoyo y L. Montañez, SMMS, VIII Reunión Nacional, 1976).

5.2 EXPLORACION, PRUEBAS, Y PROPIEDADES DE LOS SUELOS ALUVIALES.

Los ríos torrenciales dan lugar a una estratificación errática y cuanto más, se aproxima la estructura de una masa de suelo al tipo errático, tanto más difícil resulta determinar valores medios para las constantes y parámetros del suelo y más incierto es el resultado.

En arcillas resistentes y otros suelos de gran cohesión, la estructura primaria* puede llevar asociada una estructura secundaria*, la cual en llanuras inundables se caracteriza -- por fisuraciones capilares, grietas y diaclasas en las arcillas constituyentes de capas que pudieron c/u de ellas estar temporalmente expuestas a la atmósfera, antes de que se depositara una nueva capa. La contracción por pérdida de humedad-- originó las fisuras durante el período de exposición. El deslizamiento a lo largo de fisuras existentes o recientemente -- formadas, originado como consecuencia de cambios de volumen-- producidas por procesos químicos o por deformaciones debidas-- a fuerzas tectónicas o gravitacionales, pule las caras de la fisuras dando origen a los espejos de fricción. Si un estrato cohesivo tiene una estructura secundaria bien desarrollada, -- los resultados de los ensayos de laboratorios pueden propor-- cionar una concepción errónea de sus propiedades mecánicas. -- Por ello, tratándose de suelos con estas características, la única guía de confianza que le queda al ingeniero consiste en su criterio formado en la experiencia adquirida en el terreno con materiales similares y en algunos casos, ensayos in situ-- en gran escala. (Terzaghi y Peck, 1973)

"La experiencia ha indicado que las propiedades físicas de casi todos los estratos naturales de suelo varían considerablemente en la dirección vertical y mucho menos en las direcciones horizontales. Así por ejemplo, al observar el contenido de

agua en una capa de arcilla es probable que varíe con la profundidad en una manera errática" como las que indica la figura 5.2.1) (Terzaghi y Peck, 1973).

Si un estrato es del tipo errático, como el que pueden presentar comunmente los suelos tratados en este capítulo, la manera de obtener una información adecuada con respecto a cómo varían las propiedades del suelo consiste en la extracción de muestras continuas que abarquen todo el espesor del estrato y en efectuar ensayos sobre cada parte del material de la muestra obtenida, o bien en ejecutar ensayos adecuados en el terreno. Cierta tipo de ensayos, como los de penetración, proporcionan un registro continuo de las variaciones de resistencia del estrato. Otros, como los ensayos de bombeo, utilizados para determinar el coeficiente de permeabilidad, proporcionan valores medios de las propiedades del suelo que se investiga. También es importante mencionar que en la determinación del comportamiento de estos suelos, dada su heterogeneidad, es recomendable utilizar criterios basados en correlaciones como el que se propone en el inciso 2.2 de este trabajo.

A toda investigación de suelos de origen aluvial es importante que preceda una revisión de la información existente respecto de las condiciones geológicas del terreno, en o cerca del lugar. En la mayoría de las veces esta información debe ser suplementada con los resultados de investigaciones más directas. Usualmente, el primer paso en el campo, consiste en ejecutar unos pocos sondeos por un método rápido y obtener muestras suficientemente intactas de los suelos que forman cada uno de los estratos encontrados por las herramientas del sondeo. Son los que se conocen como perforaciones exploratorias. Las muestras proporcionan el material para una investigación de las propiedades del suelo por medio de ensayos en el laboratorio. Tanto la información geológica como los ensayos en el terreno, los de penetración, los de corte en el lugar o los de

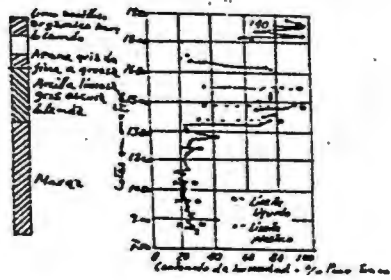


FIG. 5.2.1. Variación del contenido de humedad de las muestras de una perforación en un depósito compuesto. (Terzaghi y Peck, Mecánica de Suelos, 1973).

bombeo, proporcionan información directa relativa a detalles del perfil del suelo y a las propiedades del suelo in situ. A esta información se puede agregar, de ser necesaria, la que pueden facilitar los métodos geofísicos que pueden aportar información respecto a la posición del plano de separación entre suelo y la roca, si la roca no es sana y su superficie superior no es demasiado irregular, se puede determinar la posición y la topografía de la misma mucho más económica y rápidamente que por medio de perforaciones; se pueden determinar bajo condiciones favorables, la posición de los límites entre los diferentes estratos de suelos y obtener datos respecto de las propiedades físicas de los mismos. (Es importante agregar que en muchos casos los resultados de los métodos geofísicos han conducido a conclusiones erróneas; por lo que no se debe confiar mucho en ellos a menos que sus resultados sean adecuadamente controlados con perforaciones u otros métodos directos de investigación)

Los métodos más usados en la exploración se pueden resumir en perforaciones, muestreo, auscultaciones, ensayos de corte in situ y los métodos geofísicos (ya comentados)

Perforaciones.

Entre los tipos principales se pueden mencionar las perforaciones a inyección de agua, conviene observar cuando las características del suelo aparecieran uniformes que se pueden obtener muestras a cada metro o a cada metro y medio, estando al pendiente del color y apariencia general del agua que sale conforme va progresando la perforación, para que cuando se note un cambio se pare la inyección y se introduzca el muestreador. No se deben tolerar variaciones con respecto a este procedimiento, pues pueden conducir a serios errores relativos a las condiciones del subsuelo; en efecto, "aún cuando la toma de muestras se haga en forma conciente, capas de arcilla de hasta

un metro de espesor pueden pasar inadvertidas cuando están situadas entre dos capas de arena" (Terzaghi y Peck, 1973). Toda vez que se para el avance con el objeto de tomar una muestra, debe esperarse que el agua en el caño de la camisa del dispositivo alcance un nivel estacionario que corresponde al nivel freático el que se determina y anota.

En la perforación rotativa se debe estar conciente que el uso de fluido de perforación, común en este método, elimina la posibilidad de determinar los niveles piezométricos correspondientes a los varios estratos permeables a través de los cuales pasa la perforación y que es un dato significativo en la concepción del comportamiento de los suelos descritos en este capítulo.

Las perforaciones a barreno que suelen utilizarse universalmente para sondeos poco profundos no son recomendables para suelos con gran contenido de arenas por debajo del NAF (nivel de aguas freáticas), ya que en este caso el material no permanece adherido a la punta helicoidal del mismo. Las muestras de suelo cohesivo obtenidas con barrenos contienen todos los elementos sólidos que constituyen el material, pero su estructura ha sido completamente destruida y por debajo del nivel freático, su contenido de humedad suele con frecuencia ser mayor que el que posee el suelo en el sitio. Por ello, el uso de barrenos como herramienta de perforación no excluye la necesidad de obtener muestras con muestreador toda vez que la perforación alcanza un estrato nuevo. Solo las muestras obtenidas con cuchara pueden considerarse representativas de las características del suelo inalterado.

Cualquiera que sea el procedimiento utilizado para efectuar una perforación exploratoria, las notas tomadas en el terreno por el perforador, o por el ingeniero supervisor, deben contener la fecha en que se realizó la perforación, la situa--

ción de la misma con respecto a un sistema permanente de coordenadas y la cota del terreno natural referida a un punto fijo permanente. Deben incluir, así mismo, la elevación del nivel freático- las cotas de separación entre los sucesivos estratos de suelos, la clasificación de los mismos efectuada por el perforador y los valores de la resistencia a penetración obtenida por medio del ensayo de penetración estándar o normal. Debe además anotarse el tipo de herramienta utilizada para perforar, y si hubiese sido necesario cambiar de herramienta, indicar a que profundidad y por qué razones se efectuó el cambio. Las perforaciones incompletas, o que fueron abandonadas, deben describirse con el mismo cuidado que las perforaciones completadas. Las notas tomadas durante las perforaciones deben incluir todos los fenómenos observados que pueden resultar de utilidad, como por ejemplo, las cotas en que se notó que por infiltración en el pozo se producía una pérdida de agua de inyección.

Si el plano de la cimentación va a estar situado por debajo del nivel freático, es aconsejable transformar al menos una de las perforaciones en un pozo de observación, para registrar los movimientos del mismo durante la construcción. Cuando se prevé colocar concreto por debajo del NAF deben tomarse muestras de agua, con volumen de 3 a 4 litros de varias de las perforaciones, a fin de someterlas al análisis químico para determinar si el agua contiene elementos nocivos en suficiente cantidad -- como para atacar al concreto armado. Si existe alguna indicación de que el agua contiene gases, el análisis debe hacerse en el lugar, inmediatamente después de tomadas las muestras.

La información contenida en las notas tomadas en el terreno deben reunirse en la forma de perfiles de las perforaciones en los cuales las cotas de separación entre estratos se dibujan a escala en su posición correcta.

Muestreo.

Las partículas desmenuzadas y el producto del retorno de la inyección de las perforaciones exploratorias son inadecuados para proveer una concepción satisfactoria de las características ingenieriles de los suelos encontrados o incluso del espesor y la profundidad de los varios estratos. Es un tipo de evidencia tan limitada que, en la mayoría de los casos, conduce a conclusiones erróneas y ha sido responsable de muchas fallas de las cimentaciones. La identificación adecuada de los materiales del subsuelo requiere que las muestras recuperadas contengan todos los elementos constitutivos del material en sus propias proporciones, que sean correlacionados con los estudios geológicos de la zona y más aún, evaluar las propiedades ingenieriles apropiadas (como la resistencia, compresibilidad, permeabilidad, etc) sobre muestras bastante intactas o aun virtualmente inalteradas.

Para obtener muestras, los elementos más utilizados son el tubo partido, los tubos de pared delgada, los muestreadores a pistón y el muestreador de lámina enrollada.

Cuando se utiliza el tubo partido se observa que las muestras de arcilla retienen menos partes de las características del suelo inalterado porque al penetrar dentro del mismo sufren una energía compactación independientemente si el suelo in situ se halla en el estado suelto ó en estado denso. Por ello, dichas muestras no alcanzan a informar al ingeniero sobre la densidad relativa del suelo a pesar de que, como regla general, la determinación de esta propiedad es mucho más importante que la que se relacionan con las características intrínsecas de los granos por lo que frecuentemente para obtener al menos alguna idea sobre esto del suelo in situ, se cuenta el número de golpes que se requieren para hincar el muestreador 30 centímetros en el terreno con un peso determinado y una altura de ---

caída fija (Ensayo normal de penetración o penetración estándar). En zonas de aluviones donde se pueden encontrar estratos de grava, no se pueden extraer muestras de material con la perforación común de 50.8 mm. de diámetro del tubo pastido - (Exploración o muestreo profundo en suelos, Jorge Agustín Lopez Flores) y muchas veces resulta imposible atravesar el estrato con la camisa del dispositivo, de modo que la perforación debe abandonarse. En estos casos, la nueva perforación debe tener, como mínimo un diámetro de 101.6 mm. (4 pulgadas.)

En suelos cohesivos compactos donde se requiere información fehaciente respecto de la resistencia al corte o a las características tensiones deformaciones del depósito y dado que el grado de alteración en los resultados depende en gran parte del sacamuestras y del procedimiento que se ha utilizado para introducirlo en el suelo se recomienda el uso de tubos de pared delgada hincados con fuerza estática y en movimiento rápido continuo (mediante un gato hidráulico por ejemplo). Este procedimiento no funciona si existen concreciones duras del suelo por lo que para suelos más resistentes hay que recurrir a un sacatestigos tipo Denison o similar.

En suelos cohesivos, también es recomendable el uso de muestreadores de pistón. Estos dispositivos cuando se pueden conseguir con pequeños índices de áreas, que según Hvorslev (1948), se determinan por la relación:

$$A_r = 100 \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_i^2} ; \quad \text{Donde } D_e: \text{ Diámetro exterior del tubo sacamuestras}$$

D_i : Diámetro interior del tubo sacamuestras.

puede dar muy buenos resultados, aún cuando los suelos sean -

muy blandos y sensitivos.

Cuando se requiere la obtención de muestras de arcilla y limos blandos, hasta profundidades del orden de los 20 metros, con un grado de inalteración que puede considerarse alto, se puede usar el muestreador de lámina enrollada.

Sondeos representativos.

Las auscultaciones o sondeos representativos se utilizan para explorar capas de suelo con una estructura errática como la que suelen presentar continuamente los suelos aluviales. Se usan además para comprobar si el subsuelo contiene o no lentes de material excesivamente blando, situados en el espacio entre perforaciones, y también para obtener alguna información sobre la densidad relativa de suelos poco o nada cohesivos. Los resultados obtenidos de perforaciones realizadas en suelos con una estructura errática dejan un margen demasiado grande a la interpretación libre, a menos que la distancia entre perforaciones sea pequeña. en cuyo caso el costo de las mismas suele ser prohibitivo, salvo que el área que se esté investigando sea también muy pequeña. Pero por fortuna los cambios importantes en las características del subsuelo van comunmente asociados con un cambio en la resistencia que el suelo ofrece a la penetración de un pilote, o de un caño obturado con una puna en su extremo inferior, de modo que el margen mencionado puede cerrarse auscultando el suelo con estos dispositivos y con los mencionados en el inciso 2.2.

Propiedades:

Se plantean a continuación en la tabla de la fig. 5.2.2., una serie de valores que pudieran dar una idea de las propie--

dades de los suelos aluviales. Estos valores fueron obtenidos de estudios realizados en unas ciudades de la República Mexicana y deben considerarse como el producto de un esfuerzo tentativo de un manejo de datos en número escaso, que perseguía como objetivo encontrar tendencias que ayudaran a establecer valores -- que pudieran ser característicos del comportamiento de los -- suelos aluviales. La deficiencia de esta información se revela en la gran dispersión de los datos aportados de cada una de -- las propiedades estudiadas; pero estos datos no dejan de ser una revelación de la necesidad de continuar los estudios y --- recopilación de información bajo pautas uniformes para que en un futuro cercano se logre una mejor comprensión del comportamiento de estos suelos bajo y en las obras efectuadas por los habitantes de las localidades donde existen los mismos.

SUELOS ALUVIALES
(ANALISIS POR ESTRATOS)

	*	w _t	q _u	N	W _L	L _p	e	T _p	W _i	ρ	c	s
ACAPULCO												
Arena	SC	1-30		2- 60	24-35		0.39-0.45	6-14				
Turba	OH-SC	60-600	1.9	4-16	150-220			37-60	72			
Arena gruesa arcillosa	SM-SC	6-20	2.9-5.1	12- 60	21-33		0.57	5-19	4-12		0.1	1.67
Arena limosa	SM-ML		0.1-0.2	6- 60			0.68-0.71		15	34°		1.58
Arcilla y arena	CL-SC	6-35		5- 60	41-53			23-28				
Arena	CL-CH								10			
Arena	SM	7-79	2.9	5- 60					8			
Arena	SM	5-16	6.4	4-50								
COATZACOALCOS												
Arena limosa	SM	20-70	1.5-1.7	2-50	30-50	20-30	0.6- 1.1					
Arcilla limosa	CH-MH	30-40	1.0-8.0	5-50	60	10-30	0.6-2.1					
Limo arcilloso	MH	35-80	1.0-8.0	3-27	50-100	30-50						
Limo arenoso	ML	30-60	2.4-8.0	3-45	40-70	18-40	1.0-1.4					
Arena	SP	10-80	2.0-5.0	20-60	30-90	30-70						
Limo inorgánico	MH	25-45	2.5-7.5		25-50	30						
Arenas con limo y arcilla	SM-SC	35-65	2.0-6.0	5-28								
Arcilla	CL	45-58			40-50	30-40						
Arcilla fina	SC	10-38		0-30			0.4-0.9					
Arcilla	CH	20-70			70	22						
Arcilla arenosa	CH-CL	20-50										
COLIMA												
Arena limosa	SM-ML	20-30			20	15						
Arena gruesa	SM	2-6			65	20						
Arcilla	CH	18-20										
CHILPANCIAGO												
Arcilla	CH	20-45	6.2-34.2	2-30	60-100	18-40	0.63-1.00	43-67				
MEXICALI												
Arcilla arenosa	CH-CL	26		10-20	67	20	0.74			25°30	0.2	
Arcilla	CH	7-12	0.5	5-15	38-76	15-28	0.7-0.8			0°45-12°	0.65-0.70	
Limo arcilloso	MH-CL	15	3.3	5-15			0.82					
Limo	MH	8-20	4.0-6.2		39-40	16	0.6-0.9					

FIG. 5.2.2.a.
Tabla de Propiedades de
los Suelos Aluviales .

-174-

SUELOS ALUVIALES

(ANALISIS POR ESTRATOS)

Arena limosa	SM	5	0.81	5-60	35	16	0.86			
Arcilla limosa	CM-CH	18-37	0.30	10-45	52-82	20-33	0.64-1.07			
MORELIA										
Arcilla	CH	28-400			80-300	56-80	0.80	18	0°- 25°	0.0-0.70
OAXACA										
Arenas limosas	SM	2-50		6-50	34-58		0.76-1.00	20-25		
Arcilla Limo - arcillosa	CH-MH	10-35			34-52	20	0.74-0.79	15-30		
PUERBA										
Limo arenoso	ML	15-60		8-25	45-60	20-45				
Arcilla limosa	CM-MH	20		25-30	20-50	22-30				
Arena limosa	SM	10-45		8-60	30-50	10				
Arcilla	CL	20-50		5-60	50	20				
Limo arcilloso	MH	35-45		0-5	60	40-45				
Arcilla arenosa	CH	20-170		0-2	60-170	20-25				
Turba	OH-S	5-118		0-4						
Arena arcillosa	SC	10-40		15-30	25-50	10-25				
TIJUANA										
Arena	EH								31°	0.0
Tuxtla										
Arcilla	CH	28			58-72	9-15	0.8			

SUELOS ALUVIALES

(ANALISIS POR ESTRATOS)

RESUMEN .

	*	w _n	q _u	N	w _L	L _p	e	I _p	w _i	φ	c	s
Arena limosa	SM	2 - 70	0.14-7.0	2- 50	30-58	20-30	0.6- 1.10		15	34°	0.1	1.58
Arcilla limosa	CM-MH	18 -100	0.10-0.0	5-45	34-82	10-33	0.6- 2.10					
Limo arcilloso	MH	8 - 80	1.0 -8.0	3-27	25-100	16-50	0.6- 0.89					
Limo arenoso	ML	15- 60	2.4 -8.0	3-45	40-70	18-45	1.0- 1.40					
Arena	SP	10- 80	2.0 -5.0	20- 60	30-90	30-70						
Arenas con limos y arcillas	SM+SC	6-65	2.0 -6.0	12- 60	21-33		0.57					
Arcilla	CH	7-400	0.5 -6.2	2- 30	58-300	9-80	0.63-1.06	18-67		0-25°	0.0-0.70	
Arcilla arenosa	CH-CL	7-170	2.9	2- 60	60-170	20-25	0.74					
Turba	OH-SC	25-600	1.9	0- 16	150-220			37-150	72			
Arcilla y arena	CL-SC	6-35		5- 60	41-53			23-28				
Arena	SC	1-40		0- 60	24-50	10-25	0.39-0.90	6-14				
Arena	SH									31°	0.0	
Arcilla	CL	45-58			40-50	30-40						

CLAVE

- * Clasificación de acuerdo al SUCS
- w_n Contenido de agua natural
- q_u Resistencia a la compresión no confinada
- N Número de golpes para penetrar 30 cm.
- w_L Límite líquido
- L_p Límite plástico
- e Relación de vacíos
- I_p Índice plástico
- w_i Contenido de agua inicial
- φ Angulo de fricción interna
- c Cohesión
- s Densidad de sólidos

FIG. 5.2.2.b.

Tabla-Resumen de Propiedades
de Suelos Aluviales .

5.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE SUELOS DE ORIGEN ALUVIAL.

De lo tratado en los incisos anteriores, se ha comentado en repetidas ocasiones la gran heterogeneidad de los depósitos de origen aluvial.

Esto se refiere a que en general se presentan estratos - intercalados de diferentes tipos de suelos. Además, el espesor de los estratos es también errático. Por otra parte, la consistencia o compacidad de los diversos suelos es en general muy variable.

Las implicaciones de lo anterior dan lugar a que se presenten fuertes asentamientos diferenciales en este tipo de - suelos. La necesidad del uso de juntas constructivas, de cimentaciones compensadas o inclusive de cimentaciones profundas es clara en estos casos. A diferencia de los depósitos - de origen eólico, en los depósitos de origen aluvial se han reportado numerosos casos de licuación de arenas finas aluviales, es decir, en estos suelos el riesgo de licuación es alto. Por lo tanto en los depósitos de origen aluvial no deberá escatimarse en el empleo de cimentaciones profundas en cuanto se presenten problemas de asentamientos diferenciales licuación del suelo, densificación de arenas, etc. (Deméneghi 1981).

Respecto a los suelos finos, limos y arcillas, su resistencia al corte es baja, luego su capacidad de carga es reducida; como además son suelos plásticos que frecuentemente se encuentran normalmente consolidados, son capaces de suscitar asentamientos de consideración. Los materiales orgánicos y - las turbas son suelos aún más compresibles y menos resistentes que los anteriores, pero menos extendidos. (Vieitez U., - 1970)

Geologicamente hablando se ha observado que los depósitos aluviales recientes son los que ofrecen más problemas dadas - las altas compresibilidades y las capacidades de carga bajas, ya que los depósitos antiguos por lo general han logrado una mejor consolidación.

Se recomienda por lo dicho al principio de este inciso -- que los esfuerzos, en cuanto a estudios, deben concentrarse - no en la obtención de datos exactos relativos a las propiedades físicas de muestras aisladas del suelo, sino en obtener una información completa con respecto a la forma estructural del subsuelo (Terzaghi y Peck, 1973). Lo que quiere decir - que antes que nada hay que delimitar las áreas de suelos más - sueltos o de suelos más blandos y compresibles, para después - concentrar la atención en la determinación de sus propiedades mecánicas (Esta idea de Terzaghi y Peck, ya había sido men - cionada anteriormente en este trabajo).

Vale destacar que, hasta ahora, salvo algunos esfuerzos - muy aislados (como ya lo mencionara el Ing. Vieitez U., 1970) no ha habido un estudio o una investigación serios, exclusiva - mente encaminados a calibrar la prueba de penetración estándar en los suelos aluviales y a compararla con otras pruebas de - auscultación. Al no existir esta calibración, se ha requerido a la fecha, para aplicar las ecuaciones de capacidad de carga obtener los parámetros de resistencia al corte de gráficas y tablas de correlación de éstos con el número de golpes estándar que vienen en la literatura corriente, y adoptar un cierto factor de seguridad sobre los valores así obtenidos. Por - ejemplo, para la arena muy compacta, (N más de 60 golpes) se pueden considerar un ángulo de fricción interna de 35° y cohe - sión nula, en los análisis de capacidad de carga de cimientos profundos apoyados en ella.

En resumen a esto, la prueba de penetración estándar no - está reglamentada en especificaciones de exploración locales.

También se ha observado que en la obtención de muestras, existe anarquía: En presencia de suelos blandos o sueltos bajo el agua, lo más frecuente es que se pierda la muestra, sea ésta de tipo alterado o de tipo inalterado. Cuando se alternan -- suelos blandos con suelos compactos se presentan dificultades -- para definir con precisión las fronteras entre unos y otros, y para cambiar oportunamente el procedimiento de muestreo. Es co -- mún, en estos casos que el muestreo inalterado se haga nada -- más en suelos de consistencia blanda a media pero no en los -- suelos compactos duros por carecer de muestreador adecuado. -- Por otra parte, aún cuando se cuente con este muestreador, el -- procedimiento de ir alternando muestreo en suelos blandos y -- muestreo en suelos duros hace difícil, lento y oneroso el tra -- bajo.

La realidad es que en la gran mayoría de los casos el perso -- nal que hace los sondeos no está capacitado para obtener mues -- tras difíciles como son éstas, ni cuentan con las herramientas y muestreadores adecuados.

La inestabilidad de las paredes de los pozos vienen a su -- marse a todo lo antes dicho como un inconveniente adicional.

En zonas sísmicas donde existen estos suelos es urgente con -- tar con instalaciones e instrumentos sismográfico para poder -- medir los parámetros de las ondas sísmicas y de esta manera po -- der diseñar las estructuras con cierta base histórica, ya que -- por mencionar un suceso; en el terremoto de agosto de 1959 que -- afectó entre otras ciudades a la de Coatzacoalcos, muchas es -- tructuras que estaban cimentadas sobre limo arenoso uniforme y saturado producto de las avenidas del río Coatzacoalcos, falla -- ron por no haber considerado factores de seguridad adecuados y porque no se han elaborado normas al respecto, que se deben -- consignar en un reglamento local. "Las fallas se debieron prin -- cipalmente a licuación o densificación de los suelos. Como con -- secuencia de las vibraciones sísmicas algunos edificios sufrió

ron asentamientos bruscos del orden de 1 m., y se desplazaron lateralmente (Parece ser que estos desplazamientos laterales se deben a un desplazamiento continuo por flujo "creep", de los materiales arcillosos, cuya velocidad aumentó por causa del sismo)", (Luis Montañez, 1976).

También es importante instalar instrumentos y aplicar -- técnicas de medición y observación de las condiciones piezométricas y de desplazamientos horizontales y movimientos verticales del subsuelo en puntos estratégicos de la región así como debajo y en las vecindades de las estructuras u obras ya construidas, -- con el objeto de por una parte detectar posibles problemas en su comportamiento y con el fin, por otra, de ampliar la información general que se requiere para detallar la zona donde se ubican -- los distintos estratos de suelos aluviales.

Para acabar con las irregularidades en el muestreo, se -- recomienda: En el muestreo inalterado de suelos muy blandos y -- muy sueltos bajo el agua, exigir el empleo de muestreadores Shelby con válvulas y sellos en la cabeza bien fabricados, para que garanticen la formación del vacío; fomentar el empleo de muestreadores de pistón estacionarios hidráulicos; ensayar algunos métodos más recientes de muestreo en arenas (muestreador Bishop, emulsiones, etc); dejar en cada caso reposar la muestra por un pequeño lapso de tiempo antes de extraerla de la perforación. En el muestreo alterado de estos suelos, emplear canastillas de flejes de acero en las zapatas, y fundas de plástico para alojar -- las muestras. En general deberá exigirse la limpieza de la perforación antes de efectuar el muestreo, y el emboquillado, la estabilización con lodos o el empleo de ademe metálico, cuando haya inestabilidad de las paredes. (Vicitez U., 1970).

Para el muestreo en subsuelo de consistencia variable, -- donde existen capas duras alternadas con suelos blandos, se recomienda:

En el muestreo inalterado, el empleo de muestreadores de barril giratorio tipo "Pitcher" con resorte calibrado. En el muestreo inalterado en suelos exclusivamente compactos y duros, utilizar el barril doble tipo Denison.

En el muestreo alterado en la limpieza de perforación y en su estabilización se seguirán las mismas recomendaciones hechas en el párrafo anterior.

De acuerdo con la información existente, y en base a la zonificación establecida, debe procurarse que los procedimientos de exploración y muestreo cuenten con una reglamentación específica para cada zona.

El muestreo inalterado de arenas sueltas bajo el agua, es un problema que no tiene solución barata, por lo que se deberá efectuar sólo en casos muy particulares como pueden ser las pruebas de calibración de la penetración estándar o las investigaciones que deberán emprenderse sobre el problema de la licuación. En los demás casos deberán obtenerse por lo menos muestras alteradas en tubo liso provisto de canastilla y de funda de polietileno.

Así mismo, los futuros estudios de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, deberán exigir como norma la medición del comportamiento de las obras correspondientes y del subsuelo que afecta tanto durante la operación o uso de las mismas como en la construcción. La densidad y tipo de las instalaciones que se requieran para llevar a cabo esas mediciones dependerá desde luego de la magnitud e importancia de la obra en cada caso.

A manera de ejemplo de lo expuesto en este inciso, se relata a continuación, brevemente, un caso tomado de las experiencias del profesor Vieitez (1979), y que consiste en los estudios del subsuelo que se realizaron para el proyecto y

construcción del puerto pesquero de la ciudad de Alvarado, -
Veracruz:

Se muestrearon algo más de 500 m., en sondeos de hasta -
20 m., de profundidad en los que se efectuaron pruebas de pe-
netración con el mismo muestreador, que era de pared gruesa,
y con penetrómetro de tipo holandés.

Los suelos de la región son, por una parte, depósitos -
fluviales del río Papaloapan, constituidos por arenas finas -
limosas y limos arenosos, por otra, sedimentos marinos de a-
renas finas limpias de duna.

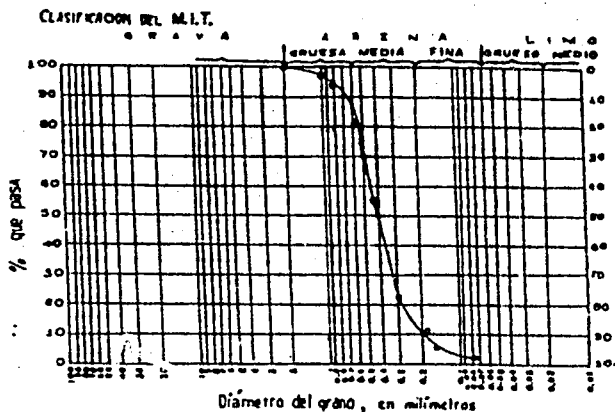
La posibilidad de encontrar arenas finas sueltas y limos
blandos no plásticos, bajo el nivel freático, que, en una zo-
na sísmica como Alvarado, significaba riesgo de licuación, -
fue confirmada con las exploraciones y estudios de Mecánica
de Suelos.

Hasta profundidades de 8 m., hay depósitos de arenas fi-
nas uniformes, sueltas ($N < 10$), con contenido de limos me-
nor de 15 % a las que subyacen arenas limosas de compacidad
media, y debajo de éstas (11 m.,) una capa de arcilla muy --
blanda y de alta compresibilidad de origen volcánico (cení--
zas alteradas y convertidas en minerales arcillosos flocula-
dos) con un espesor variable entre 0 y 3 m., (Ver fig. 5.3.1)

Bajo la arcilla aparecen de nuevo arenas finas, pero de
alta compacidad ($N > 30$) (Ver fig. 5.3. 2.)

Para estudiar las propiedades mecánicas de la arcilla se
realizaron sondeos adicionales de los que se extrajeron muec-
tras inalteradas.

Con el objeto de reducir en todo lo posible el riesgo de
licuación, se recomendó la densificación o compactación -



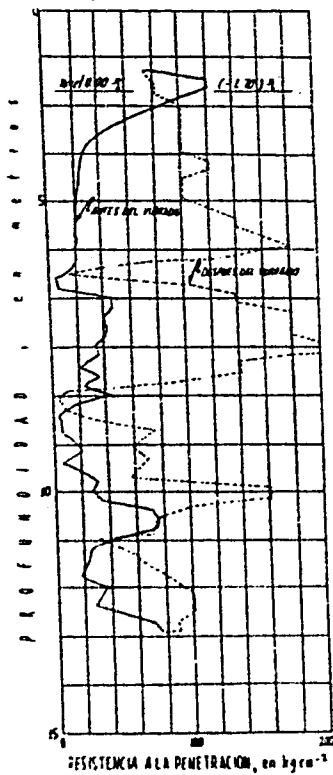
de las arenas finas sueltas con vibroflotación. Se utilizó un vibrador de 30 cm., de diámetro y 3.0 m. de longitud, operado por un motor eléctrico alojado en su interior, de 40 H.P., 440 volts., y 60 amperes, que producía vibraciones con frecuencias de 3 500 a 3 600 ciclos. El vibrador penetraba en el terreno hasta 2 m. de profundidad, auxiliado por dos chiflones de -- $1\frac{1}{2}$ "", ubicados en el extremo inferior por los que descargaban de 80 a 100 m³/hora.

La arena al densificarse, dejaba un hueco cilíndrico que se iba rellenando de arena gruesa, previo cierre de los chiflones. Esta arena gruesa de alta permeabilidad ayudaba como un filtro, a disipar las presiones generadas al vibrar la arena fina poco tiempo, el volumen de la arena se compactaba rápidamente al poder expulsar el agua intersticial.

El tiempo de vibración se controlaba mediante el uso de un amperímetro. El vibrador se retiraba al registrar el amperímetro la máxima lectura, lo cual sucedía a 10 minutos después de empezar el vibrado .

La separación entre los puntos en los que se introdujo el vibrador fue determinada experimentalmente en el campo mediante la medición del grado de compactación alcanzado, con el empleo de un cono holandés hincado a presión y calibrado con la prueba de penetración dinámica. (Ver fig. 5.3.3.) Así para -- $N > 30$, se requería una presión de hincado del cono bajo carga estática de 60kg/cm², y equivalía a una compacidad relativa -- (Dr) de 65%; con esta densidad relativa se estimó que la arena no resultaría afectada por sismos como los máximos que a la fecha habían ocurrido en la región.

En la zona del muelle se exigió vibrar al frente y detrás de la tablaestaca para cubrir los prismas de empuje de las mismas., La separación entre los puntos de vibrado fue de 1.50 m., en la zona de empuje pasivo y de 1.75 m., en la zona de empuje



NOTA
El nivel 0 del eje, corresponde al
nivel de aguas muertas

FIG. 5.3.3.

Puerto Piloto Pasquero

Alvarado, Ver.

Sondeos Barendsen

activo para alcanzar en las arenas una densidad relativa mínima de 75% que, en pruebas de compresión triaxial, dio ángulos de fricción interna de 40°:

En las áreas de edificios la separación fue de 2.0 m., entre puntos vibrados y en las calzadas y en las calles de --- 2.50 m.

La capacidad de carga de las arenas vibradas en las áreas de edificios fue de 20.0 Ton/m², con lo cual se pudieron desplantar éstos por superficie y se pudo descartar en todos los casos la solución de pilotes.

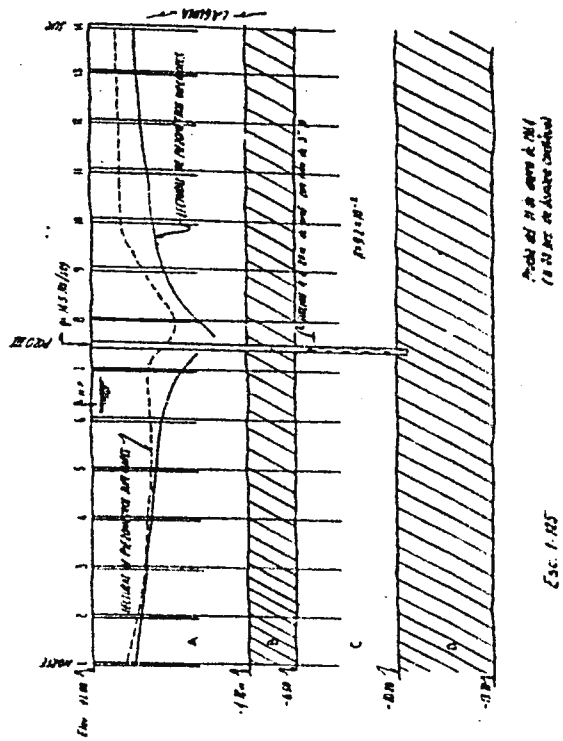
El otro problema a resolver fue el de los asentamientos - que se producirían por consolidación de la arcilla blanda compresible, localizada a unos 11 m. de profundidad, al someterse a las sobrecargas producidas por el relleno de toda la zona para dejar el puerto a un nivel seguro sobre las aguas y por - el peso de las construcciones. Dada la profundidad y extensión de la capa de arcilla se decidió preconsolidarla por sobrecarga equivalente a la que le producirían el relleno y las estructuras.

Se estimó que se obtendrían, en cinco meses, asentamientos máximos de 25 cm; en realidad, en tres meses y medio se alcanzó el 90 % de la consolidación con 20 cm de asentamiento máximo, de manera que los asentamientos posteriores con relleno y estructuras definitivos fueron insignificantes.

En la cuna de reparación de este mismo puerto, como en -- tantos otros casos de excavaciones bajo el nivel freático en arenas, hubo necesidad de bombear para poder realizar la excavación en seco y en condiciones de seguridad. El área había -- sido previamente vibrada. Para determinar la capacidad del sistema de bombeo y la distribución de los pozos fue necesario -- hacer una serie de pruebas de permeabilidad y de inyección de

agua mediante pozos de bombeo y piezómetros. Se obtuvieron valores de la permeabilidad entre 0.3 y 1.0×10^{-2} cm/seg. que introducidos en los cálculos de la red de flujo, daban un gasto de filtración de 60 l/seg. (Ver fig. 5.3.4.)

Se diseñó entonces un sistema de bombeo por pozos punta - que permitió abatir el nivel freático y realizar la excava---ción en seco.



Punto del N. de aguas de 1911
18 10 sur de Alvarado (vertical)

Esc. 1:100

FIG. 5.3.4. Alvarado, Ver.

Prueba de permeabilidad
Estrato Inferior.

CONCLUSIONES .

6. CONCLUSIONES .

De lo tratado en los capítulos anteriores de esta tesis, se puede ver la gran importancia que tiene el tipo de suelo en las estructuras de Ingeniería Civil. Sin embargo, a pesar de que se cuenta con cierta información respecto a las propiedades de los suelos, en los de origen residual, eólico y aluvial, parece ser que esta información resulta limitada para un tratamiento sistemático de la influencia del tipo y propiedades de un suelo en el comportamiento de las cimentaciones; por ejemplo, se cuenta con algunos datos relativos a propiedades índices y mecánicas y con algunos perfiles estratigráficos, pero cada ingeniero la presenta de una manera diferente. Esto hace difícil el poder establecer criterios generales para cada uno de los suelos. Por lo anterior es recomendable que la información se presente de una manera más homogénea por parte del ingeniero de proyecto. En el capítulo 2., se presentaron algunas recomendaciones tentativas para tratar de resolver este problema. Por otra parte, a pesar de que la información con que se contó para suelos residuales, eólicos y aluviales, fue relativamente escasa y poco uniforme en cuanto a sus pautas de consignación, se pudieron establecer algunas conclusiones generales, las cuales podrá el lector ver al final de los capítulos 3., 4. y 5., para los suelos mencionados.

Los planes y proyectos de desarrollos urbanos, industriales o recreativos, es recomendable partan siempre de la especificación de la vocación del uso del suelo. Esta vocación debe tener base en el análisis de una gran gama de factores dentro de los cuales tiene relevante importancia la revisión del comportamiento del suelo en cuanto a una serie de aspectos como su ubicación, propiedades físicas y mecánicas, composición, equilibrio - móvil, etc..

También es importante resaltar que el comportamiento de estos factores puede tener repercusiones económicas muy importantes, por lo que se deduce que es indispensable incluir en los grupos técnicos de planeación y diseño de los desarrollos mencionados, a especialistas en Geotecnia.

En nuestro país pudiera sugerirse que las autoridades a las que se ha encomendado la estructuración, instrumentación y aplicación del Plan Nacional de Desarrollo Urbano, procuraran que en sus documentos de trabajo y divulgación se destaque, en donde corresponda, la importancia del conocimiento del comportamiento del suelo (Vieitez U., 1979).

Este trabajo, trató de poder colaborar en algo a ese conocimiento haciendo hincapié en aspectos que es recomendable observar como son la comunión Geología-Mecánica de Suelos y las recomendaciones hechas al final de cada uno de los capítulos anteriores. - También se hizo el intento de encontrar posibles parámetros que fueran confiables y desde un punto de vista ambicioso, característicos del comportamiento de los suelos residuales, eólicos y aluviales, analizando estudios realizados en algunas ciudades de la República Mexicana.

Estos estudios, en general, presentan zonificación geológica, resultados de algunas propiedades índice y mecánicas en forma de gráficas, tablas aisladas o perfiles a lo largo de ejes trazados sobre centros urbanos; pero lamentablemente esta consignación ha tendido a seguir pautas individualistas, como ya se mencionaba.

Y por último, más que una conclusión, un deseo, es que deben continuarse los estudios sobre los aspectos expuestos en este trabajo y que algunas de las ideas mencionadas puedan servir para solucionar en forma más loable, algunos de los problemas actuales que se presentan a la Geotecnia, en un país como el nuestro, que-

tiene necesidades de lograr un auge impresionante en lo que a obras de infraestructura se refiere y donde el crecimiento demográfico (que es de los mayores del mundo) ha creado grandes problemas de asentamientos humanos cuya solución puede corresponder en gran parte a la Geotecnia, en cuanto a que puede aportar al hombre un mejor conocimiento del estado del suelo y de como acondicionarlo para el mejor trabajo de las obras que sobre él desplante, en las localidades donde se ha establecido o se piensa establecer para su mejor vivir.

GLOSARIO .

GLOSARIO.

Andesita.- Roca ígnea de grano fino sin cuarzo o sin ortoclasa compuesta de alrededor de 75 % de feldespatos plagioclasa y el resto de ferromagnesianos. Es importante en forma de lavas, posiblemente derivado de un magma basáltico por cristalización fraccionada (Leet).

Anticlinal o anticlinorio.- Configuración de rocas estratificadas que se pliegan, en la que las mismas se inclinan en dos direcciones diferentes a partir de una cresta (como un tejado de dos aguas). La cresta antes mencionada se llama eje. El inverso de un anticlinal es un sinclinal (Leet).

Barlovento.- Parte de donde viene el viento, con respecto a un punto determinado (Sopena).

Basalto.- Roca ígnea de grano fino en la que predominan los minerales de color oscuro, que consisten de más de 50 % de ferromagnesianos. Los basaltos y las andesitas representan aproximadamente el 98 % de todas las rocas extrusivas (Leet).

Batolito.- Es una enorme masa intrusiva de rocas ígneas sin base conocida, en contraste con los lacolitos, que descansan sobre una base conocida. Como otras masas intrusivas, los batolitos son accesibles a la observación cuando afloran a la superficie por denudación (Leet y Judson, establecen que los batolitos cuando afloran suelen ocupar más de 100 Km², por su superficie descubierta).

Blowout.- Es una cuenca de deflación excavada en una duna arenosa (Longwell).

Caliza.- Roca sedimentaria compuesta en gran parte por el mi-

neral de calcita, Ca CO_3 , formada ya sea por procesos orgánicos o por procesos inorgánicos. La mayoría de las calizas tienen textura clástica, pero las texturas clásticas, particularmente la cristalina, son comunes. Las rocas carbonatadas, caliza y dolomita, constituyen cerca del 22 % de las rocas expuestas sobre el nivel del mar.

Cárstico.- Término que se aplica a las regiones que presentan una topografía con numerosas dolinas y cavernas así como un patrón de drenaje irregular con corrientes que desaparecen de pronto en el terreno, dejando secos sus valles y reaparecen después en otros lugares en forma de manantiales. El nombre se debe a que uno de los primeros lugares donde se estudió este tipo de topografía fue en la región de Karst en Yugoslavia, cerca de Trieste. Los sumideros y las cavernas indican la destrucción de un gran volumen de rocas carbonatadas (Longwell).

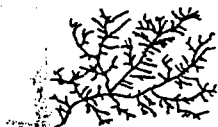
Conglomerado.- Es una roca detrítica constituida por fragmentos más o menos redondeados, de los cuales una proporción apreciable son del tamaño de gránulo (2 a 4 mm. de diámetro), o más grandes. Si los fragmentos son más angulares que redondeados, la roca se llama brecha (Leet).

Dacita.- Roca ígnea extrusiva con contenido de plagioclasa sódica entre 25 y 45 %, feldespato potásico entre 20 y 40 %, cuarzo entre 35 y 10 % y máficos (Biotita, hornblenda, etc) de 10 a 30 % (Bolivar).

Deflación.- Proceso erosivo en el que el viento arrastra material sin consolidar (Leet).

Dendríticas.- Para los efectos de este trabajo, se hace referencia al término, tratando la red hidrográfica arborescente o en forma de árbol, y tiene su importancia porque se desarrolla en rocas horizontales homogéneas, manifestando una uniformidad en todas direcciones. La red puede estar considerable o-

ligeramente desarrollada, según el tipo de roca sobre la que se ha formado: La red dendrítica en el granito, por ejemplo, es mucho más simple que en las pizarras. (Para lograr una mejor concepción de la red dendrítica obsérvese la siguiente figura).



RED DENDRITICA .

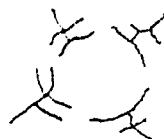
Otros tipos de redes hidrográficas que pueden revelar algunas características de las rocas sobre las que discurren son: La disposición de espaldera, que puede compararse con un frutal de espaldera (forma de viña) y se desarrolla generalmente en rocas plegadas, o buzando, con una serie de fallas paralelas; los tributarios primarios de la corriente de agua principal son largos y rectos y frecuentemente paralelos entre sí y a la corriente principal; los tributarios secundarios son cortos y generalmente cortan a los tributarios principales en ángulo recto. La red hidrográfica radial consiste en una serie de corrientes que fluyen radialmente de un centro (por ejemplo un cono volcánico) o hacia él (por ejemplo una cuenca). En la red paralela las corrientes son casi paralelas entre sí (disposición que se ha llamado "cauda equina" o "cola de caballo"); estas redes pueden desarrollarse en terrenos bastante sueltos, más o menos homogéneos, como los rellenos de valles. En una disposición anular, las corrientes principales son radiales y los tributarios son anulares, corriendo alrededor de un domo por ejemplo. Las corrientes que siguen las fallas y grietas en rocas fracturadas producen una red rectangular. La disposición angulada (que no es básica) es una variación de la red en espaldera, pero, como la rectangular, refleja la influencia de las diaclasas.

En las redes hidrográficas se distinguen fácilmente las corrientes y sus tributarios. Si los tributarios están muy pro

ximos entre sí, los suelos y rocas locales tienen poca resistencia a la erosión (pizarras arcillosas, limos o arcillas arenosas). Por el contrario, si están muy espaciados, la capa de tierra o la roca subyacente es resistente a la erosión y consiste, por ejemplo, en areniscas, depósitos granulares o acarrees glaciares sin consolidar. En todo caso, cualquier criterio que se base en la separación de las corrientes de agua debe tener en cuenta la topografía de la zona y la precipitación de la misma. A continuación se presentan una serie de croquis con el fin de complementar esta breve explicación de las redes hidrográficas:



(a) Espaldera



(b) Anular



(c) Rectangular



(d) Paralela



(e) radial

Diorita.- Roca ígnea de grano grueso con la composición de la andesita (sin cuarzo ni ortoclasa) compuesta aproximadamente de un 75 % de feldespato plagioclasa y el resto por silicatos ferromagnesianos (Leet).

Diastrofismo.- Es el término que se emplea para designar los procesos según los cuales determinadas porciones sólidas de la tierra, por lo general grandes, se mueven unas respecto a otras (Krynine).

Dolomía.- Nombre de la roca que se compone principalmente del mineral dolomita (Leet).

Dolomita.- Mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. (Leet).

Espejo de fricción.- Superficie de contacto pulida y estriada, a lo largo de la cual los bloques o labios de una falla se deslizaron (Soto Mora).

Esquisto.- Roca metamórfica en la que predominan los minerales fibrosos o laminares. Es producto del metamorfismo regional (Leet).

Estratificación cruzada.- Es la estratificación inclinada con respecto a un estrato más grande, dentro del cual ocurre (En el capítulo referente a suelos eólicos se puede aclarar más este concepto). (Lonwell).

Estructura primaria.- Con este término suele denominarse también a las capas que están por debajo del horizonte "B" (Consultar suelos residuales). La estructura secundaria está constituida por la serie de elementos que se desarrollan después que el suelo ha sido depositado, como pueden ser fisuras capilares, grietas, diaclasas y espejos de fricción. (Terzaghi y Peck).

Evaporita.- Roca compuesta de minerales precipitados a partir - de soluciones concentradas por la evaporación de sus solventes. Por ejemplo, el yeso y la anhidrita (Leet).

Feldespatoides.- Mineral de un grupo de silicatos de composición parecida a los feldespatos, pero no saturados en su contenido - de sílice. Cristaliza en formas miméticas*hexagonales y cúbicas, pero que se supone corresponden a sistemas de simetría inferior sus principales miembros son hauynita, leucita, nefelina, nosea na y sodalita (Diccionario enciclopédico U.T.E.H.A.).

Feldespatos.- Mineral de un grupo muy importante de silicatos - de las rocas eruptivas, formado por silicatos de alumina y so-- dio, potasio, calcio o bario, que cristalizan en formas de los sistemas monoclinicos y triclinicos. Se presentan en masas espá ticas, de colores claros (blancos, grises y rosados); de brillo lapídeo (de piedra o perteneciente a ella). Por su composición pueden ser potásico, como la ortosa (u ortoclasa); potásico só-- dico como la albita y cálcico como la anortita. Entre la albita que es sódica y la anortita que es cálcica, se forma una serie isomorfa denominada de la albita-anortita, en la que la canti-- dad de sodio disminuye al paso que aumenta el calcio. La serie - está constituida por la albita, oligoclasa, andesita, labradori ta, bitownita y anortita. Son monoclinicos la ortoclasa y tri-- clinicos los demás. A estos últimos se les llama también plagio clasas, porque las líneas de exfoliación forman ángulos clara-- mente distintos del recto (Diccionario enciclopédico U.T.E.H.A.)

Filita.- Es una roca excepcionalmente lustrosa que representa - una etapa más avanzada de metamorfismo que la de la pizarra -- (Longwell).

Floculación.- Precipitación de los coloides de una solución en forma de pequeños copos (Gran enciclopedia Larousse).

Formación.- Es una determinada secuencia o apilamiento natural de lechos o estratos constituidos por materiales que ofrecen características semejantes y a la que se suele denominar por -- una determinada localidad ubicada en ella (Por ejemplo, Formación Tacubaya en el Valle de México). (Krynine).

Geomórfico.- Relativo a la Geomorfía, que es la parte de la -- Geodesia que trata de la figura del globo terráqueo y de la -- formación de los mapas. (Soto Mora).

Gneis.- Roca metamórfica formada por cristales alargados de -- cuarzo, feldespatos y minerales pesados, dispuestos en lechos. Los gneis tienen la misma composición mineralógica que el granito, pero se diferencian de éste en el hábito alargado de los cristales y en su disposición en finos lechos. Los gneis son -- el resultado de la transformación metamórfica de las series ar -- cillosas. En las zonas de metamorfismo regional se pasa gradual -- mente de las micacitas a los gneis de dos micas (gneis con mos -- covita y gneis con biotita) (Gran Enciclopedia Larousse).

Graben.-Es la fosa tectónica constituida por un bloque hundido entre dos fallas normales (H. T. Rhodes).

Gradiente.- Pendiente del lecho de una corriente (Leet).

Gradiente Hidráulico.- Carga hidrostática del agua subterránea dividida entre la distancia de recorrido entre dos puntos (Leet)

Granito.- Roca ígnea de grano grueso en la que predominan los -- minerales de color claro que consisten de casi 50 % de ortocla -- sa, 25 % de cuarzo y el resto de feldespato y que tiene su ori -- gen en el interior de la corteza terrestre (intrusiva) (Leet).

Hidrosfera.- Comprensiva de todas las aguas terráneas (Krynine).

Intemperismo Diferencial.- Proceso mediante el cual diferentes secciones de una roca se intemperizan a distintas velocidades. Es causado principalmente por las variaciones en la composición de la roca misma, pero también por diferencias en la intensidad de intemperismo de una sección a otra en la roca (Terzaghi y Peck).

Límites de Atterberg.- Son los contenidos de humedad que corresponden a los límites entre los distintos estados de consistencia, que fueron tomados de un método desarrollado originalmente para la agronomía por Atterberg en el año de 1911, y son: - El límite líquido, L_w , que es el contenido de humedad, en porcentaje del peso del suelo seco para el cual dos secciones de una pasta de suelo, con las dimensiones indicadas en la figura al final de este párrafo, alcanzan apenas a tocarse sin unirse cuando la taza que las contiene es sometida al impacto de un número fijo de golpes verticales secos. Como la ecuación personal tiene una influencia importante en los resultados del ensayo, se utiliza para ejecutarlo un aparato mecánico normalizado (A. Casagrande, 1932). El límite plástico, P_w , o límite inferior del estado plástico, es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindritos, haciendo rodar la masa de suelo entre la mano y una superficie lisa. Los informes de los resultados de ensayos de límite plástico deben indicar también si los cilindritos antes de efectuarse eran muy resistentes, como en el caso de las arcillas muy grasas; moderadamente resistentes, como en el caso de las arcillas glaciares comunes; o débiles y esponjosos, como en el caso de las arcillas orgánicas (encontradas en las turbas, por ejemplo) y las inorgánicas micáceas. -- El Límite de contracción, S_w , o límite inferior de cambio de volumen, es el contenido de humedad por debajo del cual una pérdida de humedad por evaporación no trae aparejada una reducción de volumen. Cuando el contenido de humedad pasa por deba-

jo del límite de contracción, el suelo cambia de color tornándose más claro.

Los contenidos de humedad comprendidos entre los límites líquido y plástico se llaman contenidos de humedad de la zona plástica del suelo y la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, Índice de Plasticidad, I_w . A medida que el contenido de humedad de un suelo cohesivo se aproxima más al límite inferior P_w , de la zona plástica, mayor es su resistencia y compacidad. La relación:

$$I_l = \frac{w - P_w}{L_w - P_w} = \frac{w - P_w}{I_w}$$

se llama Índice de Liquidez de suelo. Cuando el contenido de humedad es mayor que el límite líquido, el índice de liquidez mayor que 1, el amasado transforma al suelo en una espesa pasta viscosa. En cambio, si el contenido es menor que el límite plástico, índice de liquidez negativo, el suelo no puede ser amasado. La resistencia a la compresión simple de las arcillas inalteradas uniformes con un índice de liquidez cercano a la unidad varía comunmente entre 0.3 y 1.0 Kg/cm²; en aquellas con un índice de liquidez cercano a 0, dicho valor está comprendido, en general, entre 1 y 5 Kg/cm². (Tomado de Terzaghi y Peck 1973).

Litósfera.- Comprensiva de rocas, suelos y demás constituyentes de la corteza terrestre (Krynine).

Lutita.- Roca sedimentaria detrítica, de grano fino constituida de partículas del tamaño del limo y arcilla, de cuarzo, feldespato, calcita, dolomita y otros minerales. Presenta fisibilidad que es la propiedad de romperse en astillas muy próximas una de la otra a lo largo de planos más o menos paralelos a la estratificación (Leet).

Mimética.- Se aplica a los cristales que toman aspecto de un sistema distinto de aquel en que realmente cristalizan. Como ejemplo se tiene que tres prismas rómbicos de aragonita se asociaban para tomar la apariencia de un conjunto hexagonal (Diccionario Enciclopédico U.T.E.H.A.).

Métodos de Exploración.- Son los que consisten esencialmente en el averiguar o indagar cuáles son las propiedades físicas que integran a los suelos (J. A. López F).

Métodos Indirectos.- Estos métodos que también reciben el nombre de Geofísicos, tienen como finalidad averiguar la estratigrafía que tiene una masa de suelo, para llegar a esto se debe estudiar cuidadosamente las distorsiones en la distribución de las propiedades físicas en el suelo; por medio de este estudio es posible interpretar las variaciones de la estratigrafía de acuerdo a la profundidad y a los espesores de los estratos que componen a la masa por explorar. Los métodos de exploración indirecta, se llevan a cabo fundamentalmente por la ejecución de un principio físico; como es el choque elástico provocado por el impacto de un martillo en el suelo, o bien por una explosión lograda con alguna pequeña carga de explosivo, que casi siempre es de nitroamoniaco, al llevar a cabo estos efectos se realiza el método sísmico, el cual consiste en registrar las -

vibraciones en un sismógrafo de alta sensibilidad que recibe el nombre de geófono, que capta la onda refractada por la capa -- profunda del suelo. Otro principio físico, es generar una corriente eléctrica en el suelo, conectando electrodos a distancias conocidas del punto de generación de energía. Los electrodos registran la caída de potencial que se tiene desde la fuente de energía. A este método se le conoce como de resistividad eléctrica, y en él se obtienen datos de profundidad de los estratos con diferente resistividad, así como también se puede lograr la localización de agua subterránea y los espesores duros que tenga la masa de suelo. Por último, dentro de estos -- métodos, se tiene el método sónico, que se logra por el efecto de una onda de alta frecuencia que se transmite a la masa de -- suelo; consiste en estimar el tiempo de recorrido de refracción de la onda, así como el cambio de frecuencia que sufre la misma al atravesar los diferentes estratos que pueden constituir la masa de suelo (J. A. López F.).

Métodos Semidirectos.- Consisten en introducir algún tipo de herramienta en el suelo, para efectuar pruebas de veleta, de penetración estática y dinámica, etc. y determinar algunas propiedades de los distintos estratos. Estos métodos han sido tratados en el capítulo correspondiente a suelos aluviales (J.A.- López F.).

Métodos Directos.- Consisten en introducir herramientas en el suelo, para poder obtener muestras del mismo, con las cuales se puede también hacer pruebas en el laboratorio. De acuerdo al diseño de la herramienta se pueden extraer muestras representativas alteradas o inalteradas. Las muestras representativas alteradas, son aquellas que pueden cambiar en forma significativa el acomodo estructural de sus partículas por el efecto de la herramienta de ataque; sirven para hacer una clasificación del suelo obtenido, por lo general. Las muestras inalte

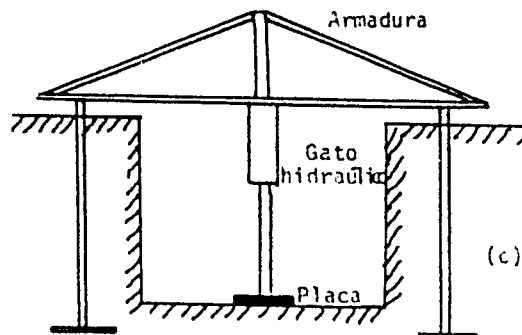
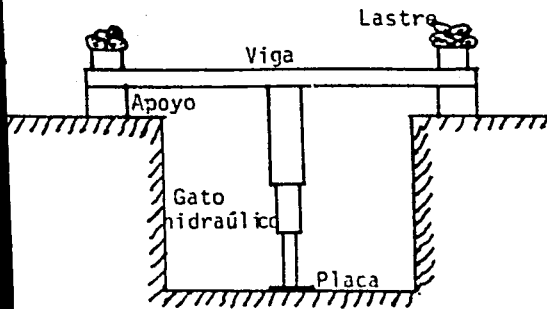
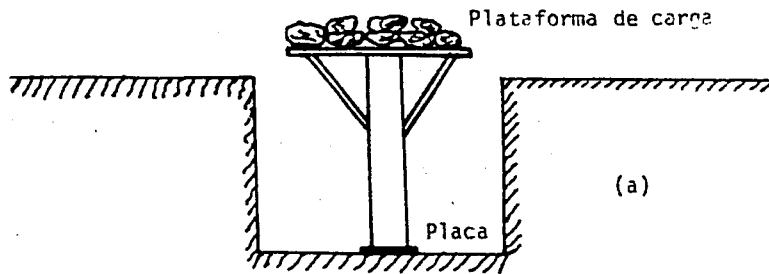
radas, son aquellas que por el diseño cuidadoso de las herramientas tienen a su alrededor una pequeña alteración inevitable en su acomodo estructural que se supone no afecta al suelo en forma significativa. De este muestreo se pueden hacer pruebas en el laboratorio como son: Clasificación de materiales, propiedades índice, así como pruebas mecánicas (J. A. López F)

Pizarras.- Son rocas metamórficas de grano fino uniforme que se separa fácilmente en láminas lisas y lustrosas. Por lo general contiene carbón negro, en la forma de grafito, así como minerales de hierro y manganeso, los cuales proporcionan colores como el rojo o el verde. Generalmente se forma por el metamorfismo regional de las lutitas (R. M. Pearl).

Plataforma Continental.- Zona marina adjunta a la costa. Se extiende de los 0 a los 200 m. de profundidad. Su pendiente media es débil (se puede ubicar dentro del orden de 2 por 1000), no obstante, ofrece numerosas irregularidades que representan antiguos relieves y deformaciones como pliegues, valles sumergidos, surcos y algunas fallas (todo modelado por las corrientes). A los sedimentos que ocupan gran parte de la plataforma se les llama neríticos y se encuentran repartidos en forma desordenada; la mayoría de ellos son de origen continental (Soto Mora).

Prueba de placa.- Consiste en un método que tiene como fin determinar si el suelo es capaz de resistir las cargas a que se supone se verá sujeto cuando la estructura que se construirá sobre de él, esté en servicio. Generalmente aporta datos básicos para el cálculo de cimentaciones poco profundas y como se lleva a cabo, es colocando una placa en el fondo de una excavación en el fondo de la cual transmitirá esfuerzos al terreno usando para ello un dispositivo que puede consistir en una pequeña estructura de madera o acero colocada sobre de ella y en

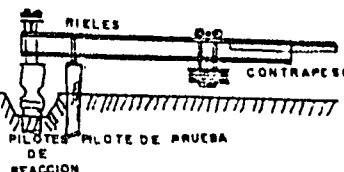
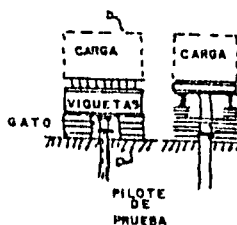
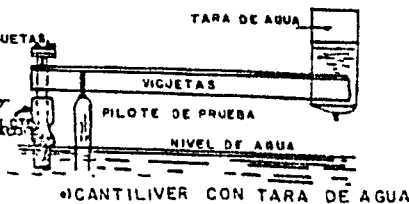
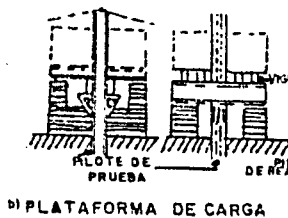
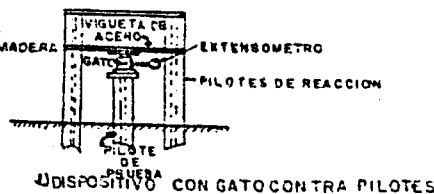
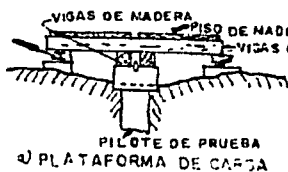
la que se pondrá la carga de prueba, o bien, un gato hidráulico que reaccionaría contra una viga metálica o contra una pequeña estructura que se anclaría en el terreno o se lastraría suficientemente. A continuación se ilustran estos dispositivos:



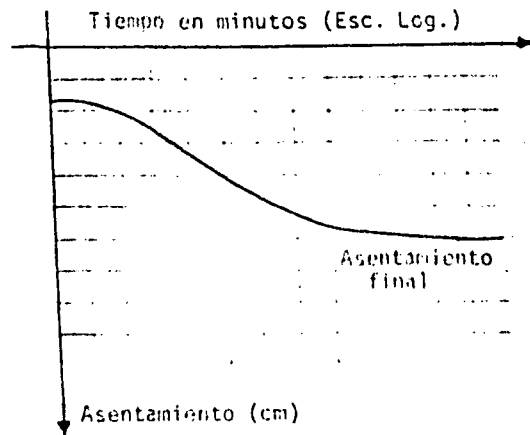
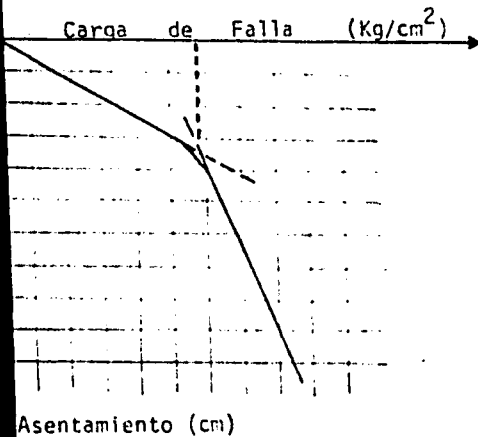
- a) Con plataforma.
- b) Con viga lastrada.
- c) Con estructura anclada.

El uso del gato hidráulico permite controlar la velocidad de la prueba y el proceso de carga de un modo muy efectivo, pero requiere de la presencia constante de un operador; la plata

Prueba de Carga de Pilotes.- Esta prueba se realiza mediante un sistema que da carga al pilote una vez que éste está en la posición de prueba. Dicho sistema puede seguir alguna de las siguientes variantes: (1) Aplicación directa de la carga, colocando un lastre sobre una plataforma que descansa directamente en la cabeza del pilote. (2) Aplicación de la presión de un gato hidráulico cuya reacción la absorbe una plataforma lastrada, el peso de una estructura existente, una viga de acero anclada al terreno generalmente por medio de otros pilotes, etc.- (3) Aplicación de una carga por mecanismo de palanca, usando una viga piloteada en un extremo a la que se carga en el otro extremo. En las siguientes figuras se muestran esquemas de algunos dispositivos típicos:



forma con carga muerta no tiene esta desventaja, pero los datos que se pueden obtener son más burdos. Durante la prueba deberán de medirse las deformaciones que la placa vaya sufriendo. Esto puede lograrse con un nivel fijo o, más precisamente, con un micrómetro montado sobre una estructura independiente apoyada a suficiente distancia de la zona afectada por la prueba. Los incrementos de carga que se vayan aplicando deberán de ser del orden de un quinto de la carga de falla estimada o del orden de un quinto de la carga de trabajo propuesta. La prueba deberá -- continuar hasta obtener la falla completa de la placa o hasta -- el triple de la carga de trabajo. Cada incremento deberá mantenerse constante hasta que la velocidad de asentamiento de la -- placa sea menor que 0.005 cm/h, debiéndose hacer lecturas de la deformación a intervalos crecientes tales como 1, 2, 5, 10, 30 min., 1 h, 2 h. Al final de la acción del incremento se dibujará la curva asentamiento-tiempo, en la cual se podrá medir la -- velocidad de asentamiento; al final de la prueba se dibujará -- una gráfica que relacione los asentamientos finales de cada incremento de carga con el valor de éstos; en esta gráfica por lo general, puede distinguirse la carga de falla, señalada como un quiebre brusco entre dos ramas rectas practicamente, que consti tuyen la curva. A continuación se presentan dos curvas típicas; tiempo-asentamiento, para un incremento de carga y carga-asenta miento:



El lastre suele estar constituido por rieles, lingotes, -- bloques de concreto, depósitos de agua o, simplemente peso de tierra. De los métodos empleados para la carga, ha de señalarse la dificultad de operación que plantea el primero de los citados, especialmente si han de seguirse, como es norma general procesos de descarga muy engorrosos con el sistema de lastrado y muy expeditos, por el contrario si se usan gatos. La secuela de realización de una prueba de carga en pilotes consiste esencialmente en cargar al pilote en incrementos, hasta llegar al valor máximo previsto en la prueba, generalmente del orden del doble de los que se estima que sea la carga de proyecto y en medir por algún procedimiento los asentamientos correspondientes en la cabeza del mismo pilote. Cada incremento de carga -- deberá dejarse el tiempo necesario como para que el asentamiento practicamente cese. El asentamiento de la cabeza del pilote se debe a deformaciones elásticas (recuperables al retirar la carga) tanto en el suelo como en el propio pilote y a deformaciones plásticas que permanecen al retirar la carga) del suelo. Estas deformaciones son las que causan generalmente los asentamientos excesivos en las estructuras y son por lo tanto las -- que deben evitarse. En una prueba de carga deben deslindarse -- los dos tipos de deformación, puesto que las deformaciones -- plásticas son las que realmente interesa definir en la prueba. Para esto es necesario efectuar procesos cíclicos de carga y -- descarga, durante los cuales el pilote llegue a cargas máximas cada vez mayores. Con una prueba de carga puede obtenerse información sobre los siguientes aspectos:

- a) La capacidad de carga última por punta de un pilote.
- b) La capacidad de carga de un pilote por fricción lateral.
- c) El asentamiento total del pilote bajo la carga.

Un aspecto que no hay que olvidar es que el asentamiento -- que produce un pilote puede ser mucho menor que el de un grupo de pilotes colocado en el mismo lugar . (Suárez Badillo).

Riolita.- Roca ígnea de grano fino con la composición del granito y que se formó en la parte superior de la corteza terrestre (Leet).

Suelo maduro.- Es aquel suelo que se caracteriza por tener un perfil que contiene los tres horizontes de suelo (A los que se hace mención en el capítulo referente a suelos residuales) (Leet).

Saltación.- Mecanismo mediante el cual una partícula se mueve a saltos de un lugar a otro (Para aclarar más este concepto - vease el capítulo 4) (Leet).

Sinclinal o sinclinorio.- Configuración de las rocas estratificadas en la que éstas buzan hacia abajo desde direcciones opuestas para venir a juntarse en una depresión. Es el contrario de un anticlinal (Leet).

Sotavento.- Parte hacia donde va el viento. Opuesto a barlovento. (Sopena).

Thalweg.- Línea imaginaria que sigue el lecho del río (Krynine).

Traquita.- Equivalente de la sienita, es decir es una roca extrusiva con poco o nada de cuarzo, feldespato potásico entre -- 30 y 80 %, plagioclasa sódica de 5 a 25 % y máficos entre 10 y 40 % . (Bolivar).

Tributarios.- Se refiere a los ríos que desembocan en un cauce mayor (Longwell).

Turbas níticas.- Son turbas que se formaron por la descomposición de helechos níticos (este tipo de helechos son de origen filipino).

Zona de subducción o subsidencia.- Son áreas profundas, estrechas y alargadas, paralelas a un arco insular o al borde de un continente, generalmente con cordilleras de reciente plegamiento. Estas zonas son áreas de intensa actividad sísmica y en ellas se localizan todos los sismos de foco profundo, que parece ser se originan por las grandes fricciones que se producen al chocar la corteza oceánica y la continental. Estas zonas -- quedan definidas dentro del proceso de las corrientes de convección, que se lleva a cabo por efecto de la mayor incandescencia de las capas internas de la tierra y del enfriamiento de las exteriores, lo que causa también el fenómeno denominado "Deriva Continental". (Bolivar).

ERAS GEOLOGICAS

ERA	SISTEMA	SERIE	EDAD MILLONES DE AÑOS
CENOZOICA	Cuaternario	Reciente	
		Peistoceno	1
	Terciario	Plioceno	12
		Mioceno	25
		Oligoceno	40
		Eoceno	60
MESOZOICA	Cretácico	Paleoceno	70
		Superior	
	Jurásico	Inferior	135
		Superior	
	Triásico	Medio	
		Inferior	180
		Superior	
	PALEOZOICA	Pérmico	Medio
Inferior			220
Carbonífero		Superior	
		Pensilvaniano	310
Devónico		Misisipiano	350
	Silúrico	400	
	Ordovícico	500	
ARQUEOZOICA	Precámbrico	Cámbrico	550
			600
			4 500

(Según José María Bolívar del Valle, "Geología", División de Estudios Superiores, UNAM, 1978).

REFERENCIAS .

REFERENCIAS .

- * Comisión Federal de Electricidad. "Informes Geológicos del Proyecto Hidráulico Chicoasén", Residencia de Estudios Geológicos del Alto Grijalva, Informes Internos. México, 1974, 1975 y 1976.
- * De Cserna, "Tectonic Map of Mexico". Geological Society of America, 1961.
- * Deméneghi Colina Agustín. "Apuntes de investigaciones sobre el empleo de correlaciones en Mecánica de Suelos", 1980
- * Deméneghi Colina Agustín. Comunicaciones de experiencias personales, 1981.
- * "Diccionario Enciclopédico", Unión Tipográfica Editorial - Hispano Americana (U.T.E.H.A.), 1969.
- * Dunham Clarence W, "Cimentaciones de Estructuras", McGraw-Hill, 1980.
- * Esteva M. L.. "Regionalización Sísmica de México para fines de ingeniería", Instituto de Ingeniería, UNAM, 1970.
- * Figueroa A. J.. "Carta Sísmica de la República Mexicana", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, 1959.
- * Figueroa A. J.. "La Falla Zacamboxo", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, 1964 .
- * "Gran Enciclopedia Larousse", Editorial Planeta, 1970.

- * Hawley J. W.. "Notes on the Geomorphology and Late Cenozoic Geology of Northwestern Chihuahua". Guide book twentieth -- conference. The Border Region Chihuahua and the United States, New Mexico Geological Society, 1969.
- * Hernández Sánchez M. S. . "Carta Geológica de la República Mexicana", Instituto de Geología, UNAM, 1976.
- * Humprey E., Díaz T.. "Estudio de la Estratigrafía del Mesozoico y Tectónica de la Sierra Madre Oriental entre Monterrey N. L. y Torreón Coah.", Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol X, 1958.
- * Juárez Badillo E., Rico Rodríguez A.. "Mecánica de Suelos", Editorial Limusa, 1978.
- * Krynine Dimitri P y Judd William R.. "Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros", Ediciones Omega, 1975.
- * Leet L. Don, Judson Sheldon. "Fundamentos de Geología Física", Editorial Limusa S. A., 1968.
- * Longwell R. Chester, Flint Richard F.. "Geología Física",- Editorial Limusa Wiley S. A., 1971.
- * López F. Agustín. "Exploración y Muestreo Profundo en Suelos", Tesis profesional, UNAM, 1979.
- * López R.. "Geología de México", Instituto de Geología, UNAM, 1974.
- * Pearl Richard M.. "Geología", Compañía Editorial Continental S. A. (C.E.C.S.A.), 1971.

- * Pearl Richard M.. "Geología Para Ingenieros", U.T.E.S.A., - 1971 .
- * Puebla Cadena Margarita. "Estudio de la Cimentación y la - Pavimentación de una Unidad Habitacional en Veracruz, Ver" Tesis Profesional, UNAM, 1979.
- * Raisz E.. "Land Forms of Mexico", Geography Branch of the - Office Naval Research, Cambridge, Mass, 1964 .
- * Rhodes Frank H. T.. "Geología", Ediciones Daimon-Manuel Ta mayo, España, 1975.
- * Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de A-- gricultura de los Estados Unidos de América. "Ingeniería - Geológica", Editorial Diana, 1972.
- * Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. "Cimentaciones en Areas Urbanas de México", 1970: El Subsuelo y la Ingenie-- ría de Cimentaciones en la Región de Minatitlán, Coatza--- coalcos y Pajaritcs, Ver., Vieitez Utesa L., Soto Eduardo, Mosqueda A.
- * Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. "Información Gene-- ral Acerca del Subsuelo de 17 Ciudades de México", 1976:

Acapulco, Gro.	León T. José.
Coatzacoalcos-Minatitlán, Ver.	Montañez Luis.
Colima, Col.	Silva Carlos, Esquivel R.
Córdoba, Ver.	Esquivel Raúl.
Chilpancingo, Gro.	León T. José.
Guadalajara, Jal.	Esquivel Raúl.
Jalapa, Ver.	Esquivel Raúl.

Manzanillo, Col.

Mexicali, B. C. N.

Morelia, Mich.

Oaxaca, Oax.

Orizaba, Ver.

Puebla, Pue.

Tijuana, B. C. N.

Tuxtla Gutierrez, Chis.

Veracruz, Ver.

Villahermosa, Tab.

Montañez L., Esquivel R.,
Silva C.

Santoyo E., Montañez L.
Esquivel Raúl.

León T. José.

Esquivel Raúl.

Auvinet Gabriel.

Santoyo E, Montañez L.

Espinoza Leopoldo.

Esquivel Raúl.

Espinoza Leopoldo.

- * Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. "La Ingeniería de Suelos en las Obras Civiles", 1978: La Geotecnia en el Desarrollo Urbano de la Vertiente del Golfo de México, Viente Utesa L.
- * Soto Mora Consuelo, Fuentes Aguilar.L.. "Glosario de Términos Geográficos", Instituto de Geografía, UNAM, 1966.
- * Sopena. "Diccionario Ilustrado de la Lengua Española", Editorial Ramón Sopena, 1979.
- * Tamayo Jorge L.. "Geografía General de México", Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas, 1962.
- * Terzaghi Karl, Peck Palph B.. "Mecánica de Suelos en la -- Ingeniería Práctica", Editorial Ateneo S. A., 1973.
- * Vivó Jorge A.. "Geografía de México", Fondo de Cultura Económica, 1948.
- * Zavala Morales J. R.. "Bosquejo Geológico y Geotécnico de --

las Provincias Fisiográficas de México", Tesis Profesional UNAM, 1979.

- * Zeevaert Leonardo, "Estratigrafía y Problemas de Ingeniería en los Depósitos de Arcilla Lacustre de la Ciudad de México", Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura de México, Vol. XXX, 1952.

INDICE .

1. INTRODUCCION .
2. LA GEOLOGIA EN LA MECANICA DE SUELOS .
 - 2.1. La Geología, La Mecánica De Suelos Y La Necesidad De Su Relación .
 - 2.2. Discusión Sobre El Empleo De Correlaciones En Mecánica De Suelos Y Algunas Ideas Apoyadas - En La Geología .
 - 2.2.1. Antecedentes .
 - 2.2.2. Planteamiento del problema.
 - 2.2.3. Sondeos Representativos .
 - 2.2.4. Correlaciones .
 - 2.2.5. Recomendaciones .
 - 2.3. Planteamiento Tentativo De Un Posible Uso Del Conocimiento De La Naturaleza De Las Provincias Fisiográficas En La Geotecnia .
3. SUELOS RESIDUALES .
 - 3.1. Geología De Los Suelos Residuales .
 - 3.2. Exploración, Pruebas Y Propiedades De Los Suelos Residuales .
 - 3.3. Conclusiones Y Recomendaciones Sobre Suelos - Residuales .
4. SUELOS DE ORIGEN EOLICO .
 - 4.1. Geología De Suelos De Origen Eolico .
 - 4.2. Exploración, Pruebas y Propiedades De Los Suelos Eólicos .
 - 4.3. Conclusiones Y Recomendaciones De Suelos De - Origen Eólico .

5. SUELOS DE ORIGEN ALUVIAL .

5.1. Geología De Suelos De Origen Aluvial .

5.2. Exploración, Pruebas Y Propiedades De Los Sue
los Aluviales .

5.3. Conclusiones Y Recomendaciones De Suelos De -
Origen Aluvial .

6. CONCLUSIONES .

GLOSARIO .

REFERENCIAS .